

Düwel, Frauke

## **Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten. Potenziale englischer Fachtexte zur Chromatografie und deren hochschuldidaktische Einbindung**

Berlin : Logos Verlag 2023, 545 S. - (Studien zum Physik- und Chemielernen; 368) - (Dissertation, Technische Universität Dresden, 2020)



Quellenangabe/ Reference:

Düwel, Frauke: Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten. Potenziale englischer Fachtexte zur Chromatografie und deren hochschuldidaktische Einbindung. Berlin : Logos Verlag 2023, 545 S. - (Studien zum Physik- und Chemielernen; 368) - (Dissertation, Technische Universität Dresden, 2020) - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-334591 - DOI: 10.25656/01:33459; 10.30819/5731

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-334591>

<https://doi.org/10.25656/01:33459>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<https://www.logos-verlag.de>

### **Nutzungsbedingungen**

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de> - Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### **Terms of use**

This document is published under following Creative Commons-License: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en> - You may copy, distribute and transmit, adapt or exhibit the work in the public as long as you attribute the work in the manner specified by the author or licensor. You are not allowed to make commercial use of the work or its contents. You are not allowed to alter, transform, or change this work in any other way.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.



### **Kontakt / Contact:**

peDOCS  
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation  
Informationszentrum (IZ) Bildung  
E-Mail: [pedocs@dipf.de](mailto:pedocs@dipf.de)  
Internet: [www.pedocs.de](http://www.pedocs.de)

Mitglied der

  
Leibniz-Gemeinschaft

Frauke Düwel

**Argumentationslinien  
in Lehr-Lernkontexten**

Potenziale englischer Fachtexte zur  
Chromatografie und deren  
hochschuldidaktische Einbindung

λογος



*Studien zum Physik- und Chemielernen*

Band 368





Frauke Düwel

# **Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten**

Potenzziale englischer Fachtexte zur Chromatografie  
und deren hochschuldidaktische Einbindung

Logos Verlag Berlin



## *Studien zum Physik- und Chemielernen*

Martin Hopf und Mathias Ropohl [Hrsg.]

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Attribution 4.0 Lizenz CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Logos Verlag Berlin GmbH 2023

ISBN 978-3-8325-5731-7

ISSN 1614-8967

DOI 10.30819/5731

Logos Verlag Berlin GmbH  
Georg-Knorr-Str. 4, Geb. 10  
D-12681 Berlin

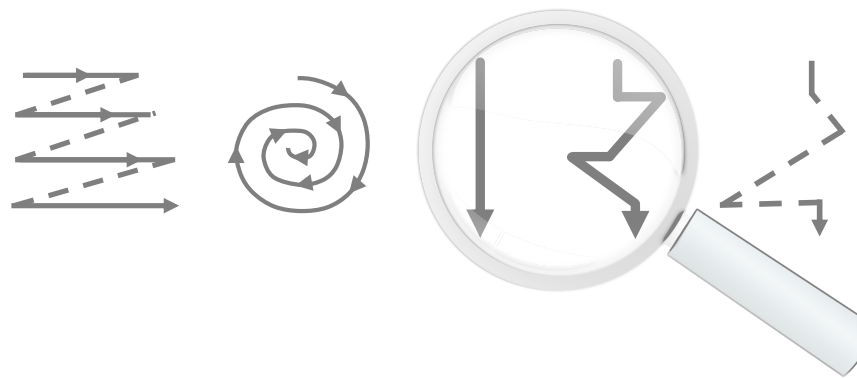
Tel.: +49 (0)30 / 42 85 10 90

Fax: +49 (0)30 / 42 85 10 92

<https://www.logos-verlag.de>

# Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten

Potenziale englischer Fachtexte zur Chromatografie  
und deren hochschuldidaktische Einbindung



## Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Philosophie (Dr. phil.)

an der

**Fakultät Erziehungswissenschaften**

**der Technischen Universität Dresden**

2020

vorgelegt von

Frauke Düwel

geboren am 28.05.1970

in Stadtoldendorf

Gutachterinnen: Prof. Dr. Manuela Niethammer  
Prof. Dr. Bärbel Fürstenau

Tag der Einreichung: 01.09.2020

Tag der Verteidigung: 19.10.2020

„Those who can, do.  
Those who understand, teach.“  
(Lee Shulman)



## Vorbemerkung zur aktuellen Auflage

Meine Dissertation habe ich im Herbst 2020 abgeschlossen. Aus Zeitgründen hatte ich mich für die Abgabe der fünf Pflichtexemplare entschlossen, die ich über eine Druckerei hatte erstellen lassen. Nach reiflicher Überlegung bin ich zu dem Schluss gekommen, meine Dissertation doch über einen Verlag zu veröffentlichen, um sie einem größeren Publikum zugänglich zu machen. Darum bin ich dem LOGOS-Verlag und den Herausgebern dieser Schriftenreihe sehr dankbar, dass sie meine Dissertationsschrift drei Jahren nach Abschluss noch in der Schriftenreihe *Studien zum Physik- und Chemielernen* aufgenommen haben.

Für diese Publikation wurde im Wesentlichen nur die Formatierung entsprechend der Vorgaben der Schriftenreihe verändert. Dazu mussten vereinzelt Überschriften der ersten und zweiten Gliederungsebene, die in der Kopfzeile mitlaufen, gekürzt werden, um die Zeilenzahl in der Kopfzeile nicht zu überschreiten. Mit Änderung des Seitenformats und des Zeilenabstandes haben sich auch die Seitenzahlen zur Veröffentlichung Düwel (2020) verändert, auf die in Publikationen der letzten drei Jahre verwiesen wurde. Das betrifft Düwel/Hillegeist/Niethammer (2022), Düwel und Niethammer (2023), Düwel/Niethammer/Eichhorn (2023), Düwel und Niethammer (im Druck).

Vereinzelt wurden Literaturverweise ergänzt und korrigiert. Das betrifft einmal die Ausführungen zur sachlogischen Strukturierung der Inhalte und zu den Erkenntnisprozessen, in denen u. a. auf das Handbuch Storz und Wirsing (1987) verwiesen wird, dessen wissenschaftliche Fundierung in Lohmann (1953) und in der Dissertations- und Habilitationsschrift von Storz (1976; 1984) zu finden ist. Weiterhin wurde die Jahresangabe des Artikels Düwel/Eichhorn/Niethammer (im Druck) korrigiert. Er wurde 2019 verfasst und sollte ursprünglich 2021 erscheinen. Daher wurde der Artikel in Düwel (2020) mit Düwel/Eichhorn/Niethammer (2021) angegeben. Voraussichtlich erscheint der Artikel im November 2024. Ansonsten wurden inhaltlich keine weiteren Änderungen vorgenommen, sodass die in dieser Auflage publizierte Version dem Stand der Forschung von 2020 entspricht.

Zentral sind die Analysen der Daten des qualitativen Teils der Fallstudie, die nach Inhaltsaspekten, fachdidaktischen Gesichtspunkten in Bezug auf Erkenntniswege und nach Gesichtspunkten der Anwendung des erworbenen Wissens in Bezug auf Schülerfehlkonzepte vorgenommen wurden, sowie die daraus resultierenden Ergebnisse. Zur besseren Nachvollziehbarkeit wurden die jeweiligen Abschnitte abschließend zusammengefasst. Das sind für die Auswertung die Abschnitte 12.3.2.4 (S. 199), 12.3.3.6 (S. 220) bzw. 12.3.4.2 (S. 231) und für die Ergebnisse des Erkenntnisgewinns der Versuchspersonen der Abschnitt 13.3.4.4 (S. 264). Grundlage für die Auswertung nach fachdidaktischen Gesichtspunkten sind die Ausführungen im Theorieteil (Teil II, Abschnitt 6.4, S. 39).

Die Darstellung der Ergebnistabellen konnte bei der Anpassung auf das A5-Format dieser Schriftenreihe nicht ausreichend vergrößert werden. Da dieser Band auch Open-Source publiziert wird, kann jederzeit auf die pdf-Datei zugegriffen werden.





## **Vorwort und Danksagung**

Im Kern dieser Arbeit geht es um die systematisch in Lehr-Lernkontexten eingebettete Argumentation, um zu zeigen, welche Gütekriterien eine Argumentation erfüllen muss, damit Lernende die Zusammenhänge in der Lebens- und Arbeitswelt verstehen und erklären lernen können. Zusammenhänge verstanden zu haben und erklären zu können ist Voraussetzung für eine kritische Auseinandersetzung mit den im Alltag und Berufsleben auftretenden Problemfeldern. Wenn ein solches auf Argumentation aufbauendes Denken nicht im Lebensumfeld der Familie und/oder engeren Freundes- und Bekanntenkreis gelebt wird, ist es umso wichtiger, dass die Institution Schule es als ihren Bildungsauftrag versteht.

Kulturell bedingt gibt es allerdings Unterschiede in der gelebten Praxis von Diskursen. Während im englischsprachigen Raum eine Debattenkultur mit dem Ziel gepflegt wird, verschiedene Standpunkte anzunähern, obliegt es dem deutschsprachigen Raum eher, Aussagen zu verklausulieren und sich hinter unpersönlichen (und reflexiven) Konstruktionen als eine Art gesichtswahrendes Mittel zu verstecken (vgl. Clyne 1991: 65, bezieht sich auf unterschiedliche intellektuelle Stile im akademischen Bereich). Es scheint in der deutschen Tradition Wissen idealisiert zu werden. Diese Idealisierung schlägt sich in der Art, fachliche Sachverhalte darzustellen, nieder. So lässt sich festhalten, dass deutsche Texte mit der Auffassung verfasst werden, dass mit dem Text Wissen bereitgestellt wird, das Verstehen aber in der Verantwortung der Leser/Rezipienten liegt. Englische Texte hingegen werden mit dem Anspruch verfasst, dass die Leser/Rezipienten dem Gedankengang des Autors/der Autorin folgen können (s. Kap. 7.1.2.2, S. 72). Wie sich diese kulturbedingten Unterschiede auf die Inhaltsstruktur und den damit verbundenen Argumentationslinien auswirken, wird im Kap. 8 ausführlich behandelt.

In meinem Denken und Schreiben bin ich sicherlich durch meine Herkunft und Schulbildung im deutschsprachigen Raum geprägt worden. Durch meine Studienzeiten in den USA und Großbritannien wurde ich allerdings zunehmend durch die angelsächsische Diskurskultur konditioniert, die mich positiv beeindruckt und in meinem Schreibstil beeinflusst hat. Wenn ich damals eher nur eine diffuse Ahnung davon hatte, warum ich mich durch englische Texte als Leser besser mitgenommen fühlte, so ergaben sich in den letzten 20 Jahren durch meine Beschäftigung mit sprachübergreifenden Studien und meine Unterrichtstätigkeit im fachbezogenen Englisch erkenntnisreiche Einsichten. Die wichtigsten davon sind die besondere Adressatenorientierung und die damit verbundenen Merkmalsausprägungen englischer Fachtexte.

Mit dem Titel dieser Arbeit bin ich mir bewusst, dass ich einen besonders kritischen Blick auf die Argumentationslinien meiner Textpassagen ziehe. Es ist mein Anspruch, auch wenn nur annäherungsweise erfüllbar, das Thema dieser Arbeit einem breiten Leserkreis zugänglich zu machen. Dennoch mögen die stärker sprachwissenschaftlich orientierten Kapitel aufgrund der Fachterminologie für Nicht-Sprachwissenschaftler ähnlich schwer verständlich sein wie die fachbezogenen Kapitel für Alle ohne Fachkenntnisse im Fach

Chemie, insbesondere zur Chromatografie. Das soll allerdings kein Hinderungsgrund sein, die Potenziale englischer Fachtexte bei der Erschließung fachlicher Sachverhalte zu entdecken.

Dass sich meine Erfahrungen und Einsichten aus der Beschäftigung mit dem fachbezogenen Englischunterricht einmal in einer Dissertation unter der Themenstellung „Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten“ niederschlagen würden, verdanke ich vor allem meinen beiden Gutachterinnen Prof. Dr. Manuela Niethammer und Prof. Dr. Bärbel Fürstenau sowie Prof. Dr. Susanne Göpferich (†), die mich sehr bestärkt und maßgeblich dazu beigetragen haben, meine Forschungsfragen und mein methodisches Vorgehen zu präzisieren. Der zwischen uns auch kontrovers geführte wissenschaftliche Diskurs hat mich immer wieder herausgefordert, meine eigene Position zu hinterfragen und nach der Passfähigkeit verschiedener Modellvorstellungen zu suchen.

In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Angebote der TU Dresden (Kolloquien, Kurse/Workshops) im Rahmen der Promovierendenkolloquien der Fachdidaktiken Physik/Chemie, der Graduiertenakademie und des Graduiertenforums sowie der Gesellschaft für Angewandte Linguistik (GAL) im Rahmen der *Research School* in Gießen, die von den Professorinnen Susanne Göpferich (†) und Silvia Hansen-Schirra sowie Dr. Dagmar Knorr organisiert und durchgeführt wurde, zu erwähnen. Über all diese Angebote konnte ich wertvolle Einsichten zum forschungsmethodischen Vorgehen gewinnen und meine Fragestellungen mit den jeweiligen Referentinnen und Referenten sowie anderen Promovierenden diskutieren. Diese Diskussion war insbesondere bei der *Research School* in Gießen, die kurz nach der Präpilotierung des Lehr-Lernkonzeptes der Fallstudie stattfand, gewinnbringend, wo Dissertationsthemen von 16 Promovierenden vorgestellt und diskutiert wurden. Für mich ergaben sich dadurch noch einmal letzte entscheidende Änderungen für die Aufgabenanordnung des Lehr-Lernkonzeptes meiner Fallstudie. Diese Änderungen konnten noch vor dem ersten Durchgang der Hauptuntersuchung einfließen.

Bei dem Diskurs über Forschungsmethoden und Auswertungsstrategien danke ich weiterhin besonders dem Team der Professur für Bautechnik, Holztechnik, Farbtechnik und Raumgestaltung/Berufliche Didaktik und der Beruflichen Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik/Didaktik der TU Dresden. Das Team zeichnet sich durch seinen Enthusiasmus für die Lehre und Forschung und seine interdisziplinäre Verzahnung aus. Für mich persönlich war dieser Prozess der gleichsam kontroversen wie fruchtbaren Auseinandersetzung lange mit der Frage verbunden, warum es denn ausgerechnet englische Texte sein müssen, um sich fachliche Sachverhalte (hier zu den Fächern Chemie und Labor- und Prozesstechnik) zu erschließen. Die Antwort mag man an dieser Stelle schon erahnen können.

Die Thematik und die damit verbundenen Herausforderungen in der Erstellung des Lehr-Lernkonzeptes und dessen Erprobung (einschließlich Pilotierungen) sowie in der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse sind so umfassend und vielfältig wie die Freundinnen/Freunde und Kolleginnen/Kollegen an meiner Seite. Allem voran danke ich von Herzen Dr. Sigrun Eichhorn und Beatrice Schlegel, die über viele Stunden aus Expertensicht mein Instrumentarium getestet und meine Analysen kritisch überprüft haben, Prof.

Dr. Ulrich Raatz bei der Entwicklung des C-Tests sowie Dr. Ulrich Simmross (BKA Wiesbaden) und Dr. Alben Lederer (IPF Dresden) bei fachlichen Fragen zur Chromatografie, die mir als externe Experten zur Seite standen. Ihre Rückkopplungen waren mir in kürzester Zeit sicher.

Darüber hinaus gilt im Besonderen mein aufrichtiger Dank: *bei der Entwicklung des Instrumentariums* Dr. Gerd Sieper, Prof. Dr. Silvia Hansen-Schirra, Dr. Dagmar Knorr, Dr. Kristin Müller, Christina Pohle; *in den Pilotierungen* Prof. Dr. Rolf Koerber, Miriam Koerber, Katharina Schober, Jana Tiedt, Laura Park, Cheryl und Jason Dietz, Ashleigh Möller, Dr. Anastasia Elias, Dr. Ken Harris, Charles Gutfleisch, Chemielaborantinnen und -laboranten der ASG in Nünchritz; *bei der Akquise von Versuchspersonen* Dr. Klaus Eichhorn, Sabine Meißner, Dr. Burkhardt Krey und Anett Krey; *durch Teilnahme an der Hauptuntersuchung* Studierende der Beruflichen Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik/Didaktik der Chemie der TU Dresden; *bei der Auswertung* Prof. Dr. Udo Kuckartz, Prof. Dr. John W. Creswell, Prof. Dr. Carolin Frank, Dr. Antje Proske, Dr. Claudia Prescher, Prof. Dr. Julia Göhler, Dr. Ines Unverricht, Dr. Jörg Neumann, Urte Paul, Dr. Franziska Kunz, Andreas Leon; *bei Softwarefragen zu Mellel und Bookends* Prof. Dr. Stefan Meißner; *in der mentalen Begleitung durch Ermutigungen und/oder aufmerksames Zuhören/Lesen meiner Texte/Gestaltung des Titelbildes* alle bereits Erwähnten sowie Marion und Gottfried Milkuhn, Kathrin und Kristin Reinboth, Dr. Conny Rödel, Anja Simmross, Kati Berge, Susanne und Sebastian Kuschel, Katrin Müller, Elfriede und Rolf Bliesener, Martina und Karl Decker, Cornelia Gerlach, Dr. Christiane Kaden, Ralf Zedlitz (†), Anne und Albrecht Knoblich, Daniela Milkuhn, Heide George, Ulrike Irrgang, Lukas Hoffmann und nicht zuletzt meine Familie in Holzminden sowie die „Akkameraten“ vom Musikverein Akkamerata e.V. in Dresden.

Der wichtigste Grundstein bei allem, was ich erreichen durfte, ist mein Elternhaus, in dem ich eine gute Mischung aus Grenzen und persönlichen Freiheiten erleben durfte. Meinen Eltern, die mir nicht nur Vorbild sind, sondern mich auch in allen Lebenslagen bestärkt und unterstützt haben, gilt mein abschließender und wichtigster Dank!

Dresden im September 2020

Frauke Düwel



## Zusammenfassung

Forschungsarbeiten zur Modellierung des Professionswissens von Lehrkräften haben gezeigt, dass fachdidaktisches Wissen ein Prädiktor dafür ist, wie stark Schülerinnen und Schüler kognitiv aktiviert werden (vgl. Loewenberg Ball/Thames/Phelps 2008, Woitkowski/Riese/Reinhold 2011). Das Fachwissen ist dabei die Moderatorvariable (eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung) (vgl. Baumert/Kunter 2006).

Lehramtsstudierende in den Fächern Chemie und Labor- und Prozesstechnik haben häufig Probleme, Erkenntniswege aus der sachlogischen Struktur der Inhalte abzuleiten, was in einer unzureichenden Durchdringung der Fachinhalte begründet liegt (vgl. Düwel/Niethammer 2017).

In der vorliegenden Arbeit werden Verstehensprozesse von Lehramtsstudierenden der höheren Semester bei der Erschließung eines komplexen fachlichen Sachverhaltes und dessen fachdidaktische Verwertung untersucht. Als Wissensquelle werden englische Lehrbuchtexte eingesetzt, weil diese nachweislich weniger lückenhaft in ihren Argumentationslinien sind als deutsche, wie anhand von drei Beispielen zu den Themen Wasser unter dem Stoffaspekt (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck), Erdölraffination unter dem Verfahrensaspekt (vgl. Düwel 2019) und Chromatografie unter dem Verfahrens- und Analysenaspekt (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019) gezeigt wurde. Die Darlegung der Begründungszusammenhänge in englischen Lehrbüchern liefert eine didaktische Linienführung, die bereits einen Teil der Inhaltsaufbereitung für den Unterricht ausmacht.

Die Forschungsfragen und die damit verbundenen Untersuchungen zielen daher darauf ab, die Stufen der Erkenntnisgewinnung, die Studierende bei der Erschließung der inhaltlichen Zusammenhänge eines komplexen Themas (hier: zur dünnenschichtchromatografischen Trennung eines lipophilen Farbstoffgemisches) unter Nutzung englischen Fachtextmaterials durchlaufen, zu erfassen. Zur Operationalisierung der Forschungsfragen wurde ein „Embedded Mixed Methods-Ansatz“ gewählt (vgl. Kuckartz 2014; Creswell 2013). Es wird eine qualitative Studie durchgeführt, in die eine quantitative Teilstudie (quant) eingebettet ist. Die Hauptuntersuchung ist eine Fallstudie, für die ein Lehr-Lernkonzept entwickelt wurde, durch das die Versuchspersonen in ihrem Verstehensprozess und der fachdidaktischen Verwertung ihres neu erworbenen Wissens geleitet wurden. Im Zentrum des Lehr-Lernkonzeptes steht eine Fallsituation, in der alle Rahmenbedingungen für die zu erarbeitenden inhaltlichen und konzeptionellen Aspekte einer zu planenden Vertretungsstunde vorgegeben waren. Da sowohl die fachlichen, fachdidaktischen, englischsprachlichen Vorkenntnisse als auch die aktuelle Lernmotivation einen Einfluss darauf haben, wie gut die Versuchspersonen, die gestellten Aufgaben in dem Lehr-Lernkonzept bewältigen, wurden im quantitativen Teil des Untersuchungsdesigns die personenbezogenen Merkmale wie soziodemografische Faktoren (Fragebogen), englischsprachliche (C-Test) und fachliche Vorkenntnisse (Single-Choice-Fachtest) sowie die Motivation (Fragebogen) der Versuchspersonen (Vpn) vor, während und/oder nach der Bearbeitung der Aufgabenkomplexe im Lehr-Lernkonzept erfasst.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Englischkenntnisse der Versuchspersonen weniger eine Barriere bei der Erschließung der Fachinhalte darstellen als die fachlichen Voraussetzungen. Dies liegt sicherlich darin begründet, dass die Englischvoraussetzungen von Studierenden im fortgeschrittenen Bereich liegen, wie auch die C-Testergebnisse in dieser Fallstudie zeigten. Einige hatten sogar fachkundige Englischkenntnisse auf dem Niveau von Muttersprachlern. Allein die Auseinandersetzung mit dem englischen Textmaterial brachte bei den meisten Versuchspersonen bereits einen Erkenntnisgewinn. Dieser Erkenntnisgewinn war bei den Versuchspersonen am größten, die bereits bessere fachliche Vorkenntnisse zur Thematik hatten. Die bessere Übersetzung der Begründungszusammenhänge erfolgte allerdings erst durch die im Lehr-Lernkonzept integrierten Leitfragen. Das zeigt, dass die relevanten Textpassagen nur z.T. von den Versuchspersonen eigenständig erkannt wurden. Die Zunahme im fachlichen Tiefenverständnis zur Thematik wirkte sich auch auf die fachdidaktische Verwertung und Anwendung des erworbenen Wissens aus. Erkenntniswege wurden besser übersetzt und Schülerfehlkonzepte erkannt.

Daraus folgt, dass aus hochschuldidaktischer Sicht zum einen die Wissensquellen und zum anderen die inszenierten Lernanlässe, über die die Auseinandersetzung mit einem Sachverhalt initiiert wird, zu überdenken sind (vgl. Düwel/Niethammer 2017: 420).

## Abstract

Research studies focused on modelling the competencies of teachers' professional knowledge (see Loewenberg Ball/Thames/Phelps 2008, Woitkowski/Riese/Reinhold 2011). They revealed that pedagogical content knowledge is a predictor of the degree to which learners are cognitively activated in class. Subject matter knowledge (knowledge of the subject and its organizing structures) is herein a moderating variable (a necessary, however, not sufficient condition) (see Baumert/Kunter 2006).

Students who do a degree course in teaching chemistry or laboratory and process technology often have problems in deducing the steps of scientific reasoning from the connections of the content. This is often due to insufficient subject matter knowledge (see Düwel/Niethammer 2017).

In this thesis, processes of understanding and reasoning of undergraduate student teachers have been investigated when elaborating on a complex technical subject matter and applying this knowledge to didactic problems. As text sources, English textbook texts have been used because they have been proved to be more consistent in their lines of arguments than German textbook texts. This was shown prior to this study. Textbook texts have been analysed on the topics regarding water (see Düwel/Eichhorn/Niethammer *im Druck*), crude oil raffination (see Düwel 2019) and chromatography (see Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019). These topics represent the didactic perspectives of substances, processes and analytical methods, respectively. The results of the textbook analyses showed that English textbook texts provide a content structure as would be suitable for teaching scenarios.

The research questions aim at investigating the test persons' increase in knowledge throughout their task-based elaboration process on a complex topic (in this study, it is the separation of a lipophilic mixture of colourants by thin layer chromatography) while using English textbook texts. For answering the research questions, an embedded mixed methods approach was chosen (see Kuckartz 2014; Creswell 2013). This means that a minor quantitative study (quant) was embedded in the major qualitative study (QUAL). The main study is a case study, for which an instructional design for learning in higher education has been developed. Thus, students were guided in their elaboration process and in applying their newly acquired knowledge to content-oriented pedagogical problems. The instructional design focuses on a case providing the framework for working out aspects of the content and didactic aspects for planning a replacement lesson. For controlling other influencing factors such as prior knowledge on the subject matter, on the pedagogical content, in English as well as the learning motivation throughout their learning process, quantitative test instruments for determining personal features (a questionnaire), the English skills (a C-test), the content knowledge (a single choice test) and the learning motivation (a questionnaire) were applied in the minor quantitative study before, during and at the end of the test persons' task-based elaboration process of the instructional design.



As a result, the English skills of the test persons turned out to be less of a barrier than their knowledge on the subject matter. This is certainly due to the fact that students of higher education have an upper-intermediate to advanced level of English knowledge, which was also proved in this study by the results of the C-test. Some students who participated in the study had even proficient knowledge of English on a level of native speakers. The independent work with the English text material has already resulted in an increase in knowledge for most test persons. This increase in knowledge was highest for those test persons whose prior knowledge on the subject matter was highest. However, the connections of the content have only been explained in detail through the prompts given in the instructional design. This shows that the relevant passages of the text have only partly been recognized independently by the test persons. All in all, the increase in knowledge on the subject matter has had a positive impact on the test persons' application of their newly acquired knowledge to content-oriented pedagogical problems. Steps of scientific reasoning were better explained and misconceptions of provided student answers were recognized.

In conclusion from the point of view of higher education didactics, knowledge resources and learning opportunities for student teachers have to be reconsidered (see Düwel/Niethammer 2017:420).

# Inhaltsverzeichnis

|                                    | Seite |
|------------------------------------|-------|
| Vorbemerkung zur aktuellen Auflage | I     |
| Vorwort und Danksagung             | III   |
| Zusammenfassung                    | VII   |
| Abstract                           | IX    |

## **TEIL I Einführung zu Problemhintergrund und Forschungsfragen**

|     |                                                                                                         |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Unterrichtsqualität und fachdidaktische Kompetenzentwicklung von Lehrkräften                            | 1  |
| 2   | Ansätze zur Modellierung und Messung von Unterrichtsqualität                                            | 5  |
| 2.1 | Kompetenz von Lehrkräften als Bedingung für kognitiv aktivierenden Unterricht                           | 6  |
| 2.2 | Ansätze zur Modellierung des Professionswissens von Lehrkräften                                         | 9  |
| 2.3 | Spezifikation des Fachwissens als Voraussetzung für qualitativ optimal gestalteten Unterricht           | 11 |
| 2.4 | Erfassung des universitär erworbenen Professionswissens in mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern | 12 |
| 2.5 | Kompetenzen zum evidenzbasierten Argumentieren                                                          | 13 |
| 2.6 | Einflüsse verschiedener Curricula, Lehrbücher und Bildungsprogramme                                     | 13 |
| 2.7 | Konzeptuelles Fachverständnis und Handlungsrepertoire                                                   | 14 |
| 2.8 | Potenziale einer besseren horizontalen und vertikalen Vernetzung des Lehramtsstudiums                   | 16 |
| 2.9 | Mehrwert einer evidenzbasierten Bildungspolitik                                                         | 17 |
| 3   | Untersuchungsschwerpunkt der Dissertation                                                               | 21 |
| 4   | Zielsetzung und Forschungsfragen                                                                        | 23 |
| 5   | Aufbau der Arbeit                                                                                       | 27 |

## **TEIL II Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten**

|     |                                                                               |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6   | Spannungsfeld zwischen fachlichem (FW) und fachdidaktischem Wissen (FDW)      | 31 |
| 6.1 | Historischer Exkurs zur Professionalisierung des Lehrerberufs                 | 31 |
| 6.2 | Modellierungen zum Lehrerwissen                                               | 35 |
| 6.3 | Fachwissen als Basis für das Erklärungsrepertoire von Lehrkräften             | 37 |
| 6.4 | Fachdidaktisches Wissen zur Strukturierung und Darstellung fachlicher Inhalte | 39 |

|         |                                                                                         |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.4.1   | Sachlogische Strukturierungsansätze für die berufs- und fachdidaktische Analyse         | 40  |
| 6.4.2   | Zusammenspiel von Abduktion, Deduktion und Induktion im Prozess der Erkenntnisgewinnung | 47  |
| 6.4.3   | Gestaltung von Lerngelegenheiten zum ganzheitlichen Lernen komplexen Handelns           | 58  |
| 7       | Die Rolle von Lehrbuchtexten bei der Wissensaneignung und Wissensvermittlung            | 65  |
| 7.1     | Merkmale von Fachtexten in Lehr-/Lernkontexten                                          | 65  |
| 7.1.1   | Typologisierung von Textsorten in Naturwissenschaft und Technik                         | 66  |
| 7.1.2   | Schwierigkeitsgrad und Verständlichkeit von Lehrbuchtexten                              | 69  |
| 7.1.2.1 | Charakterisierung von Lehrbuchtexten anhand textexterner Kriterien                      | 69  |
| 7.1.2.2 | Textsortenanalyse anhand textinterner Kriterien                                         | 71  |
| 7.1.2.3 | Textsortenspezifische syntaktische Besonderheiten                                       | 81  |
| 7.1.2.4 | Quantitative Charakteristika des chemiebezogenen Fachwortschatzes                       | 86  |
| 7.1.2.5 | Möglichkeiten der Namensbildung in der naturwissenschaftlich-technischen Fachlexik      | 90  |
| 7.2     | Gütekriterien aus berufs-/fachdidaktischer Sicht                                        | 91  |
| 7.2.1   | Bezug zu alltäglichen und/oder beruflichen Problemstellungen                            | 91  |
| 7.2.2   | Äußere und sprachliche Textgestaltung                                                   | 93  |
| 7.2.3   | Nachvollziehbarkeit der ausgeführten Begründungszusammenhänge fachlicher Sachverhalte   | 95  |
| 8       | Analyse von Lehrbuchtexten anhand der Inhaltsstruktur                                   | 97  |
| 8.1     | Beurteilung von Argumentationslinien in naturwissenschaftlich-technischen Texten        | 97  |
| 8.1.1   | Concept Maps als Hilfsmittel für die berufs- und fachdidaktische Textanalyse            | 97  |
| 8.1.2   | Kriterien zur Beurteilung der Güte und Vollständigkeit von Argumentationslinien         | 99  |
| 8.2     | Textvergleiche und Ergebnisse                                                           | 100 |
| 8.2.1   | Textvergleich zum Thema „Wasser“ unter dem Stoffaspekt                                  | 101 |
| 8.2.2   | Textvergleich zum Thema „Erdölraffination“ unter dem Verfahrensaspekt                   | 105 |
| 8.2.3   | Textvergleich zum Thema „Chromatografie“ unter dem Verfahrens- und Analysenaspekt       | 107 |

|                                                                             |                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.3                                                                         | Zusammenfassung der Ergebnisse der Textvergleiche                                                       | 109 |
| <b><u>TEIL III Hochschuldidaktische Einbindung englischer Fachtexte</u></b> |                                                                                                         |     |
| 9                                                                           | Forschungsmethodisches Vorgehen                                                                         | 113 |
| 9.1                                                                         | Allgemeine Betrachtungen zum Gegenstand, Fragestellungen und Auswahl der Methoden                       | 113 |
| 9.2                                                                         | Entwicklung des Lehr-Lernkonzepts für Lehramtsstudierende                                               | 116 |
| 9.2.1                                                                       | Themenauswahl                                                                                           | 116 |
| 9.2.2                                                                       | Inhaltliche Einführung in die Chromatografie und mit der Thematik verbundene Lernpotenziale             | 118 |
| 9.2.3                                                                       | Auswahl des Textmaterials zur Chromatografie                                                            | 121 |
| 9.2.4                                                                       | Festlegung des zeitlich organisatorischen Rahmens der Fallstudie                                        | 122 |
| 9.2.4.1                                                                     | Akquise von Lehramtsstudierenden für die Fallstudie                                                     | 122 |
| 9.2.4.2                                                                     | Rahmenbedingungen und zeitlicher Ablauf der Fallstudie                                                  | 123 |
| 10                                                                          | Beschreibung der Versuchspersonen (Vpn) der Fallstudie                                                  | 125 |
| 10.1                                                                        | Soziodemografische Daten und Schulbildung der Vpn der HU                                                | 125 |
| 10.2                                                                        | Genutzte Möglichkeiten der Vpn der HU zur Erweiterung der Englischkenntnisse                            | 128 |
| 10.3                                                                        | Berufsqualifizierende Abschlüsse und Angaben zum Lehramtsstudium der Vpn der HU                         | 129 |
| 10.4                                                                        | Behandelte Themen zur Extraktion und Chromatografie der Vpn der HU                                      | 131 |
| 11                                                                          | Beschreibung der Datenerhebungsverfahren und des Versuchsablaufes                                       | 133 |
| 11.1                                                                        | Beschreibung der Versuchspersonen der Pilotierungen von C-Test und SC-Fachtest                          | 133 |
| 11.1.1                                                                      | Soziodemografische Daten und Schulbildung der Vpn der Pilotierungen von SC-Fachtest und C-Test (n = 30) | 134 |
| 11.1.2                                                                      | Genutzte Möglichkeiten der Vpn der Pilotierung zur Erweiterung der Englischkenntnisse                   | 137 |
| 11.1.3                                                                      | Behandelte Themen zur Extraktion und Chromatografie an den Lernorten der Vpn der Pilotierung            | 138 |
| 11.2                                                                        | Single-Choice-Fachtest zur Bestimmung der Fachkenntnisse zur Chromatografie                             | 141 |
| 11.2.1                                                                      | Konzeption des Single-Choice-Fachtests                                                                  | 141 |
| 11.2.2                                                                      | Pilotierung des Single-Choice-Fachtests                                                                 | 142 |
| 11.2.3                                                                      | Auswertung des Single-Choice-Fachtests                                                                  | 142 |

|          |                                                                                                              |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.2.4   | Ergebnisse der Pilotierung des Single-Choice-Fachtests zur Bestimmung der Gütekriterien                      | 143 |
| 11.3     | C-Test zur Bestimmung der Englischkenntnisse                                                                 | 144 |
| 11.3.1   | Textauswahl                                                                                                  | 145 |
| 11.3.2   | Konstruktionsprinzipien des erstellten C-Tests                                                               | 146 |
| 11.3.3   | Pilotierung des C-Tests                                                                                      | 147 |
| 11.3.3.1 | Durchführung der Pilotierung                                                                                 | 148 |
| 11.3.3.2 | Auswertung des C-Tests                                                                                       | 148 |
| 11.3.3.3 | Ergebnisse der Pilotierung des C-Tests zur Bestimmung der Gütekriterien                                      | 148 |
| 11.4     | Fragebogen zur Kontrolle der Motivation in Lern- und Leistungssituationen (FAM)                              | 151 |
| 11.5     | Das Lehr-Lernkonzept für die Fallstudie                                                                      | 152 |
| 11.5.1   | Beschreibung der Ausgangssituation                                                                           | 155 |
| 11.5.2   | Beschreibung des ersten Aufgabenkomplexes                                                                    | 156 |
| 11.5.3   | Beschreibung des zweiten Aufgabenkomplexes                                                                   | 158 |
| 11.5.4   | Beschreibung des dritten Aufgabenkomplexes                                                                   | 158 |
| 11.5.5   | Beschreibung des vierten Aufgabenkomplexes                                                                   | 160 |
| 11.5.6   | Beschreibung des fünften Aufgabenkomplexes                                                                   | 160 |
| 11.5.7   | Beschreibung der Revisionsaufgaben zu den Aufgabenkomplexen 2–4                                              | 162 |
| 11.5.8   | Überarbeitung der Aufgabenkomplexe                                                                           | 163 |
| 11.6     | Durchführung der Fallstudie                                                                                  | 166 |
| 11.6.1   | Durchführung der schriftlichen Befragung                                                                     | 169 |
| 11.6.2   | Durchführung des C-Tests                                                                                     | 169 |
| 11.6.3   | Durchführung des Workshops zum Concept Mapping                                                               | 169 |
| 11.6.4   | Durchführung Teil 2 der Fallstudie: Bearbeitung der Aufgabenkomplexe und Einsatz des SC-Fachtests (prä/post) | 172 |
| 11.6.5   | Erstellung der Concept Maps                                                                                  | 173 |
| 12       | Beschreibung der Analysenmethoden zur Analyse der Daten der Fallstudie                                       | 175 |
| 12.1     | Auswertung des FAM zur Beurteilung der Motivation während der Aufgabenbearbeitung                            | 175 |
| 12.2     | Auswertung des SC-Fachtests und des C-Tests zur Bestimmung der Vorkenntnisse der Vpn                         | 180 |
| 12.2.1   | Reliabilitätsanalyse des SC-Fachtests der Fallstudie                                                         | 181 |

|          |                                                                                                                                             |     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 12.2.2   | Reliabilitätsanalyse des C-Tests der Fallstudie                                                                                             | 182 |
| 12.3     | Auswertung der Aufgabenkomplexe des Lehr-Lernkonzeptes der Fallstudie                                                                       | 183 |
| 12.3.1   | Aufbereitung der Daten der Vpn für die qualitative Inhaltsanalyse                                                                           | 184 |
| 12.3.2   | Analyse und Auswertung der Daten nach Inhaltsaspekten zur Chromatografie                                                                    | 186 |
| 12.3.2.1 | Kategoriensystem zur Auswertung der inhaltlich orientierten Aufgaben                                                                        | 187 |
| 12.3.2.2 | Standardisierung der Propositionen der Concept Maps und der Antworten zu den Aufgaben der Aufgabenkomplexe durch qualitative Inhaltsanalyse | 195 |
| 12.3.2.3 | Bewertung des Erkenntnisgewinns                                                                                                             | 196 |
| 12.3.2.4 | Zusammenfassung der Auswertung nach Inhaltsaspekten zur Chromatografie                                                                      | 199 |
| 12.3.3   | Analyse und Auswertung der Daten nach fachdidaktischen Gesichtspunkten                                                                      | 201 |
| 12.3.3.1 | Kategoriensystem zur Auswertung der Aufgaben zur Darlegung von Erkenntniswegen                                                              | 201 |
| 12.3.3.2 | Codierung der Daten zu Erkenntniswegen                                                                                                      | 213 |
| 12.3.3.3 | Kategoriensystem zur Auswertung der genannten Problem- und Fragestellungen als Ausgangspunkt für die didaktische Linienführung              | 216 |
| 12.3.3.4 | Codierung der Daten zu Problem- und Fragestellungen                                                                                         | 218 |
| 12.3.3.5 | Bewertung der fachdidaktischen Verwertung des von den Vpn erworbenen Wissens                                                                | 219 |
| 12.3.3.6 | Zusammenfassung der Auswertung nach fachdidaktischen Gesichtspunkten                                                                        | 220 |
| 12.3.4   | Analyse und Auswertung der Daten nach Gesichtspunkten der Anwendung des erworbenen Wissen                                                   | 221 |
| 12.3.4.1 | Kategoriensystem zur Auswertung der Analyse der Schülerfehlkonzepte im fünften Aufgabenkomplex                                              | 221 |
| 12.3.4.2 | Zusammenfassung der Auswertung der von den Vpn vorgenommen Analyse der Fehlkonzepte                                                         | 231 |
| 13       | Beschreibung und Bewertung der Ergebnisse                                                                                                   | 233 |
| 13.1     | Fachbezogene und englischsprachliche Vorkenntnisse und Erkenntnisgewinn anhand des SC-Fachtests                                             | 233 |
| 13.2     | Benötigter Zeitaufwand der Vpn                                                                                                              | 235 |

|                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 13.3 Ergebnisse zu den Aufgabenkomplexen nach Inhaltsaspekten zur Chromatografie                                                                                                    | 235 |
| 13.3.1 Der „rote Faden“ entlang der Propositionsketten zur Konstruktion von Argumentationslinien – eine Vorbemerkung zur Ergebnisdarstellung                                        | 235 |
| 13.3.2 Erkenntnisgewinn der Vpn der Fallstudie im Verlauf der verschiedenen Stufen des Lehr-Lernkonzeptes                                                                           | 237 |
| 13.3.2.1 Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse                                                                                 | 240 |
| 13.3.2.2 Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten                                                                                               | 247 |
| 13.3.2.3 Begründungszusammenhänge zur Erklärung der Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie (NPC)                                                         | 253 |
| 13.3.3 Übertragungsleistung der Vpn bei der Anwendung des erworbenen Wissens auf die Trennergebnisse der dünnenschichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches | 260 |
| 13.3.4 Zusammenfassung des Erkenntnisgewinns der Vpn der Fallstudie                                                                                                                 | 264 |
| 13.4 Anwendung des erworbenen Wissens auf didaktische Überlegungen                                                                                                                  | 268 |
| 13.4.1 Überlegungen zu möglichen didaktischen Linienführungen                                                                                                                       | 268 |
| 13.4.1.1 Erkenntniswege                                                                                                                                                             | 269 |
| 13.4.1.2 Frage- und Problemstellungen für den Unterricht                                                                                                                            | 279 |
| 13.4.2 Analyse der Schülerfehlkonzepte                                                                                                                                              | 282 |
| 13.4.2.1 Schülerantwort 1 (A1) zu Aufgabe 1a des Aufgabenkomplexes 5                                                                                                                | 284 |
| 13.4.2.2 Schülerantworten 2 bis 4 (A2, A3, A4) zu Aufgaben 1b–c des Aufgabenkomplexes 5                                                                                             | 287 |
| 13.5 Fachwissenserwerb und dessen fachdidaktische Verwertung und Anwendbarkeit                                                                                                      | 295 |
| 13.5.1 Einfluss der Englischvorkenntnisse auf den Fachwissenserwerb                                                                                                                 | 297 |
| 13.5.2 Einfluss der fachlichen Vorkenntnisse auf den Fachwissenserwerb                                                                                                              | 298 |
| 13.5.3 Unterschiede im Fachwissenserwerb in Bezug auf studiumsbezogene Faktoren                                                                                                     | 300 |
| 13.5.4 Unterschiede bei den fachdidaktisch orientierten Aufgaben in Bezug auf studiumsbezogene Faktoren                                                                             | 302 |
| 14 Fazit                                                                                                                                                                            | 305 |
| 15 Ausblick                                                                                                                                                                         | 309 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Literaturverzeichnis         | 311 |
| Bildquellennachweis          | 326 |
| Abbildungsverzeichnis        | 327 |
| Abbildungsverzeichnis Anhang | 331 |
| Tabellenverzeichnis          | 333 |
| Tabellenverzeichnis Anhang   | 341 |
| Abkürzungsverzeichnis        | 345 |

#### **TEIL IV Anhang**

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 16 Anhang zu Kapitel 8                                                                             | 349 |
| 16.1 Concept Maps zum Thema „Wasser“ unter dem Stoffaspekt                                         | 349 |
| 16.2 Concept Map zum Thema „Erdölraffination“ unter dem<br>Verfahrensaspekt                        | 354 |
| 16.3 Concept Map zum Thema „Chromatografie“ unter dem Verfahrens- und<br>Analysenaspekt            | 355 |
| 17 Anhang zu Kapitel 9 – Dokumente zur Fallstudie                                                  | 357 |
| 18 Anhang zu Kapitel 11                                                                            | 361 |
| 18.1 Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation (FAM)                                       | 361 |
| 18.2 Liste der betrachteten deutschen und englischen Lehrbücher zur<br>Chromatografie              | 362 |
| 18.3 Berücksichtigte Kriterien bei der Zusammenstellung des Textmaterials                          | 365 |
| 18.4 Konstruktionsprinzipien zur Erstellung von Concept Maps bei<br>naturwissenschaftlichen Themen | 368 |
| 18.5 Material zum Concept Mapping Workshop                                                         | 369 |
| 18.6 Originaltextabschnitte aus deutschem Lehrbuch zum Thema „Wasser“                              | 372 |
| 19 Anhang zu Kapitel 12                                                                            | 373 |
| 19.1 Listen der Variablen                                                                          | 373 |
| 19.1.1 Variablen der Testphasen der Hauptuntersuchung                                              | 373 |
| 19.1.2 Variablen zur Erfassung der Motivation                                                      | 374 |
| 19.1.3 Variablen zum Fragebogen der Fallstudie                                                     | 375 |
| 19.1.4 Variablen zum C-Test, SC-Test und den Aufgabenkomplexen (Teile<br>A bis E)                  | 378 |
| 19.2 Experten-Concept Maps zur Chromatografie als Basis des<br>Kategoriensystems der Fallstudie    | 380 |
| 19.3 Beispiel einer Dokumentengruppe und den dazugehörigen Sets                                    | 382 |



|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 19.4 Mustervorlage eines strukturierten Dokumentes zur Erstellung der Transkripte                                                        | 383 |
| 19.5 Propositionsliste des Kategoriensystems zur Auswertung der Daten nach Inhaltsaspekten                                               | 387 |
| 19.6 Vorgehensweise zur Absicherung einer konsistenten Codierung                                                                         | 400 |
| 19.6.1 Ankerbeispiele zur Codierung aus Intracoding und Inter coding                                                                     | 400 |
| 19.6.1.1 Ankerbeispiel zur Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit dem Laufmittel Propanol                         | 401 |
| 19.6.1.2 Ankerbeispiel zur Begründung der guten Trennung des Farbstoffgemisches mit dem Laufmittel Toluol                                | 404 |
| 19.6.1.3 Ankerbeispiel zur Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit dem Laufmittel Hexan                            | 405 |
| 19.6.1.4 Ankerbeispiel zur Interpretation der RF-Werte bei der Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol                                | 406 |
| 19.6.1.5 Beispiele zur Codierung von Propositionen aus Concept Maps der Vpn                                                              | 407 |
| 19.6.2 Memos zum Festhalten von Auffälligkeiten während der Codierung                                                                    | 408 |
| 19.6.3 Abschließende Konsistenzprüfung der Codierungen                                                                                   | 410 |
| 19.6.3.1 Diskussionsfälle zur Codierung von Aussagen über die Löslichkeit von Analyten in der mobilen Phase                              | 413 |
| 19.6.3.2 Diskussionsfälle zur Codierung von Aussagen über die Stärke von Wechselwirkungen zwischen Laufmitteln, Analyten und (Ad)sorbens | 415 |
| 19.7 Codebuch                                                                                                                            | 421 |
| 19.7.1 Codierregeln für die Standardisierung der Aufgaben 1a-c, 2c, 3EI-III, L4                                                          | 421 |
| 19.7.2 Ankerbeispiele zu den Codierregeln für die Standardisierung der Aufgaben 1a-c, 2c, 3EI-III, 4L1 und 4L2                           | 424 |
| 19.7.2.1 Beschreibung und Begründung der Trennergebnisse                                                                                 | 424 |
| 19.7.2.2 Beschreibung der Kenngrößen                                                                                                     | 439 |
| 19.7.2.3 Beschreibung der Verhaltensbedingungen                                                                                          | 444 |
| 19.7.2.4 Betrachtung der Elutionsstärke von Laufmitteln                                                                                  | 454 |
| 19.7.2.5 Betrachtungen der unterschiedlichen zwischenmolekularen Wechselwirkungen                                                        | 464 |
| 19.7.2.6 Erklärung Wirkprinzip                                                                                                           | 474 |
| 19.7.3 Codierregeln für die Standardisierung der betrachteten                                                                            |     |

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Erkenntniswege                                                                          | 480 |
| 19.7.4 Ankerbeispiel zur dritten Codierregel                                            | 481 |
| 19.7.5 Codierregeln für die Standardisierung der genannten Problem- und Fragestellungen | 481 |
| 19.7.6 Codierregeln für die Standardisierung der Analyse der Schülerfehlkonzepte        | 482 |
| 19.7.7 Liste der nicht codierten Textsegmente                                           | 483 |
| 19.8 Experimentelle Befunde zur Trennung des Farbstoffgemisches mit einer Umkehrphase   | 497 |
| 20 Anhang zu Kapitel 13                                                                 | 501 |
| 20.1 Liste falscher Propositionen                                                       | 501 |
| 20.2 Ausgewählte Tabellen und Abbildungen aus Snyder et al. (2010)                      | 510 |
| 20.2.1 Zu Trennprinzipien                                                               | 510 |
| 20.2.2 Zu Aufgabe 4L3.2                                                                 | 511 |
| 20.3 Textsegmente zu Frage- und Problemstellungen für den Unterricht (1d, 1e, 1g)       | 514 |
| 20.4 Textsegmente zu Frage- und Problemstellungen für den Unterricht (2d, 2e)           | 520 |
| 20.5 Textsegmente zur Analyse der Schülerfehlkonzepte                                   | 521 |
| 20.5.1 Textsegmente zu Antwort 1                                                        | 521 |
| 20.5.2 Textsegmente zum Erwartungsbild 1b–c                                             | 527 |
| 20.5.3 Textsegmente zu Antwort 2                                                        | 529 |
| 20.5.4 Textsegmente zu Antwort 3                                                        | 533 |
| 20.5.5 Textsegmente zu Antwort 4                                                        | 536 |
| 20.5.6 Textsegmente zur Erklärung für Unterricht 1b–c                                   | 540 |
| 20.6 Korrelationstabellen                                                               | 545 |
| 21 Anhang nur für die Gutachter der Arbeit                                              | 547 |
| 21.1 C-Test                                                                             | 547 |
| 21.1.1 Eignung der erstellten C-Test-Absätze (Items)                                    | 547 |
| 21.1.2 Einweisende Hinweise                                                             | 548 |
| 21.1.3 Allgemeinsprachlicher Teil des C-Tests                                           | 548 |
| 21.1.4 Diskursspezifischer Teil des C-Tests                                             | 550 |
| 21.1.5 Textquellen für C-Test                                                           | 551 |
| 21.1.6 Lösungen zum C-Test, mögliche Varianten und Fehler der Vpn                       | 551 |
| 21.2 Single Choice-Fachtest                                                             | 555 |

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 21.3 Übersicht der Single Choice-Fachtest-Aufgaben und Ergebnisse der Pilotierung | 560 |
| 21.4 Aufgabenkomplexe des Lehr-Lernkonzeptes der Fallstudie                       | 565 |
| 21.4.1 Beschreibung der Fallsituation                                             | 565 |
| 21.4.2 FAM und erster Aufgabenkomplex (Teil A)                                    | 566 |
| 21.4.3 Zweiter Aufgabenkomplex mit englischem Textmaterial (Teil B)               | 566 |
| 21.4.4 Dritter Aufgabenkomplex (Teil C)                                           | 575 |
| 21.4.5 Vierter Aufgabenkomplex (Teil D)                                           | 576 |
| 21.4.6 Fünfter Aufgabenkomplex (Teil E)                                           | 577 |
| 21.4.7 Anhang zu den Aufgabenkomplexen                                            | 577 |

**TEIL I:**  
**EINFÜHRUNG ZU PROBLEMHINTERGRUND UND**  
**FORSCHUNGSFRAGEN**



## **1 Unterrichtsqualität und fachdidaktische Kompetenzentwicklung von Lehrkräften**

Unterrichtsqualität steht in dem herausfordernden Spannungsfeld dessen, was Schule leisten kann und sollte. Csapó (2010:20) konstatiert dazu treffend in seinem einführenden Beitrag zur ersten Zwischenbilanz des 2007 eingerichteten DFG-Schwerpunktprogramms „Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen“ (kurz: SPP „Kompetenzmodelle“): „Educational systems face growing pressure to prepare students for life, but curriculum developers and assessment specialists find little research that indicates how this can be done.“ Schulen stehen vor der Herausforderung, Schülerinnen und Schüler auf ein eigenverantwortliches Leben in einer durch Globalisierung und Digitalisierung bestimmten Welt vorzubereiten, wobei die Möglichkeiten der Bildungsgestaltung genauso vielfältig wie die Anforderungen sind. Studien der letzten 10 Jahre liefern belastbare Befunde über Zusammenhänge zwischen Unterrichtsqualität und Lernleistungen. Die Defizite im Bildungsbereich sind mittlerweile umfassend beschrieben. Allerdings bedarf es noch weiterer Studien, die bildungspolitische Reformen und Investitionen sowohl stützen als auch rechtfertigen (Slavin/Lake/Groff 2009: 887), um flächendeckend Schulen für Bildungsanforderungen der Zeit personell und materiell auszustatten.

Die Lehrplanentwicklung, die Ausarbeitung von Lehrmaterialien und die Entwicklung von Beurteilungssystemen zur Evaluierung von Kompetenzen, die sowohl die Entwicklung der Schülerinnen und Schüler effektiv fördert als auch ihre sozialen Bedürfnisse berücksichtigt, setzt ein tieferes Verständnis über Lernwege und Wissensstrukturen voraus. Bei den daraus ableitbaren Lehr- bzw. Lernzielen sind drei Dimensionen zu berücksichtigen:

- die disziplinäre (disciplinary [content] dimension),
- die internale oder psychologische (internal [psychological] dimension) und
- die sozio-kulturelle Dimension (social and cultural dimension) (vgl. Csapó 2010: 13).

Ein kurzer historischer Rückblick zeigt, wie diese drei Dimensionen Bildungsansätze bestimmt haben und zunehmend in ihrer Vernetzung gedacht werden, um Schulbildung effizienter zu gestalten.

Anfang des 20. Jahrhunderts lag der Schwerpunkt der schulischen Bildung auf den Geisteswissenschaften. Mit den bahnbrechenden naturwissenschaftlichen Entdeckungen wurden auch naturwissenschaftliche Inhalte in die Lehrpläne an den weiterführenden Schulen (Realschule und Gymnasium) durch Pflicht- und Wahlfächer wie Biologie, Chemie, Physik, Astronomie, Erdkunde und Informatik aufgenommen. Der disziplinäre Ansatz (disziplinäre Dimension) hat maßgeblich die Methodologie des Lehrens und Lernens bestimmt. Der Lerngegenstand ist in der (fach)wissenschaftlichen Logik strukturiert (vgl. ebd.: 14–16), nach der auch der Prozess des Lehrens gestaltet wird. Das zeigen auch qualitative Studien zum Fachwissen und fachdidaktischen Wissen von Lehrkräften, die ab der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre vorgenommen wurden.

„Fächervergleichende Analysen zeigen, dass das Fach den eigentlichen Handlungsrahmen von Lehrkräften darstellt. Das Fach bestimmt bis in Einzelheiten hinein die Textur des Unterrichts. Dies beginnt mit Vorstellungen über die Sequenzialität und Anordnung von inhaltlichen Komponenten und reicht bis hin zum Modus der Repräsentationen und Erklärungen.“ (Baumert/Kunter 2006: 492)

Das zu vermittelnde Wissen ist in den Wissenschaften verankert, das durch Lehrende und Lehrbücher zugänglich gemacht wird. In Lehr-Lern-Settings, die auf die disziplinäre Dimension ausgerichtet sind und die anderen beiden Dimensionen vernachlässigen, stellt der Lehrende die Lehrmaterialien bereit, nach denen sich Schülerinnen und Schüler den Lerngegenstand aneignen. Das Verständnis für Zusammenhänge wird demnach an den im jeweiligen Fach relevanten Inhalten erworben – „the teacher ‚delivers‘ the teaching material, which the student learns. [...] The school transmits the mathematics of mathematicians, the physics of physicists and the history of historians“ (Csapó 2010: 16). Unterricht in dieser Form fokussiert auf Fakten und Anwendung von Schemata in den durch die Lernmaterialien vorgegebenen Kontexten und sichert weniger Transferleistungen auf andere Kontexte (sozio-kulturelle Dimension).

Die für Deutschland schockierenden PISA-Ergebnisse im Jahr 2000, die bescheinigten, dass die Leistungen der Fünfzehnjährigen im internationalen Vergleich in allen drei Domänen (Lesen, Mathematik, Naturwissenschaften) signifikant unter dem Mittelwert der OECD lagen, mögen ein Indiz für diese Problematik gewesen sein, dass Unterricht zu stark auf Fakten und Anwendung von Schemata in entsprechenden Kontexten ausgerichtet ist bzw. war, sodass das angeeignete Wissen allgemein reproduzierbar und eher nur in Kontexten anwendbar ist, in denen es angeeignet wurde (vgl. ebd.: 17). Lt. Zusammenfassung der PISA-Studie 2000 lagen z. B. 26,3 Prozent der Schülerinnen und Schüler auf dem unteren Niveau einer nominellen naturwissenschaftlichen Grundbildung, während nur 3,4 Prozent das Niveau einer konzeptuellen und prozeduralen Grundbildung auf der Basis eines Denkens mit Modellen erreichten (Artelt et al. 2001: 29).

In Deutschland beschäftigt sich seitdem die Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder (KMK) intensiv mit Verbesserungsmöglichkeiten schulischer Bildung. Dazu wurden 2003 Bildungsstandards für verschiedene Fächer und Schulabschlüsse beschlossen, um bundeslandübergreifend einheitliche Maßstäbe zur Umsetzung bildungspolitischer Zielsetzungen mit dem Anspruch festzulegen, Schülerinnen und Schüler auf die Lebens- und Arbeitswelt des 21. Jahrhunderts vorzubereiten. In allen Bundesländern gab es in den letzten Jahren für alle Schularten Lehrplannovellierungen. In den daraufhin in Kraft getretenen Lehrplänen wurden zu den zu unterrichtenden Inhalten gezielt Festlegungen auszubildender methodischer Fähig- und Fertigkeiten getroffen (vgl. Lersch 2010: 1), die das logische Denken fördern (internale oder psychologische Dimension) und erforderlich sind, um erworbenes Fachwissen in alltäglichen und beruflichen Kontexten anwenden zu können (sozio-kulturelle Dimension). Damit wird einer stärkeren Verknüpfung der drei von Csapó (2010) genannten Dimensionen Rechnung getragen.

Die Ansprüche an Bildung des 21. Jhrts. unterscheiden sich zu den vorherigen Jahrhunderten durch die exponentielle Entwicklung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich und die damit einhergehende stärkere Vernetzung von Lebensräumen über nationale Grenzen hinweg. Um Kinder und Jugendliche auf ein eigenverantwortliches Leben in der Gesellschaft vorzubereiten, das starken Veränderungen unterworfen ist, auf die man sich einstellen können muss, sind die drei von Csapó genannten Dimensionen, die auch früher schon eine Rolle bei Bildungszielen spielten, stärker in ihrem Zusammenspiel zu betrachten (vgl. ebd.: 21–22).

Die OECD PISA-Studien sind die auf dem Bildungssektor einflussreichsten Studien, deren Testformat auf anwendbares Wissen ausgelegt ist, über das 15-Jährige in einer modernen Gesellschaft verfügen sollten, um sich gesellschaftlich einbringen, ein ausgewogenes Leben führen und sich weiterentwickeln zu können. Letzteres entspricht der soziokulturelle Dimension, die im Literalitätsverständnis des PISA-Rahmenkonzepts berücksichtigt wird. Der Begriff „literacy“ (Literalität) ist nicht nur auf das Leseverstehen beschränkt, sondern umfasst auch das naturwissenschaftliche (scientific literacy) und mathematische Verständnis (mathematical literacy) (vgl. ebd.: 21).

In Deutschland erfolgten seit den PISA-Ergebnissen von 2000 intensive Bestrebungen, von wissenschaftlicher Seite die bei Schülerinnen und Schülern ausgebildeten Kompetenzen in den jeweiligen Fächern qualitativ und quantitativ zu erfassen, um daraus Konsequenzen für die Unterrichtspraxis abzuleiten. Das bildungspolitische Interesse spiegelt sich in den dazu vom Bund geförderten Projekten wider. Für die Fächer Physik und Chemie sind besonders die Arbeiten von Kauertz (2008) bzw. Bernholt (2010) hervorzuheben, deren Ansätze für die Entwicklung eines Kompetenzmodells für den berufsbildenden Bereich des Berufsfeldes Labor- und Prozesstechnik von Frank et al. (2016) aufgegriffen und weiterentwickelt wurden.

Die über die Lehrpläne neu definierten Lernziele<sup>1</sup> erfordern entsprechende konzeptionelle Ansätze für den Unterricht, die den inhaltlichen und methodischen Vorgaben entsprechen (Lersch 2010: 3). Die Ergebnisse der PISA-Studien von 2003, 2006, 2009, 2012 und 2015 zeigten zwar eine Steigerung der Leistungen deutscher Schülerinnen und Schüler, die aber gegenüber denen aus Ländern wie Finnland oder Kanada, schwächer ausfielen. Auch Ergebnisse anderer Studien (vgl. Kauertz 2008; Bernholt 2010) zur Kompetenzmessung im naturwissenschaftlichen Bereich konnten Lerndefizite von Schülerinnen und Schülern aufzeigen. Bei der Suche nach den Ursachen festgestellter Lerndefizite werden neben persönlichen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler genauso Dimensionen erfolgreichen Unterrichts diskutiert, die Einfluss auf den Lernerfolg haben (vgl. Erkenntnisse von Slavin/Lake/Groff 2009).

---

<sup>1</sup> Streng genommen sind es Lehrziele (vgl. Minnameier 2005: 191), die im Idealfall Lernziele der Lernenden werden, wenn Lernende die von Lehrkräften gesetzten Lehrziele für sich als Lernziele annehmen.



Bei der Erfassung der Dimensionen erfolgreichen Unterrichts spielt die Lehrperson eine zentrale Rolle. Daher wurden in den letzten Jahren einige Studien zur Kompetenzmodellierung des Professionswissens von Lehrkräften durchgeführt (vgl. Woitkowski 2015, 2011), um ein tiefergreifenderes Verständnis erfolgreichen Unterrichts zu erhalten. Diese Studien zur Modellierung und Messung des Professionswissens von (angehenden) Lehrkräften wie COACTIV (Kunter et al. 2011), TEDS (Blömeke/Kaiser/Lehmann 2010), FALCO (Krauss et al. 2017a) nutzten den Ansatz Shulmans (1986), der das Professionswissen von Lehrkräften u. a. nach Fachwissen (content knowledge, CK) und fachdidaktischem Wissen (pedagogical content knowledge, PCK) unterscheidet. Fachdidaktisches Wissen bedeutet dabei, die mit dem zu unterrichtenden Inhalt (Lerngegenstand) verbundenen Lernwege und Lernhürden antizipieren zu können, um dann den Unterricht methodisch so zu gestalten, dass Lernende in ihren Denkprozessen für die Auseinandersetzung mit dem Inhalt aktiviert werden (vgl. Shulman ebd.<sup>2</sup>; Düwel/Niethammer 2017). Demnach „benötigen Lehrkräfte spezifisches Wissen, das sie dazu befähigt, fachliche Inhalte adressatenbezogen zu strukturieren und darzustellen“ (Riese et al. 2015: 57).

Aus diesem Anspruch wird die zentrale Aufgabe der Fachdidaktiken deutlich, die darin besteht, Studierende zu befähigen, das Fachwissen mit dem fachdidaktischen Wissen zu verknüpfen, was Lehramtsstudierenden oft schwerfällt (vgl. Lorentzen et al. 2018). Einer der Gründe liegt in der Organisation des Lehramtsstudiums begründet. Lehramtsstudierende durchlaufen in den Fachdisziplinen dieselben Lehrveranstaltungen wie diejenigen, die ein rein fachwissenschaftliches Studium absolvieren. Somit sind diese fachwissenschaftlichen Lehrveranstaltungen nicht auf die später zu unterrichtenden Inhalte zugeschnitten, sondern auf die innerhalb dieser Disziplin zu bewältigenden Forschungsaufgaben.

Um diesem Grundproblem in der Lehramtsausbildung zu begegnen, wurden Maßnahmen zur Verbesserung der Lehrerbildung ergriffen, die seit 2014 durch Bundesmittel unter dem Stichwort „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ finanziert werden.<sup>3</sup> Für die Ableitung der eigenen Forschungsfragen werden Ergebnisse relevanter Studien aus den insgesamt 49 geförderten Projekten kurz umrissen sowie von Studien, die vor der „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ durchgeführt wurden.

---

<sup>2</sup> „Teachers must not only be capable of defining for students the accepted truths in a domain. They must also be able to explain why a particular proposition is deemed warranted, why it is worth knowing, and how it relates to other propositions, both within the discipline and without, both in theory and in practice.“ (Shulman ebd.: 9).

<sup>3</sup> Dieses Programm umfasst zwei Förderphasen. In der ersten Förderphase, die bis 2019 lief, wurden 49 Projekte an 59 Hochschulen aus 16 Bundesländern aus den Bundesmitteln finanziert. Die daran anschließende Förderphase läuft bis 2023, in der Anschlussvorhaben der in der ersten Förderphase gelaufenen Projekte finanziert werden (vgl. Frister 2018: 15–16).

## **2 Ansätze zur Modellierung und Messung von Unterrichtsqualität**

Da das Dissertationsthema dem Fach Chemie bzw. dem berufsbildenden Fach der Labor- und Prozesstechnik zuzuordnen ist, werden nachfolgend auch für die Herleitung der eigenen Forschungsfragen und des dafür erforderlichen Forschungsdesigns gezielt Erkenntnisse aus den Forschungsergebnissen der fachdidaktischen Forschung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer skizziert. Am umfangreichsten sind die Studien in den Fächern Mathematik und Physik, sodass sie in der Darstellung dominieren. Die für das Fach Chemie entwickelten Ansätze zur Kompetenzerfassung von Lehramtsstudierenden und Schülerinnen und Schülern knüpfen an die in den Fächern Mathematik und Physik entwickelten Ansätze an und stellen gut Gemeinsamkeiten und disziplinarisch begründete Unterschiede dar.

An den verschiedenen Hochschulstandorten wird nicht zuletzt durch die Qualitätsoffensive Lehrerbildung an Konzepten und Umstrukturierungen des Lehramtsstudiums gearbeitet, um die Lehrerbildung zu stärken und damit Bildungsergebnisse zu verbessern. Fokus ist dabei die Kohärenz und Professionsorientierung der Lehrerbildung (vgl. Kreutz/Leuders/Hellmann 2020: 1). Durch die Art wie das Studium und die darin integrierte Schulpraxis organisiert ist mit zeitlich versetzt stattfindenden fachlichen, fachdidaktischen und pädagogisch-psychologischen Lehrveranstaltungen, fokussieren Lehrziele und damit verbundene Lerngelegenheiten auf die für das Fachgebiet relevanten Inhaltsaspekte.

„Die Lehrangebote sind fächerübergreifend, z. T. sogar fachintern nicht koordiniert, [...]. Schulpraktische Studien werden zwar (von den Studierenden!) hoch geschätzt, bleiben aber ohne Verbindung zu den anderen Elementen. Bedingt durch die zersplitterte Struktur des Studiums kann in vielen Bereichen nur Grundlagenwissen vermittelt bzw. erworben werden.“ (Terhart 2001: 196-197)

Berufliche Problemstellungen sind allerdings oft komplexer Natur, für deren Bewältigung die zuvor getrennt erworbenen Kompetenzen wieder zusammengeführt werden müssen. Dazu ist es wichtig, dass auch im Studium Lerngelegenheiten geschaffen werden, die die Zusammenführung und Vernetzung getrennt vermittelter Kompetenzen ermöglichen (Leuders 2020: 9-12; vgl. van Merriënboer/Jelsma/Paas 1992; Kirschner/van Merriënboer 2008; s. Kap. 6.4.3, S. 58).

## 2.1 Kompetenz von Lehrkräften als Bedingung für kognitiv aktivierenden Unterricht

COACTIV (Cognitive Activation in the Classroom) ist eines der ersten Projekte, in dem schwerpunktmäßig die Kompetenz von Lehrkräften als wichtige Bedingung für kognitiv aktivierenden Unterricht untersucht wurde.<sup>4</sup> Ergebnisse des Projektes bestätigen Befunde früherer Studien. Dazu zählt, dass kognitiv aktivierender Unterricht in der Praxis selten vorkommt (vgl. Neubrand et al. 2011: 129). Trotz der durch TIMSS<sup>5</sup> und SINUS<sup>6</sup> angestoßenen Veränderungsprozesse zeigten die Ergebnisse in COACTIV keine Anzeichen für eine deutliche Veränderung der Unterrichtskultur im Mathematikunterricht, die stark von der Abfolge eines fragend-entwickelndem Unterrichtsgesprächs und individueller Stillarbeit mit Übungsaufgaben dominiert wird. Darüber hinaus schien ein Großteil der Lehrkräfte nur geringe Kenntnisse über aktuelle mathematikdidaktische Instruktionsmodelle zu besitzen und diese sehr selten in ihrem Unterricht einzusetzen (vgl. ebd.: 95–96).

Unterschiede zwischen Lehrkräften in der Häufigkeit der Nutzung bestimmter methodischer Elemente lassen sich nur bedingt auf Schulformunterschiede zurückführen. Allerdings lassen sich auf der individuellen Ebene der Lehrkräfte Kombinationen methodischer Formen und damit verbunden methodische „Stile“ erkennen. So wird ein vergleichsweise hoher Anteil an Unterrichtsgespräch oft mit Stillarbeit kombiniert. Lehrkräfte, die häufig Gruppenarbeit einsetzen, nutzen auch entsprechend mehr Partnerarbeit. Beide methodischen Elemente sind „vergleichsweise häufig mit dem Einsatz individueller Arbeitspläne verbunden, was auf eine generelle Offenheit für kooperativ-individualisierende Methoden

---

<sup>4</sup> Zur Erfassung der Unterrichtsqualität wurde ein multimethodischer Zugang gewählt, bei dem mehrere Erfassungsarten wie Befragungen der Lehrkräfte selbst, Befragungen der Schülerinnen und Schüler sowie die Analyse von Unterrichtsmaterial kombiniert wurden. Damit wurde sichergestellt, die Komplexität des Unterrichtsgeschehens best möglich abzubilden. Außerdem trägt man Erkenntnissen diverser Studien Rechnung, „die die Möglichkeiten und Grenzen dieser Erfassungsmethoden zu beurteilen erlauben (Clausen, 2002; De Jong & Westerhof, 2001; Desimone, 2009; Kunter & Baumert, 2006b; Lüdtke, Robitzsch, Trautwein & Kunter, 2009; D. P. Mayer, 1999; Seidel & Shavelson, 2007). Konsens dieser Studien ist, dass es den Königsweg der Erfassung nicht gibt, sondern dass je nach untersuchtem Konstrukt und gewünschtem Auflösungsgrad die eine oder andere Methode besondere Vorteile bietet.“ (Kunter/Voss 2011: 91)

<sup>5</sup> TIMSS steht für „Trends in International Mathematics and Science Study“. Aus der TIMSS-Mittelstufenuntersuchung (Baumert, Lehmann et al. 1997; Blum 2001; Blum & Neubrand 1998 in Kunter/Voss 2011: 94) ging hervor, dass der deutsche Mathematikunterricht einem stark lehrerzentrierten Grundmuster von fragend-entwickelndem Unterrichtsgespräch und individueller Stillarbeit mit Übungsaufgaben folgt. „Auffällig war bei diesem Grundmuster zum einen, dass es relativ invariabel über die verschiedenen Unterrichtsstunden und Lehrkräfte zu beobachten war. Zum anderen traten interaktive und individualisierende Sozial- und Lernformen wie Partnerarbeit oder Erarbeitung von Sachverhalten im Gruppendiskurs sowie innovative Lehr-Lern-Arrangements, die auch eine Auseinandersetzung mit aktuellen mathematikdidaktischen Instruktionsmodellen widerspiegeln, äußerst selten auf.“ (ebd.: 94)

<sup>6</sup> SINUS knüpfte an die in der TIMSS-Mittelstufenuntersuchung gemachten Beobachtungen an. Es war ein „bundesweit implementierter Modellversuch zur *Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts* (SINUS) (Prenzel & Ostermeier, 2003) [...] und verfolgte das Ziel, Lehrkräfte hinsichtlich größerer Methodenvielfalt, speziell zur Vermittlung kooperativer und individualisierender Sozial- und Lernformen, und der Berücksichtigung neuerer mathematikdidaktischer Erkenntnisse weiterzubilden (Baumert et al. , 1997).“ (ebd.: 94)

schließen lässt. Dieser Befund weist darauf hin, dass sich zumindest bei einer Teilgruppe der untersuchten Lehrkräfte eine Öffnung zu modernen didaktischen Konzepten findet, auch wenn insgesamt die Verbreitung dieser Konzepte noch relativ gering ist“ (ebd.: 97).

Bei der Befragung angehender Lehrkräfte zeichnet sich ein ähnliches Bild ab, was verdeutlicht, wie stabil Unterrichtskulturen sind und dass fachdidaktische Erkenntnisse in der Praxis kaum wahrgenommen und umgesetzt werden (vgl. ebd.: 97).

Wird Unterricht nach den lernförderlichen Prinzipien gestaltet, dann sind es Lehrkräfte, die ein hohes Fachwissen aufweisen. Ein Indiz dafür ist, dass gymnasiale Lehrkräfte gegenüber denen anderer allgemeinbildender Schularten nicht nur über deutlich mehr Fachwissen, sondern auch mehr fachdidaktisches Wissen verfügen (vgl. Kleickmann et al. 2013: 12). Fachwissen ist demnach bei der Entwicklung von fachdidaktischem Wissen bedeutsam (vgl. Krauss et al. 2008: 251). Das Fachwissen hat allerdings keinen direkten Einfluss auf das kognitive Aktivierungspotenzial von Unterricht, wohl aber auf das curriculare Niveau der Aufgaben (Baumert/Kunter 2011: 182–183). Mittelbar wird die Unterrichtsqualität auch von den diagnostischen Fähigkeiten einer Lehrkraft bestimmt. In der COACTIV-Studie zu diagnostischen Fähigkeiten von Mathematiklehrkräften wurden die Indikatoren aufgabenbezogene Urteilsfehler und die diagnostische Sensitivität der Lehrkräfte der PISA-Klassen mit der abhängigen Variable „Schülerleistung“ in der 10. Klasse in Beziehung gesetzt. Beide Indikatoren diagnostischer Fähigkeiten beeinflussten die Mathematikleistung jeweils statistisch signifikant.

„Bei gleichen Eingangsvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler sowie gleichen Kontextbedingungen auf Klassenebene wiesen also die Klassen eine höhere Mathematikleistung in der 10. Klasse auf, deren Lehrkräfte akkurater (1) die aufgabenbezogene Schwierigkeit und (2) die Leistungsrangreihe der Schülerinnen und Schüler in ihren Klassen beurteilen konnten. Die vermeintlich ‚kleinen‘ Effektgrößen der Indikatoren diagnostischer Fähigkeiten mit absoluten Werten um jeweils .15 Standardabweichungen sind dabei durchaus von praktischer Bedeutsamkeit, wenn man bedenkt, dass der Leistungszugewinn von der 9. zur 10. Klasse in Mathematik in etwa bei 0.3 Standardabweichungen liegt (Baumert & Artelt, 2002; Hill, Bloom, Black & Lipsey, 2008). [...] Die Akkuratheit, wie gut Mathematiklehrkräfte das Leistungsniveau, die Leistungsheterogenität und die Leistungsbereitschaft ihrer Klassen einschätzen können, ist relativ gering.“<sup>7</sup> (ebd.: 229–230)

<sup>7</sup> Die geringe Akkuratheit der Schülerleistungseinschätzung ist lt. den Autorinnen und Autoren nicht überraschend, da in den meisten Fällen „die teilnehmenden Mathematiklehrkräfte sicherlich bis zum Erhebungszeitpunkt von COACTIV keine Informationen zum Leistungsstand oder zur Leistungsbereitschaft von Jugendlichen an ihren Schulen auf Grundlage von standardisierten landesweiten Schülerleistungsstudien erhalten [hatten].“ (Brunner et al. 2011: 231)

Bei der Unterrichtsqualität spielen ferner auch weitere Kompetenzmerkmale der Lehrkräfte wie Einstellungen, Motivation und die Fähigkeit, mit beruflichen Anforderungen konstruktiv umgehen zu können, eine Rolle. Transmissive/behavioristische Überzeugungen standen bspw. in negativem und konstruktivistische Überzeugungen in positivem Zusammenhang mit Unterrichtsqualität und Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler (vgl. Voss et al. 2011: 250). Da Überzeugungen stabile kognitive Strukturen sind, können sie aufgrund ihrer Filterfunktion für die Wahrnehmung und Begegnung mit der Welt nur schwer überwunden bzw. verändert werden.

„Conceptual-change Prozesse zur Veränderung der naiven Theorien der Lehrkräfte, so Patrick und Pintrich, könnten nur dann erfolgreich sein, wenn eine tiefe kognitive Verarbeitung und Auseinandersetzung mit diesen Theorien und den konfligierenden neuen Informationen stattfindet, die gleichzeitig durch adaptive motivationale Orientierungen (wie z.B. hohes Interesse, eine Lernzielorientierung oder hohe Selbstwirksamkeitsüberzeugungen) unterstützt werden müsse. Als praktische Implikationen leiten die Autoren ab, dass (a) Ausbilder von Lehrkräften ein Bewusstsein für die naiven Theorien der zu unterrichtenden Studierenden haben sollten, dass (b) wiederholt Lerngelegenheiten geboten werden müssten, in denen die bestehenden naiven Theorien infrage gestellt werden, dass (c) eine unterstützende Lernumgebung geschaffen werden sollte, in der die aktive Auseinandersetzung mit den Überzeugungen gefördert wird und (d) die Überzeugungen explizit gemacht und diskutiert werden (vgl. auch Gregoire, 2003).“ (ebd.: 251)

Ein wichtiges Fazit aus der COACTIV-Studie ist, das fachdidaktische Wissen in der Lehramtsausbildung auf die Kompetenzen auszurichten, die zur Erfüllung der Bildungsstandards erforderlich sind, sodass in der späteren Berufspraxis mehr Aufgaben gestellt werden, „in denen es um Modellieren und um Argumentieren geht, auf allen Anforderungsniveaus“ (Blum/Krauss/Neubrand 2011: 339). Dies schließt das Ausloten des Lösungsraums von Aufgaben sowie das Herausarbeiten fachspezifischer Möglichkeiten des Erklärens und Repräsentierens mit ein, was allerdings nicht nur Teil des fachdidaktischen Wissens im Fach Mathematik ist, sondern auch in anderen Fächern von Bedeutung ist. In der COACTIV-Studie konnte zumindest gezeigt werden, dass Lehrkräfte, die in höherem Maße über solches fachdidaktisches Wissen verfügen, mit großer Wahrscheinlichkeit einen qualitativ besseren Unterricht gestalten können, der auch bessere Schülerleistungen hervorbringt. Obwohl diese Aspekte bereits in Lehrerbildungsprogrammen Berücksichtigung finden, gehören sie „noch nicht zum selbstverständlichen, jederzeit abrufbaren Bestand des Professionswissen in der Breite“ (ebd.: 339–340).

Das COACTIV-Modell betont die aktive Nutzung von Lerngelegenheiten als einen zentralen Wirkmechanismus für Kompetenzentwicklung in der Lehrerbildung, wobei Unterschiede in der professionellen Kompetenz von Lehrkräften auf Variationen in der Gestaltung der Lerngelegenheiten in Abhängigkeit der jeweiligen Kontextbedingungen und die

individuell variierende Nutzung zurückgeführt werden können (vgl. Kunter/Baumert 2011:350). Aus diesen Erkenntnissen resultieren weitergehende Untersuchungen zur Kompetenzmodellierung von Lehrkräften.

### 2.2 Ansätze zur Modellierung des Professionswissens von Lehrkräften

Weitere Projekte zur theoretischen Modellierung und empirischen Prüfung der Wissensdomänen von Lehrkräften im Fach Mathematik sind MT21 (Blömeke/Kaiser/Lehmann 2008; vgl. Kunter/Baumert 2011:352) und deren Nachfolgestudie TEDS-M (Blömeke/Kaiser/Lehmann 2010; Blömeke et al. 2010; vgl. Kunter/Baumert 2011:352). In diesen Studien konnte länderübergreifend der gebotene Umfang der Lerngelegenheiten in Mathematik als signifikanter Prädiktor für den Wissenserwerb angehender Mathematiklehrkräfte besonders für den Fachwissenserwerb, aber auch für den fachdidaktischen Wissenserwerb nachgewiesen werden (vgl. Blömeke et al. 2010:43).

Für das Fach Physik entwickelte Riese (2009) einen ersten Ansatz in Anlehnung an die Modellierungen für das Fach Mathematik. Sein Ansatz wurde im Projekt ProwiN (Borowski et al. 2011) weiterentwickelt. Borowski et al. (ebd.) konnten zeigen, dass Lehrkräfte signifikant mehr schulrelevantes Fachwissen besitzen als Studierende (hohe Effektstärke) und Referendare (mit mittlerer Effektstärke). Damit gibt es erste Hinweise, dass das schulrelevante Fachwissen über beide Ausbildungsphasen zunimmt. Diese Wissenszunahme nach der ersten Phase, nach der Fachwissen nicht mehr explizit gelehrt wird, mag darin begründet liegen, dass zur Vorbereitung von Unterricht Fachwissen entsprechend aufzubereiten und zu vertiefen ist. Allerdings bleibt das schulrelevante Fachwissen der in der Stichprobe teilnehmenden Lehrkräfte über die Dienstjahre hinweg konstant, was ein Indiz dafür ist, dass das schulrelevante Wissen im Wesentlichen in den ersten Dienstjahren erworben wird (vgl. Kleickmann et al. 2013:10).

Unter den wenigen Arbeiten im Bereich Chemie entwickelte Dollny (2011) auch im Projekt ProwiN ein Testinstrument, um das fachspezifische Professionswissen von Chemielehrkräften abzubilden. Dazu vergleicht sie Gymnasial- und Hauptschullehrkräfte zweier Bundesländer (Nordrhein-Westfalen und Bayern<sup>8</sup>), um schulart- und bundeslandspezifische Unterschiede aufzudecken. Neben schulart- und bundeslandspezifischen Unterschieden konnte sie Einflussfaktoren auf die chemiespezifische Expertise nachweisen. Dazu zählen das Vorwissen durch belegte Kurse in der Oberstufe, formale, non-formale und informelle Lerngelegenheiten sowie das Geschlecht. Literaturkonform wirkt sich das Vorwissen durch belegte Kurse in der Oberstufe positiv auf das Fachwissen aus (vgl. Riese 2009). Das Vorwissen hat allerdings keinen direkten Einfluss auf das fachdidaktische Wissen. Unter den non-formalen Lerngelegenheiten haben das monatliche Lesen von Fachzeitschriften und der gezielte Austausch unter Fachkollegen einen signifikanten Effekt auf das Fachwissen.

---

<sup>8</sup> In Bayern wurden 2011/12 die Hauptschulen in Mittelschulen umgewandelt (vgl. Krauss et al. 2017b: 51). Im Folgenden wird die Bezeichnung „Hauptschulen“ beibehalten.

Hervorzuheben ist die Tatsache, dass der Zusammenhang zwischen Fachwissen und fachdidaktischem Wissen zwar gegeben ist, aber bei den Gymnasiallehrkräften geringer als bei den Nicht-Gymnasiallehrkräften ausfällt. Dollny (2011) sieht darin ein Indiz für die Auswirkung der unterschiedlichen Schwerpunkte in der universitären Ausbildung der Lehrkräfte (vgl. Krauss et al. 2017b: 51–55). In den nichtgymnasialen Studiengängen<sup>9</sup> werden Studierende fast vollständig von Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktikern ausgebildet, sodass bereits im Studium eine bessere Vernetzung zwischen Fachwissen und fachdidaktischem Wissen gegeben ist. In den Gymnasialstudiengängen besuchen Studierende für die fachwissenschaftliche Ausbildung die Lehrveranstaltungen der fachwissenschaftlichen Studiengänge zusammen mit Diplomstudierenden. Die fachdidaktischen Lehrveranstaltungen laufen getrennt davon, sodass die beiden Dimensionen (Fachwissen und fachdidaktisches Wissen) nicht ausreichend in Verbindung gebracht werden (Dollny 2011: 99–100; vgl. Lorentzen et al. 2018).

Fachwissen und fachdidaktisches Wissen kann Dollny (2011) als trennbare Konstrukte nachweisen (vgl. Krauss et al. 2017b: 49), wobei die beiden Dimensionen nicht proportional zur Expertise ansteigen, die u. a. informell durch die Berufstätigkeit bestimmt wird. Konform mit Borowskis Befund zur Konstanz des Fachwissens innerhalb der Gruppe der Lehrkräfte (vgl. Borowski et al. 2011) hat die Berufserfahrung keinen Einfluss auf die Ausprägung des Fachwissens (Dollny 2011: 90; vgl. Kleickmann et al. 2013: 12; Krauss et al. 2017b: 48–49). Der Höhepunkt der fachdidaktischen Expertise liegt zwischen fünf und zehn Jahren Berufserfahrung. Entgegen den Erwartungen (vgl. Olszewski 2010) weisen Lehrkräfte mit mehr als zehn Jahren Berufserfahrung ein geringeres fachdidaktisches Wissen auf als die Lehrkräfte mit weniger als fünf Jahren Berufserfahrung. Dollny (2011: 100) führt diesen Widerspruch darauf zurück, dass die Merkmalsausprägungen zur Berufserfahrungsart (vgl. Czerwenka & Nölle, 2001 in ebd.: 100 zu „Reflexion“ oder „Schlendrian“) in ihren Gruppen nicht homogen verteilt waren. Lehrkräfte mögen im Laufe ihrer Berufsjahre Routinen entwickeln, die ihrer Weiterentwicklung im fachdidaktischen Wissen entgegenstehen, wobei an dieser Stelle schulische Rahmenbedingungen bei der Expertiseentwicklungen von Lehrkräften eine nicht unwesentliche Rolle spielen mögen. Das Fehlen eines Kompetenzzuwachses im Fachwissen und fachdidaktischen Wissen über die Jahre der Berufsausübung wird mitunter dadurch erklärt, dass „deliberate practice“- Bedingungen fehlen (vgl. Ericsson, Krampe & Tesch-Römer, 1993 in Krauss et al. 2017b: 49). Zu diesen Bedingungen zählen z. B. Experten- bzw. Peerfeedback, permanentes Arbeiten an Schwächen, Wille und Antrieb zur eigenen Kompetenzverbesserung, die im Beruf kaum noch gegeben sind.

---

<sup>9</sup> Dies betrifft in Bayern die Lehramtsstudiengänge für Gund- und Hauptschulen, in den nur ein Unterrichtsfach, einschließlich der dazugehörigen Fachdidaktik, sowie „drei weitere sogenannte ‘Didaktikfächer’, in denen jeweils im Wesentlichen die Didaktik des Faches, diese jedoch sogar in einem Umfang von circa 24 ECTS [sic.], gemäß der jeweiligen Schulform studiert wird. Zudem werden in den drei Didaktikfächern gemäß bayerischer LPO I bis zu einem gewissen Grad auch fachliche Grundlagen vermittelt.“ (ebd.: 52–53)

## 2.3 Spezifikation des Fachwissens als Voraussetzung für qualitativ optimal gestalteten Unterricht

Offen bleibt die Frage, über welches Fachwissen Lehramtsstudierende verfügen müssen, um Unterricht optimal gestalten zu können. Dieser und weiteren Fragestellungen widmet sich die zweite Generation Forschungsprojekte. Dazu zählen ProfiLe-P<sup>10</sup>; KiL<sup>11</sup> sowie Nachfolgeprojekte der ersten Generation. Sie liefern differenziertere Forschungsfragen, die einer Verfeinerung der bestehenden Modellierungen nachkommen und auch stärker die Unterrichtspraxis und deren Wirkung in den Blick nehmen (vgl. Woitkowski 2015: 2–3).

Vor dem Hintergrund einer verbesserten universitären Ausbildung von Lehrkräften ist dabei eine zentrale Fragestellung, wie das Fachwissen, über das Lehrkräfte verfügen sollten, spezifiziert werden kann, um daraus Konsequenzen für die fachwissenschaftliche Ausbildung im Studium abzuleiten. Im Kern geht es darum, Brücken zu schlagen zwischen Hochschulfach und dem jeweiligen Schulfach (vgl. Klein 1933/1968a in ebd.: 31), sodass das an der Hochschule erworbene Fachwissen das notwendige Tiefenverständnis für die im Schulkontext zu unterrichtenden Inhalte hervorbringt. Die meisten Studien, in denen eine Graduierung des Fachwissens für die Naturwissenschaften konzeptualisiert wurde, unterscheiden zwischen schulischem, vertieftem schulischem und universitärem Wissen. Woitkowski (ebd.) untersucht in diesem Zusammenhang für das Fach Physik die Bedeutung der Erkenntnisgewinnung bei der Aneignung fachlicher Inhalte und die Übertragbarkeit der erarbeiteten Konzepte zu Fachwissensstufen und zur Erkenntnisgewinnung auf Fachphysiker. Für Probanden im oberen Fähigkeitsdrittel ergab sich gegenüber schwächeren Probanden keine empirische Trennbarkeit der Fachwissensteilskalen (Schulwissen, vertieftes Schulwissen und universitäres Wissen). Wohl aber wiesen Studierende der Fachwissenschaft ein im Mittel höheres universitäres Fachwissen auf als die Gruppe der Lehramtsstudierenden, was auch mit der größeren Bedeutung des universitären Wissens für die Probanden aus der Fachwissenschaft korrespondiert. Lehramtsstudierende (oberes Lehramt) hingegen können im Laufe ihres Studiums ihr schulisches Wissen signifikant ausbauen, was

---

<sup>10</sup> „Der Forschungsverbund ‚Professionswissen in der Lehramtsausbildung Physik‘ (ProfiLe-P) hat sich zum Ziel gesetzt, ein Rahmenmodell des Professionswissens angehender Physiklehrerinnen und -lehrer sowie von Übungsleiterinnen und -leitern der Physik zu entwickeln. Das Modell soll deklarative, analytische und prozedurale Komponenten fachdidaktischen Wissens sowie physikalisches Fachwissen umfassen. Im Verbund sind drei Teilvorhaben angelaufen. DaWis (Universität Paderborn) setzt sich mit der analytischen und deklarativen Komponente fachdidaktischen Wissens auseinander, EWis (Universität Bremen) beschäftigt sich mit den prozeduralen Komponenten fachdidaktischen Wissens und FaWis (Universität Duisburg-Essen, RWTH Aachen) behandelt das physikalische Fachwissen. Es werden Testinstrumente für alle Bereiche entwickelt und an der Zielgruppe – Physik-Lehramtsstudierende aller Stufen sowie Übungsgruppenleiter – validiert.“ (Kulgemeyer et al. 2012: 1)

<sup>11</sup> In dem Projekt „Messung professioneller Kompetenzen in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen“ geht es darum, die Entwicklung des Professionswissens von Lehramtsstudierenden in seiner inhaltlichen Breite zu erfassen. KiL knüpft unmittelbar an die Arbeiten von Riese (2009) an (vgl. auch Riese/Reinhold 2010; Woitkowski/Riese/Reinhold 2011), in denen Untersuchungen auf das Fachwissen im Bereich Mechanik und das fachdidaktische Wissen im Bereich des Experimentierens beschränkt sind (Kröger/Neumann/Petersen 2013: 533; vgl. Kröger et al. 2012). Laufzeit des Projektes war von 2011 bis 2013.



bei den angehenden Fachphysikern kaum und den Lehramtsstudierenden (unteres Lehramt) nicht der Fall zu sein scheint. Eine Unterscheidung von Schulwissen, vertieftem Wissen und universitärem Fachwissen ließ sich allerdings bisher empirisch noch nicht eindeutig bestätigen (Woitkowski/Riese 2017:44; vgl. Sorge et al. 2017:3), nur zwischen schulischem und universitärem Wissen (Woitkowski 2019: 108).

### **2.4 Erfassung des universitär erworbenen Professionswissens in mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern**

Im Rahmen des Projektes KiL (Laufzeit: 2011 bis 2013) wurden Instrumente zur Erfassung des universitär erworbenen Professionswissens bei Lehramtsstudierenden mit mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern entwickelt (vgl. Kleickmann et al. 2014). Damit verbundene Fragen waren:

- Wie ist das professionelle Wissen, das im Studium erworben wird, bei Lehramtskandidatinnen und -kandidaten strukturiert?
- Wie stark korrespondiert das fachbezogene Professionswissen zwischen Fächern?
- Welche Rolle spielen Lerngelegenheiten im Rahmen des Studiums bzw. voruniversitäre Lerngelegenheiten für das Niveau des professionellen Wissens bei Lehramtsstudierenden? (vgl. ebd.:281-282; Taskin/Bernholt/Parchmann 2017 für das Fach Chemie).

Diesen Fragen wurde im Anschlussprojekt „Kompetenzentwicklung bei Lehramtsstudierenden mit mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern“ (KeiLa; Laufzeit: 2014–2017) nachgegangen, indem in einer Langzeitstudie die Entwicklung des professionellen Wissens von Lehramtsstudierenden in den Fächern Biologie, Chemie, Mathematik und Physik unter Berücksichtigung solcher Daten erfasst wurde, über die Rückschlüsse auf Individuelle<sup>12</sup> und institutionelle Faktoren<sup>13</sup> sowie auf Effekte der verschiedenen Domänen<sup>14</sup> gezogen werden konnten. Die Ergebnisse für die Domäne Physik zeigen, dass Anzahl der Semester und die Abiturdurchschnittsnote eine deutliche Effektstärke auf die Vorleistung/Anfangsleistung (initial achievement) im Fachwissen und fachdidaktischen Wissen hatten. Allerdings hatten die beiden Prädiktoren keinen Einfluss auf die Änderung der beiden Wissensarten, wobei der Wissenszuwachs im Fachwissen (nicht im fachdidaktischen Wissen) auf die Anzahl der fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Kurse zurückgeführt werden konnte. Der ausbleibende Effekt auf das fachdidaktische Wissen mag mit der geringeren Anzahl fachdidaktischer Kurse gegenüber den fachwissenschaftlichen Kursen begründet werden (vgl. IPN 2018: 58–63; Sorge et al. 2017: 8–9).

---

<sup>12</sup> Abiturdurchschnittsnote als Prädiktor für erfolgreiches Abschließen des Universitätsstudiums

<sup>13</sup> Anzahl Semester, Anzahl fachwissenschaftlicher und (fach-)didaktischer Kurse

<sup>14</sup> z.B. Einfluss des fachdidaktischen Wissens zur Physik auf das fachdidaktische Wissen zur Mathematik und umgekehrt

## 2.5 Kompetenzen zum evidenzbasierten Argumentieren

Mit der zunehmenden Forderung, dass Lehrkräfte bildungswissenschaftliche Forschungsbefunde bewerten und für schulrelevante Fragestellungen nutzen können sollten, leistet das Projekt „E4teach – Evidence for Teachers“ einen Beitrag. Wenglein et al. (2015) entwickelten dazu ein Trainingsprogramm, um Kompetenzen zum evidenzbasierten Argumentieren in Form einer effektiven Kurzzeitintervention von zwei Tagen auszubilden. Die Treatmentgruppe (TG) schnitt in der Studie deutlich besser ab als die Kontrollgruppe (KG).

„Die Ergebnisse zur kriterialen Einschätzung der Argumentationsqualität (Fragestellung I<sup>[15]</sup>) zeigten bei der TG eine hohe Argumentationsqualität in allen untersuchten Bereichen. [...] Die TG begründete sowohl in den Gruppendiskussionen als auch im schriftlichen Test ihre Argumente mehrheitlich mit relevanter und akkurater Evidenz. Allerdings erreichte keiner der Studierenden die höchste Stufe des verwendeten Globalratings, auf der durchgängig Evidenz herangezogen und zusätzlich kritisch hinterfragt wird (Bell, 2010; Kuhn & Crowell, 2011 ; Sandoval & Reiser, 2004; Wilson, 2005).“ (ebd.: 221)

Vor dem Hintergrund, „dass (angehende) Lehrkräfte offenbar häufig Verständnisprobleme auch mit einfachen Formen empirischer Ergebnisdarstellung, geringe Kompetenzen im evidenzbasierten Argumentieren sowie dysfunktionale Einstellungen gegenüber Ergebnissen der Bildungsforschung aufweisen [...]“ (ebd.: 212), sind Lerngelegenheiten dieser Art in der Lehramtsausbildung durchaus zielführend. Dazu wäre es allerdings wichtig, die Kompetenz, wissenschaftliche Evidenz interpretieren und argumentativ als Legitimation für Entscheidungen oder Handlungen nutzen zu können, systematisch in der Lehramtsausbildung aufzubauen, ein Desiderat der viel diskutierten Standards von Lehrerprofessionalität (vgl. ebd.: 221).

## 2.6 Einflüsse verschiedener Curricula, Lehrbücher und Bildungsprogramme

Slavin et al. (2009) haben Studien verglichen, die Einflüsse verschiedener Curricula, Lehrbücher und Bildungsprogramme auf die Schülerleistungen im Fach Mathematik untersucht haben. Für die „Best-Evidence Synthesis“ wurden nur die Studien berücksichtigt, die Experimentalgruppen mit gut passfähigen Kontrollgruppen über mindestens 12 Wochen in Bezug auf gleichermaßen verfolgte standardisierte Zielgrößen verglichen haben. Insgesamt erfüllten 87 Studien diese Kriterien, von denen 36 Studien die randomisierte Zuteilung der Interventionen angewandt haben (ebd.: 841).

Die begutachteten Studien wurden in sehr unterschiedlichen Umfeldern durchgeführt und viele davon stellten die Ergebnisse getrennt nach verschiedenen Untergruppen dar. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass Lernergebnisse weniger auf curriculare Unterschiede als

---

<sup>15</sup> Wie manifestieren sich die erlernten Heuristiken zur argumentativen Nutzung von Evidenz (a) in den problembezogenen Gruppendiskussionen während des Trainings und (b) in der nachfolgenden Testsituation, in der Evidenz individuell bewertet und problembezogen argumentativ genutzt werden muss? Wie ist die Argumentationsqualität kriterial einzuschätzen?

auf Unterschiede in den Unterrichtsmethoden zurückgeführt werden können. Das kooperative Lernen zeigte dabei die größten Effektstärken, wobei sich das Instruktionsverhalten der Lehrer stärker auswirkte als der Mathematikinhalt. In den Studien, die auf Effekte verschiedener Lehrbücher ausgerichtet waren, konnten keine nennenswerten Effektstärken festgestellt werden. Insgesamt wirkten sich methodische Konzepte, die förderlich für benachteiligte Gruppen sind, auch positiv auf andere Gruppen aus. Daher empfehlen die Autoren, dass Verantwortliche im Bildungsbereich Diskrepanzen in Lernleistungen am besten begegnen können, wenn sie an Schulen in evidenzbasierte (durch die Forschung bewiesenen) Programme investieren, die am besten Schülerinnen und Schüler mit Benachteiligungen und von Minderheitengruppen fördern (ebd.: 887).

## 2.7 Konzeptuelles Fachverständnis und Handlungsrepertoire

Unterricht so vielfältig zu gestalten, dass Schülerinnen und Schüler mit den unterschiedlichsten Voraussetzungen gefördert werden, setzt neben pädagogischem Wissen ein hohes Maß an fachdidaktischem Wissen voraus (vgl. Kunter/Baumert 2011; Baumert/Kunter 2006: 493–496; Krauss et al. 2008: 227). Das tatsächlich im Unterricht verfügbare fachdidaktische Handlungsrepertoire von Lehrkräften in Form von Erklärungs- und Repräsentationsmöglichkeiten hängt weitgehend von der Breite und Tiefe ihres konzeptuellen Fachverständnisses ab (vgl. Baumert/Kunter 2006: 492).

Die Analyse der Publikationen zur Argumentationsforschung zur naturwissenschaftlichen Bildung der letzten sechzehn Jahre, die Erduran et al. (2015) vorgenommen haben, um die Entwicklung der auf die naturwissenschaftliche Bildung ausgerichtete Argumentationstheorie nachzuzeichnen, insbesondere in Bezug auf die epistemischen und linguistischen Aspekte ihrer Fundierung (ebd.: 2), zeigt den Bedeutungsgewinn dieses Forschungsschwerpunktes.

Erduran et al. (ebd.) zeigen die zentrale Bedeutung auf, die Argumentation in der naturwissenschaftlichen Bildung einnimmt.<sup>16</sup> Argumentation muss von Kindern (Lernenden) durch angemessene Anleitung, aufgabenbasierte Strukturierung und Modellierung erlernt werden. Der Lehr-Lern-Prozess zur Aneignung argumentativer Fähig- und Fertigkeiten ist konform mit den der Fachdisziplin zugrunde liegenden Denk- und Handlungsmustern, die die Struktur, die Motivation und die Kommunikationsmodi liefern, die wiederum für den fachwissenschaftlichen Diskurs notwendig sind. Somit ist Argumentation ein wichtiges Mittel für das Aneignen fachwissenschaftlichen Wissens und zentral für den fachwissenschaftlichen Diskurs, der in Analogie zum Wissenschaftler, der Argumente verwendet, um seine Annahmen und Behauptungen durch Belege/Nachweise zu stützen, dadurch gekenn-

---

<sup>16</sup> Ziel der Studie war es, die Argumentationsforschung im Bereich der Wissenschaftspädagogik danach zu untersuchen, in welchem Ausmaß epistemische und linguistische Aspekte bei der Argumentationstheorieentwicklung berücksichtigt werden, die das Potenzial haben, das Erreichen vergleichbarer Bildungsziele zu beeinflussen (ebd.: 4). Ein wichtiges Ergebnis ihrer Studie ist, dass sich die Anzahl Artikel in dem von den Autoren betrachteten Zeitraum (1998 bis 2014) stetig erhöht hat (ebd.: 5). Dieser Anstieg kann u. a. damit begründet werden, dass Argumentation in bildungspolitischen Dokumenten Anfang 2000 eine Rolle spielte, was zu dem Forschungsbedarf führte.

zeichnet ist, dass Erklärungen, Modelle und Theorien zur Ausgangsproblemstellung entwickelt werden. Auch bildungspolitisch wird die Einbindung der Argumentation in die naturwissenschaftliche Bildung international befürwortet.

„As a relatively unfamiliar strategy, argumentation needs to be appropriated by children and explicitly taught through suitable instruction, task structuring and modelling (e.g. Mason 1996). The teaching and learning of argumentation are based on premises that are consistent with the wider literature in science education, namely in framing science learning in terms of the appropriation of community practices that provide the structure, motivation and modes of communication required to sustain scientific discourse (Kelly & Chen 1999; Lemke 1990). From this perspective, argumentation is a significant tool that is instrumental in the growth of scientific knowledge (Kitcher 1988) as well as a vital component of scientific discourse (Pera 1994). The implication is that argumentation plays a central role in the building of explanations, models and theories (Siegel 1989) as scientists use arguments to relate the evidence they select to the claims they reach through use of warrants and backings (Toulmin 1958).

International curriculum and policy documents have been advocating the incorporation of argumentation in science education.“ (ebd.: 2)

Erduran et al. (ebd.: 3) stellen drei theoretische Wissenschaftsgebiete (Entwicklungspsychologie, Sprachwissenschaften, Naturwissenschaften) heraus, in die Studien zur Argumentationsforschung eingeordnet werden können. Zu jedem dieser drei Wissenschaftsgebiete nennen sie Beispiele, die verdeutlichen, wie Argumentationsstudien und Wissenschaftspädagogik (science education) diese Wissenschaftsgebiete potenziell bereichern könnten:

1. Erkenntnisse aus der Argumentationsforschung über das Verständnis kognitiver und metakognitiver Prozesse im Bereich der Wissenschaftspädagogik kann die kognitive Perspektive der Entwicklungspsychologie bereichern,
2. Ansätze zur Entwicklung kommunikativer Kompetenzen und insbesondere des kritischen Denkens durch eine auf Argumentation aufbauende naturwissenschaftliche Bildung kann einen Beitrag zur Kommunikationstheorie/Sprechakttheorie in den Sprachwissenschaften leisten (vgl. Habermas 1987),
3. das Verständnis über die Entwicklung rationalen Denkens durch eine auf Argumentation aufbauende Wissenschaftspädagogik kann Erkenntnisse über das Lehren und Lernen der Wissenschaftstheorie (Giere 1991) sowie die Entwicklungspsychologie (Kuhn/Crowell 2011) erweitern.

Kuhn/Crowell (ebd.) konnten bspw. in ihrer Interventionsstudie zeigen, dass sich argumentative Fähigkeiten bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I einer Mittelschule nicht von allein entwickeln, aber durch ein auf die Entwicklung argumentativer Fähig- und Fertigkeiten zugeschnittenes Lehrkonzept gefördert werden können. Eine Besonderheit des Ansatzes war die Einbeziehung eines Chats, über den die Schülerinnen und Schüler ihre Argumente austauschen mussten. Dazu wurden immer Schülerpaare entgegengesetzter

Standpunkte zusammengebracht. Die Argumente der jeweiligen Position wurden zuvor mit den Schülerinnen und Schülern sukzessive erarbeitet. Das Lehrkonzept erstreckte sich über mehrere Unterrichtsstunden.

Damit wissenschaftlich begründete Lehrkonzepte dieser Art, über die erfolgreich Fähigkeiten und Fertigkeiten ausgebildet werden können, wie sie in den Bildungsstandards festgeschrieben sind, auch in der Schulpraxis eine breite Anwendung finden, müssen auch Lehrkräfte fachlich und methodisch befähigt sein bzw. werden. Das ist ein Professionalisierungsprozess, der nicht mit Abschluss des Lehramtsstudiums endet (vgl. Kunter/Baumert 2011: 362). Dazu liefern die Ergebnisse der COACTIV-Studie ein differenzierteres Theorieverständnis über die Wissensformen und die Wissensstruktur von Lehrkräften für die Fächer Mathematik und auch Physik (ebd.). Auch wenn fachunabhängig ein Zusammenhang zwischen fachlichem und fachdidaktischem Wissen nachgewiesen werden kann, so ist der Lerngegenstand des jeweiligen Faches in der fachwissenschaftlichen Logik strukturiert (vgl. auch Baumert/Kunter 2006: 492), nach der der Prozess des Lehrens gestaltet und entsprechend einer auf den Lerngegenstand ausgerichteten Indikatorisierung bewertet wird. Somit sind Konzeptualisierungen des für qualitätsvolles Unterrichten notwendigen Fachwissens und fachdidaktischen Wissens für jedes Fach gesondert zu betrachten.

### **2.8 Potenziale einer besseren horizontalen und vertikalen Vernetzung des Lehramtsstudiums**

Im Folgenden wird eine weitere Konzeptualisierung der Wissensarten, über die Lehrkräfte verfügen sollten, für das Fach Chemie betrachtet, die im Rahmen des Projektes CAU-LiB<sup>17</sup> entwickelt wurde (vgl. Lorentzen et al. 2018). Hintergrund dieser Konzeptualisierung ist die Zielstellung des Projektes, nämlich Potenziale und Wege einer besseren Verzahnung der drei Ausbildungsphasen des Lehramtsstudiums (vertikale Vernetzung) sowie des inhaltlichen Angebotes an fachlichen, fachdidaktischen und pädagogisch-psychologischen Lerngelegenheiten (horizontale Vernetzung) zu erkunden, erproben und zu evaluieren. Mit beiden Formen der Vernetzung soll die kumulative Entwicklung der professionellen Kompetenz angehender Lehrkräfte gefördert werden (vgl. Brouër et al. 2018: 11).

Entsprechend der Schwerpunktsetzung dieser Arbeit werden die Ausführungen auf die fachliche und fachdidaktische Perspektive beschränkt. Lorentzen et al. (2018) entwickeln ein Lehrangebot, durch das Studierende innerhalb einer fachlichen Lehrveranstaltung zur physikalischen Chemie besser die Berufsrelevanz der universitären Studieninhalte wahrnehmen können sollen. Dazu wurden die Konzeptualisierungen der Wissensarten, über die Lehrkräfte verfügen sollten und wie sie für die Fächer Mathematik und Physik vorgenommen wurden, weiterentwickelt. Im Fokus ihrer Betrachtungen steht das fachliche Strukturierungswissen, das an Definitionen des vertieften Fachwissens (vgl. Riese 2009; Woitkowski 2015) bzw. vertieften Schulwissens (vgl. Massolt/Borowski 2017) anknüpft.

---

<sup>17</sup> Programminitiative Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) Lehramt in Bewegung (LiB)

„Es ist explizit kein Wissen, das sich „im Sinne steigender Schwierigkeit des fachlichen Niveaus“ (Riese, 2009, S. 79) zwischen dem Schulwissen und dem universitären Wissen einsortieren lässt, sondern eher im Sinne vertieften Schulwissens (Massolt & Borowski, 2017) als ein überblicksartiges und konzeptartiges Wissen beschrieben werden kann, in dem das Fachwissen auf schulische Kontexte bezogen und reflektiert wird. Das fachliche Strukturierungswissen stellt damit den fachlichen Grundstein für fachdidaktische Überlegungen dar und weist folglich starke Bezüge zum fachdidaktischen Wissen auf.“ (Lorentzen et al. 2018: 42).

Bei der Stichprobe wurde entgegen bisheriger Befundlagen bereits vor der Intervention die Relevanz der Inhalte der fachlichen Lehrveranstaltung sowohl von der Interventions- als auch der Kontrollgruppe hoch eingestuft. Dennoch zeigte die Intervention einen positiven Effekt auf die wahrgenommene Berufsrelevanz fachlicher Studieninhalte, der besonders stark ist, wenn die Auswertung nach den konkreten Fachinhalten vorgenommen wird. Positiv zu werten ist auch, dass die Intervention nicht zu Lasten des Fachwissens in den Inhaltsbereichen geht. Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass das Vorgehen in der Art der Intervention auch in anderen Modulen des Lehramtsstudiums möglich ist, um die wahrgenommene Berufsrelevanz der Fachinhalte in den fachlichen Lehrveranstaltungen bei Lehramtsstudierenden zu erhöhen (vgl. Lorentzen et al. 2019).

Die Ergebnisse der in den letzten Jahren geförderten Projekte haben zu einer deutlichen Verbesserung der noch von Kleimann et al. (2014:280) beklagten unbefriedigenden Forschungslage beigetragen. Selbst wenn noch nicht alle Fragen zur Professionalisierung angehender Lehrkräfte geklärt sind, gibt es mittlerweile mehr Klarheit darüber, wie die Dimensionen des Professionswissens von Lehrkräften empirisch erfasst werden können und welche Implikationen sich aus den gewonnenen Erkenntnissen für eine zielgerichtete Lehramtsausbildung ergeben. Die Tatsache, dass die formalen Lerngelegenheiten in der Erstausbildung von Bedeutung und deren Wirkungen auch lange Zeit später noch erkennbar sind (vgl. Kunter/Baumert 2011:356), spricht dafür, die universitäre Lehrerbildung weiter konzeptionell zu verbessern und auf die vielfältigen Anforderungssituationen in der Berufspraxis anzupassen.

## **2.9 Mehrwert einer evidenzbasierten Bildungspolitik**

Die Forschungsbefunde der letzten 20 Jahre haben viele Einsichten zu Unterrichtsqualität und dem Professionswissen von Lehrkräften geliefert, die bildungspolitisch z. T. verwertet wurden (wie z. B. bei den Lehrplannovellierungen) und wegweisend für eine evidenzbasierte Bildungspolitik sind:

„Wenn zu bestimmten Fragestellungen größere Zahlen von Studien vorliegen, können Metaanalysen und systematische Reviews dazu beitragen, nicht nur einen Überblick über die Befundlage zu gewinnen, sondern mit geeigneten statistischen Verfahren abzuschätzen, welche Faktoren erklärungsrelevant sind oder von welchen Maßnahmen stärkere Effekte zu erwarten sind.“ Bromme et al. (2014: 11)

Wünschenswert wäre im Bildungsbereich ähnlich wie in der Medizinforschung, ein Konzept der Evidenzhierarchie zu etablieren. Dieses Konzept gewichtet Studien nach ihrer Aussagekraft und ihrem Verallgemeinerungsgrad. Demnach werden systematische Reviews oder auf randomisierten Kontrollgruppenstudien aufbauende Metaanalysen höher gewichtet als unsystematische Zusammenfassungen von randomisierten Kontrollgruppenstudien. Eine solche Evidenzhierarchie ist im Bildungsbereich nicht in gleicher Weise abbildbar, weil die empirische Forschung im Bildungsbereich sich erst in den letzten Jahren entwickelt hat und der Mitteleinsatz im Vergleich zur Medizin deutlich geringer ausfällt. Letzteres wird allerdings benötigt, um Ressourcen, Infrastruktur und Maßnahmen einer evidenzbasierten Forschung finanzieren zu können.

„Im Bildungsbereich steht die Forschung außerdem vor einigen fast unüberwindbar scheinenden Problemen. Zum Beispiel sind eine konsequente Randomisierung (z. B. zufällige Zuordnung von Schülerinnen und Schüler zu Klassenverbänden und Lehrkräften) oder die Kontrolle von potentiell relevanten Einflussfaktoren über längere Zeiträume (z. B. in den Kontexten Elternhaus, Freundeskreis, Mediennutzung, Klasse, Schule) zu gewährleisten. Im Ergebnis führt das dazu, dass die ‚Spitze‘ der Evidenzhierarchie im Bildungsbereich sehr viel schwächer ausgeprägt oder besetzt ist als der ‚Rumpf‘.“ (ebd.: 12–14)

Die in diesem Kapitel skizzierten Ergebnisse der für die Ableitung der eigenen Forschungsfragen relevanten Studien liefern nicht nur Ergebnisse im unteren Bereich der Evidenzhierarchie. Die Mehrzahl der Studien baut auf den Erkenntnissen einer der prominentesten Studien zur Untersuchung der Kompetenz von Lehrkräften als wichtige Bedingung für kognitiv aktivierenden Unterricht auf, der COACTIV-Studie (s. Kap. 21, S. 6). Viele der Studien sind bereits Teil bildungspolitischer Weichenstellungen zur konzeptionellen Verbesserung der Lehrerbildung (s. die seit 2014 durch den Bund finanzierte „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“, Kap. 1, S. 4), durch die mittelbar weiter positive Effekte auf die Qualität von Unterricht zu erwarten sind, bei der ein wichtiges Gütekriterium die kognitive Aktivierung von Schülerinnen und Schülern ist.

Der für diese Arbeit ausgewählte Untersuchungsschwerpunkt (s. Kap. 3, S. 21–22) knüpft an die Befunde zum Professionswissen von Lehrkräften an, insbesondere dem Zusammenhang zwischen Fachwissen und fachdidaktischem Wissen. Der forschungsmethodische Ansatz zeigt – von der Konzipierung eines hochschuldidaktischen Lehr-Lernkonzeptes zur Initiierung und Förderung der inhaltlichen Tiefenauseinandersetzung von Lehramtsstudierenden bis hin zur Auswertungsmethodik und Ergebnisdarstellung der Daten – exemplarisch, wie in der fachdidaktischen Ausbildung von Lehrkräften

- Lerngelegenheiten zur fachlichen Tiefenauseinandersetzung mit den zu unterrichtenden Sachverhalten und zu der daraus resultierenden fachdidaktischen Verwertung und Anwendung geschaffen werden können und
- Fachinhalte in verschiedenen Outputformaten (z. B. Fließtexte, Concept Maps, Abbildungen) standardisiert werden können, um Lehrtexte und Schülerantworten mög-

- lichst objektiv nach klar definierten fach-/berufsdidaktischen Gütekriterien bewerten zu können und daraus Konsequenzen für den Unterricht abzuleiten.
- das fachliche Tiefenverständnis von Lehramtsstudierenden zu einem komplexen Thema sowie die damit verbundene fachdidaktische Verwertung und Anwendung nachgewiesen werden kann (i. S. einer Kompetenzbewertung).

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind zwar aufgrund des primär qualitativ ausgerichteten Untersuchungsdesigns eher auf einer niedrigeren Stufe der Evidenzhierarchie einzuordnen, stellen aber eine wichtige Grundlage für weiterführende Studien zu Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten dar, die perspektivisch anknüpfend an die bestehende Datenlage stärker quantitativ ausgerichtet werden könnten. Damit lägen Ergebnisse auf einer höheren Stufe der Evidenzhierarchie, um auch bildungspolitisch mehr Gewicht zu bekommen.





### **3 Untersuchungsschwerpunkt der Dissertation**

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass im Bereich der Bildungsforschung das Professionswissen von Lehrkräften aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und gemessen wurde. Dabei wurde die Bedeutung des Fachwissens und des fachdidaktischen Wissens für das Lehrerhandeln und die damit verbundene Unterrichtsqualität in verschiedenen Studien nachgewiesen, wobei beide Wissensarten einander bedingen. Lehrkräfte benötigen sowohl gut ausgeprägtes Fachwissen (s. S. 7 im Kap. 2) als auch fachdidaktisches Wissen (s. S. 8 im Kap. 2), um Unterricht nach lernförderlichen Prinzipien gestalten zu können. Ein wesentliches Merkmal lernförderlichen Unterrichts ist, das logische Denken zu fördern. Dazu bedarf es insbesondere Aufgaben, in denen es um Modellieren und Argumentieren geht (s. S. 8 im Kap. 2), durch die Schülerinnen und Schüler argumentative Fähig- und Fertigkeiten entwickeln können. Argumentative Fähig- und Fertigkeiten entwickeln sich nicht von alleine, sondern erfordern entsprechend zugeschnittene Lehrkonzepte (s. S. 15 im Kap. 2). Grundlage solcher Lehrkonzepte ist die Strukturierung des Lerngegenstandes in seiner fachwissenschaftlichen Logik, um Zusammenhänge zwischen einzelnen Inhaltsaspekten herauszustellen, die für den zu gestaltenden Lernprozess bedeutsam sind. Mit dem Wissen über Lernhürden und den fachspezifischen Möglichkeiten des Erklärens und Repräsentierens (s. S. 8 im Kap. 2) lassen sich Wege der Erkenntnisgewinnung ableiten, die in Form von Aufgabenstellungen operationalisiert werden. Gerade diese Verknüpfung zwischen Fachwissen und fachdidaktischem Wissen herzustellen (s. S. 4 im Kap. 1) fällt Studierenden, aber auch Lehrkräften schwer, was die Ergebnisse der COACTIV-Studien zeigen, denn nur ein geringer Teil der im Mathematikunterricht gestellten Aufgaben ist kognitiv aktivierend (s. S. 6 im Kap. 2).

In der Gesamtschau der Forschungsergebnisse kann die Problemlage zur Unterrichtsqualität sehr differenziert beschrieben werden. Unstrittig ist nach aktuellem Stand der Forschung, dass fundiertes Fachwissen eine Voraussetzung für kognitiv aktivierenden Unterricht im engeren und für professionelles Lehrerhandeln im weiteren Sinne darstellt, aber nicht ausreicht, wenn es nicht in Zusammenhang mit dem fachdidaktischen Wissen gebracht wird bzw. werden kann. Auch wenn in der Unterrichtspraxis viele Faktoren eine Rolle spielen, die die Unterrichtsqualität bestimmen, ist die Qualität der Aufgabenstellungen bereits ein aufschlussreiches Indiz. Die Art wie Aufgabenstellungen aufeinander aufbauen und Lernende fordern, Modellvorstellungen zum Aufgabeninhalt zu entwickeln und auf Realsituationen zu übertragen, hängt maßgeblich von den fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzen der jeweiligen Lehrkraft ab. Auch im Hochschulkontext lassen sich Defizite in den fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzen der Lehramtsstudierenden an den Unterrichtskonzepten erkennen, die oft nicht den Ansprüchen an einen kognitiv aktivierenden Unterricht genügen.

Es ist nur unzureichend geklärt, welche Lernbarrieren Studierende haben, fachliche Sachverhalte zu strukturieren und mit fachdidaktischen Überlegungen in Beziehung zu setzen und welche Faktoren sich begünstigend auf ihren Lernprozess und das Herstellen solcher Verknüpfungen auswirken. Ein bisher in den Studien zur Lehrerbildung nur wenig beachteter Faktor sind die Wissensquellen, die zur Wissensaneignung genutzt werden.

Wissensaneignung erfolgt in der Regel über Lehrbücher. Sie sind Wissensquellen, die theoretische Grundlagen über und deren Anwendung auf realweltliche Kontexte bereitstellen. Lehrbücher können unterschiedlichen Fachniveaustufen zugeordnet werden, je nachdem ob sie für Experten (z. B. Fachwissenschaftler) oder Laien (Schülerinnen und Schüler) geschrieben wurden. Autoren solcher Lehrbücher sind idealerweise Experten ihres Fachgebietes, die ihr Expertenwissen wiederum aus anderen Wissensquellen gewonnen haben. So werden Experten einerseits durch die Quellen, die sie zur Wissensaneignung nutzen, in ihrem Denken geprägt. Andererseits mag die Inhalts- und Argumentationsstruktur solcher Quellen an die eigentlichen Denkopoperationen, die den kognitiven Fähigkeiten des Menschen entsprechen, angepasst sein (vgl. Giere 1991:89).

Aus diesen Überlegungen resultiert der Fokus auf Argumentationslinien in Lehr- und Lernkontexten in dieser Arbeit. In Lehr-Lernkontexten sind Gütekriterien für Argumentationen zu berücksichtigen, damit Lernende die Zusammenhänge in der Lebens- und Arbeitswelt verstehen und erklären lernen können. Zusammenhänge verstanden zu haben und erklären zu können, ist Voraussetzung für eine kritische Auseinandersetzung mit den im Alltag und Berufsleben auftretenden Problemfeldern. Aus der Perspektive der Lehrerbildung heißt das, dass Lehramtsstudierende im Laufe ihres Studiums ein Bewusstsein dafür entwickeln, welcher Anspruch mit ihrer Lehrtätigkeit verbunden ist, selbst wenn sie aus ihrer eigenen Schulbiografie heraus Lernen so nicht erfahren haben. Die Fachdidaktiken stehen damit vor einer besonderen Herausforderung, Lehramtsstudierenden nicht nur das methodische Rüstzeug an die Hand zu geben, sondern sie auch Lerngelegenheiten und damit verbundene Lernprozesse erleben zu lassen, die als eine Art Blaupause für die später zu gestaltenden Lernprozesse an Schulen dienen können.

Aus diesen Überlegungen ergeben sich zwei Betrachtungsebenen für die Analyse der Lernbarrieren Studierender bei der Auswahl, Strukturierung und fachdidaktischen Aufbereitung der Fachinhalte: die Ebene der Wissensquellen und die Ebene der Inhaltsanalyse und -aufbereitung. Die erste Ebene betrachtet die Fachtexte (hier: Lehrbuchtexte) als Wissensquellen, durch die Fachinhalte erschlossen werden. Dazu wurden deutsche und englische Lehrbuchtexte nach der Vollständigkeit ihrer Argumentationslinien analysiert und bewertet. Ergebnisse dieser Analysen zeigten, dass die untersuchten englischen Fachtexte die aus berufs-/fachdidaktischer Sicht herausgestellten Gütekriterien in besonderer Weise erfüllten (vgl. Düwel 2019; Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019; Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck sowie Kap. 8, S. 97). Die zweite Betrachtungsebene fokussiert darauf, den Verstehensprozess bei der Wissensaneignung mittels Fachtexten und die fachdidaktische Verwertung der durch die Texte dargelegten Argumentationslinien zu untersuchen. Die sich daraus ergebenden Forschungsfragen werden im Folgenden ausgeführt.

#### **4 Zielsetzung und Forschungsfragen**

Aufgrund der Tatsache, dass englische Fachtexte die aus berufs-/fachdidaktischer Sicht herausgestellten Gütekriterien in besonderer Weise erfüllen, könnte englischsprachiges Material eine bessere Basis sein, die fachlichen Tiefenstrukturen eines Sachverhaltes herauszuarbeiten, um daraus Lernschritte für den Unterricht abzuleiten. In der fachdidaktischen Ausbildung der Lehramtsstudierenden sind diese logisch aufeinanderfolgenden Lernschritte die Konsequenz aus Überlegungen zu möglichen Erkenntniswegen in Spiegelung logischer Schließverfahren. Die Varianten der Erkenntniswege und damit verbundenen Schließverfahren werden im Kap. 6.4.2 (S. 47) und später bei der Erklärung der Aufgabenkomplexe, die die Versuchspersonen (Vpn) zu bearbeiten haben, noch ausgeführt.

Die Forschungsfragen und die damit verbundenen Untersuchungen zielen daher darauf ab, die Verstehensprozesse von Lehramtsstudierenden der höheren Semester bei der Erschließung eines komplexen fachlichen Sachverhaltes näher zu beleuchten und Potenziale herauszustellen, die in der Auseinandersetzung mit englischen Fachtexten begründet liegen. Da die Auseinandersetzung mit englischen Fachtexten ein Mindestmaß an Englischkenntnissen voraussetzt, geht es in der vorliegenden Untersuchung nicht nur darum, zu erfassen, ob und wie Studierende die sachlogischen Bezüge aus den englischen Texten herausarbeiten, sondern auch welche Englischkenntnisse mindestens erforderlich sind. Aus den Ergebnissen sollen dann Hypothesen möglicher Kausalbeziehungen zwischen fachlichen und (fach-/englisch-)sprachlichen Kompetenzen und dem Grad des Verstehens fachlicher Sachverhalte aufgestellt werden, die in einer weiterführenden Studie näher untersucht werden müssten. Auf dieser Grundlage sollen Schlussfolgerungen gezogen werden, welche Implikationen sich aus den Ergebnissen für den Einsatz englischer Fachtexte und die fachlichen und (fach-)sprachlichen Aspekte in der Lehramtsausbildung ergeben, wenn es um Inhaltsanalyse und -aufbereitung für den Unterricht als Voraussetzung professionellen Lehrerhandelns geht (vgl. Woitkowski/Riese/Reinhold 2011: 293). Die übergeordnete Fragestellung lautet daher:

Welche Stufen der Erkenntnisgewinnung durchlaufen Studierende bei der Erschließung der inhaltlichen Zusammenhänge eines komplexen Themas (hier: zur dünnschichtchromatografischen Trennung) unter Nutzung englischen Fachtextmaterials, das in ein didaktisches Lehr-Lernkonzept eingebunden ist?

Das hochschuldidaktische Lehr-Lernkonzept wird so angelegt, dass unterschieden werden kann, inwiefern eigenständig die relevanten Inhalte aus dem englischen Textmaterial erschlossen werden oder inwiefern erst die Impulse durch Leitfragen oder auch Denkanstöße durch die Vorgabe der relevanten Textpassagen erforderlich sind, um den Erkenntnisprozess der Vpn zu initiieren. Somit sind für die übergeordnete Forschungsfrage untergeordnet folgende Fragen zu klären:

- I. Erfassen Lehramtsstudierende die vorgegebene analytische Problemstellung und die damit verbundenen Begründungszusammenhänge? (Ergebnisse Aufgabenkomplex A)
  1. Wie ausgeprägt ist ihr Vorwissen zum Thema/zur Erklärung der mit dem Thema verbundenen Sachverhalte (Gesetze, Modelle, Erscheinungen)?
  2. Erkennen sie in diesem Zusammenhang ihre eigenen Wissenslücken?
- II. Erkennen Lehramtsstudierende die für die Problemstellung relevanten und damit lernrelevanten Textpassagen? (Ergebnisse Aufgabenkomplexe A und B)
  1. Wie verändert sich der Wissenszuwachs/Erkenntnisgewinn der Vpn im Verlauf der verschiedenen Stufen des didaktischen Leitkonzepts?
    - a. Wie vollständig sind die Argumentationslinien (didaktische Linienführung) zur Erklärung der inhaltlichen Zusammenhänge zur dünnsschichtchromatografischen Trennung?
    - b. Inwieweit wurden sie eigenständig erschlossen? (Ergebnisse Aufgabenkomplex B)
    - c. Inwieweit wurden sie erst durch die Denkanstöße/Prompts in den Leitfragen erfasst? (Ergebnisse Aufgabenkomplexe C und D)
  2. Wie nutzen die Vpn die im Textmaterial vorliegenden Argumentationslinien für ihre Ausführungen zur Erklärung der Zusammenhänge, die in der analytischen Problemstellung zur dünnsschichtchromatografischen Trennung zu thematisieren sind?
    - a. Welche Argumentationslinien weisen die englischen Ausgangstexte auf?
    - b. Welche Argumentationslinien weisen die produzierten Texte der Vpn auf, die sich auf die englischen Ausgangstexte zurückführen lassen?
  3. Welche Probleme/Barrieren sind bei der Bearbeitung der Aufgaben erkennbar?
    - a. Sind die fachlichen Vorkenntnisse der Vpn ausreichend, um sich den Sachverhalt zu erschließen? (Ergebnisse Aufgabenkomplex A)
    - b. Sind die englischen Vorkenntnisse der Vpn ausreichend, um die Texte zu verstehen und damit die relevanten Inhalte angemessen ins Deutsche zu übertragen?
- III. Sind Lehramtsstudierende in der Lage, die Begründungszusammenhänge auf unterrichtsrelevante Problemstellungen zu übertragen? (Ergebnisse Teilaufgaben in Aufgabenkomplexen A, B und D)
  1. Wie fließt das erworbene Wissen in die Überlegungen zur Unterrichtsgestaltung ein, um die selbst erkannten fachlichen Zusammenhänge für die Erkenntnisgewinnung im Unterricht zu operationalisieren? (Ergebnisse Teilaufgaben in Aufgabenkomplexen A, B und D)
    - a. für die Auswertung und Interpretation experimenteller Ergebnisse
    - b. bei der Ableitung möglicher Wege der Erkenntnisgewinnung und entsprechender Aufgabenstellungen

2. Wie fließt das erworbene Wissen in die Analyse von Schülerfehlkonzepten ein, um daraus abzuleiten, welche der selbst erkannten fachlichen Zusammenhänge für die Erkenntnisgewinnung im Unterricht zu operationalisieren sind? (Ergebnisse Aufgabenkomplex E)
  - a. Analyse von Schülerfehlkonzepten
  - b. konzeptionelle Überlegungen für Unterricht

Zur Beantwortung der Forschungsfragen gliedert sich die Arbeit neben diesem einführenden Teil I in zwei weitere Teile (Teil II und Teil III). Im Teil II werden die theoretischen Grundlagen erörtert, aus denen das forschungsmethodische Vorgehen abgeleitet wird, das im Teil III ausführlich dargestellt wird.



## 5 Aufbau der Arbeit

Nachdem einleitend im ersten Kapitel Aspekte der Kompetenzentwicklung von Lehrkräften herausgestellt und im zweiten Kapitel Befunde der letzten 20 Jahre zur Unterrichtsqualität dargelegt wurden, folgte im dritten Kapitel die Begründung des Forschungsschwerpunktes zu Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten und der Einbindung englischer Fachtexte in ein hochschuldidaktisches Lehr-Lernkonzept. Im vierten Kapitel wurden die Zielsetzung der Arbeit und die Forschungsfragen festgelegt.

Ziel des sechsten Kapitels ist es, der Frage nachzugehen, in welcher Form fachliches Tiefenverständnis vorhanden sein muss, um daraus kognitiv aktivierende Problemstellungen und Lernschritte für den Unterricht zu entwickeln. Da vielfach auch unter Studierenden diskutiert wird, dass das in den fachwissenschaftlichen Modulen gelehrt Wissen für ihre spätere Lehrtätigkeit viel zu weit geht, wird einleitend ein kleiner Exkurs auf den historischen Werdegang der Lehrerprofessionalisierung genommen. So gab es schon damals gute Gründe für die universitäre fachwissenschaftliche Ausbildung von Lehrkräften. Vor dem Hintergrund einer zunehmend komplexer werdenden Lebens- und Arbeitswelt ist eine fundierte Lehrerausbildung mehr denn je gefragt. Die umfasst im engeren Sinne sowohl fachliches als auch fachdidaktisches Wissen. Dazu werden die zentralen Ansätze zur adre-satengerechten Strukturierung fachlicher Sachverhalte erörtert.

Im siebten Kapitel liegt der Fokus auf der detaillierten Beschreibung der Merkmalsausprägungen von Lehrbuchtexten. Ziel ist es, die wesentlichen Unterschiede zwischen deutschen und englischen Lehrbüchern herauszustellen. An diesem textlinguistischen Vergleich kann gezeigt werden, welche Merkmalsausprägungen die Textrezeption erschweren bzw. erleichtern. Daraus werden aus fach- und berufsdidaktischer Sicht Gütekriterien für Lehrbuchtexte bzw. Lehrtexte abgeleitet.

Ziel des achten Kapitels ist es, die Inhaltsstruktur von Lehrbuchtexten im interlingualen Vergleich darzustellen. Zentral für die Beurteilung der Güte von Lehrbuchtexten ist, die in den Texten abgebildeten Argumentationslinien auf deren Vollständigkeit zu überprüfen. Exemplarisch werden die Forschungsergebnisse aus den Publikationen Düwel (2019), Düwel/Eichhorn/Niethammer (2019) und Düwel/Eichhorn/Niethammer (im Druck) zusammengefasst.

Im neunten Kapitel wird das forschungsmethodische Vorgehen zur Operationalisierung der Forschungsfragen dieser Arbeit ausgeführt. Ziel ist es, den gewählten „Embedded-Mixed-Methods-Ansatz“ und die Phasen für die Entwicklung des Lehr-Lernkonzeptes darzustellen und zu begründen.

Im zehnten Kapitel werden die Lehramtsstudierenden (Vpn), die an der Fallstudie teilgenommen haben, auf der Grundlage der schriftlichen Befragung detailliert beschrieben. Anhand der Datenlage kann gezeigt werden, dass die Voraussetzungen der Vpn für die Anforderungen in den Aufgabenkomplexen des Lehr-Lernkonzeptes gegeben sind.



Im elften Kapitel werden dann alle Datenerhebungsverfahren vorgestellt. Dazu zählen die quantitativen Instrumente zur Bestimmung der englischsprachlichen und fachlichen Voraussetzungen der Vpn und deren Pilotierung, der Fragebogen zur Kontrolle der aktuellen Lernmotivation sowie das Lehr-Lernkonzept, das den qualitativen Teil der Fallstudie darstellt.

Das zwölfte Kapitel umfasst die Darstellung der angewandten Analysemethoden zur Auswertung der Daten der Fallstudie. Die Analysemethoden werden in der Reihenfolge der in Kap. 11 beschriebenen Datenerhebungsverfahren ausgeführt.

Alle Ergebnisse der Fallstudie werden im dreizehnten Kapitel zusammengestellt und diskutiert. Am umfangreichsten sind die Resultate zu den Aufgabenkomplexen des Lehr-Lernkonzeptes. Sie zeigen, wie sich Argumentationslinien der Vpn untereinander, aber auch im Vergleich zum englischen Textmaterial unterscheiden und im Verlauf der Aufgabebearbeitung verändern. An diesen Ergebnissen wird gespiegelt, wie das erworbene Wissen fachdidaktisch verwertet wird und auf die Analyse von Schülerfehlkonzepten anwendbar ist.

**TEIL II:**  
**ARGUMENTATIONSLINIEN IN LEHR-LERNKONTEXTEN**



## **6 Spannungsfeld zwischen fachlichem (FW) und fachdidaktischem Wissen (FDW)**

Fachwissen und fachdidaktisches Wissen haben sich als zentral für die professionelle Kompetenz von Lehrkräften erwiesen (vgl. Baumert/Kunter 2006: 489). Bei den taxonomischen Ansätzen geht es im Kern um die möglichst vollständige Erfassung der Dimensionen des Professionswissens, durch die das Lehrerwissen in unterscheidbare Kategorien strukturiert wird. Shulmans Taxonomie zur Strukturierung des Lehrerwissens scheint die einflussreichste zu sein, auf die sich viele Ansätze zur Kompetenzmodellierung stützen (vgl. Krauss et al. 2008: 226).

Das professionelle Wissen von Lehrkräften umfasst das Wissen, das notwendig ist, um den Anforderungen des Schulalltags gewachsen zu sein. Betrachtet man die Dimensionen, die unmittelbar mit der Planung und Realisierung von Unterricht zusammenhängen, kann das Professionswissen in die allgemein akzeptierten Kategorien Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisches Wissen eingeteilt werden (vgl. Shulman 1986; Baumert/Kunter 2006; Krauss et al. 2008). Letzteres bezeichnet das fachunabhängige Wissen über pädagogische und allgemeindidaktische Konzepte und Inhalte und spielt im Rahmen dieses Dissertationsthemas keine Rolle, sodass in den weiteren Ausführungen nur auf die beiden zuerst genannten Dimensionen eingegangen wird. Die Tatsache, dass die Qualität von Unterricht maßgeblich von der „Qualität“ der den Unterricht gestaltenden Lehrkräfte bestimmt wird, Letztere aber im Lichte der Öffentlichkeit trotz ihrer akademischen Ausbildung ein eher geringes Ansehen haben, wirft die Frage nach den Gründen auf. Ein Blick in die historische Entwicklung der Lehrerbildung ist dazu aufschlussreich. Über diesen Exkurs wird auch die Gewichtung zwischen fachlicher und fachdidaktischer Ausbildung zur Professionalisierung von Lehrkräften unterschiedlicher Schularten diskutiert.

### **6.1 Historischer Exkurs zur Professionalisierung des Lehrerberufs**

Lehrerqualifikation hat schon viele Phasen durchlaufen und wurde zunehmend professionalisiert. In Deutschland beispielsweise

„steht die Geschichte des Lehrerberufs [...] im engen Zusammenhang mit der historischen Entwicklung der Institution Schule und diese wiederum in engem Zusammenhang mit der Entwicklung von der traditionellen Ständegesellschaft des Mittelalters bis zur modernen Dienstleistungsgesellschaft der Gegenwart. [...] Abhängig von den jeweiligen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen haben sich die Funktionen des Schulsystems für die Gesellschaft und damit auch die gesellschaftlichen Anforderungen an die Lehrerschaft verändert. Lehrkräfte waren im Rahmen ihrer Berufsausübung nie autonome Subjekte, sondern zumeist Objekte der gesellschaftlichen Gegebenheiten. Das Tätigkeitsfeld des Lehrers war nie primär nach pädagogischen Standards gestaltet, sondern diente immer auch politischen Zwecken.“ (Enzelberger 2001: 303)

Die vielfältigen Schularten, die bis Ende des Mittelalters begleitend zur wirtschaftlichen Entwicklung in den größeren Städten, z. T. auch auf dem Lande, entstanden, dienten einer niederen bis berufsorientierten weltlichen Laienbildung. Die an deutschen Schulen eingesetzten deutschen Schreib- und Rechenmeister waren häufig aus den unteren sozialen Ständen mittleren bis niedrigen Bildungsniveaus, die den Lehrerberuf oft nur als Nebentätigkeit ausübten. Ihre geringe Vorbildung und unzureichende Bezahlung ging einher mit ihrer geringen sozialen Wertschätzung. Diese Zeiten, in denen nicht nur in Deutschland Lehrkräfte ein kaum besseres Bildungsniveau hatten als die zu unterrichtenden Schüler bzw. Laien, mögen das Bild des Lehrers nachhaltig geprägt haben. Selbst die Lehrkräfte, die im frühen Mittelalter an den höheren kirchlichen Lateinschulen (gelehrte Mönche) und später im 16. Jahrhundert an den höheren städtischen Lateinschulen (akademisch gebildete Theologen) unterrichteten, verfügten zwar über ein hohes Fachwissen ihrer Disziplin, waren aber formal weder fachdidaktisch noch pädagogisch ausgebildet. Sie lehrten Inhalte, die an religiösen, professionellen und allgemeinbildenden Interessen der sozial privilegierten Stände ausgerichtet waren. Die Ausübung des Lehrerberufes war für sie weniger eine Lebensaufgabe als eine Übergangstätigkeit bis zum Antritt einer eigenen Pfarrstelle, die nicht nur besser bezahlt wurde, sondern auch ein höheres Ansehen hatte (vgl. ebd.: 305).

Mit der Modernisierung der Gesellschaft in den 1960er Jahren wurde die Niveauehebung der Bildungsinhalte der Volksschuloberstufe notwendig. Mit der schrittweisen Integration der Volksschullehrerausbildung in die Universitäten wurde die seit 1848 von der deutschen Volksschullehrerschaft (den heutigen Förderschul-, Haupt- und Realschullehrkräften) immer wieder erhobene Forderung nach Angleichung ihrer Ausbildung an die der Gymnasiallehrerschaft in die Realität umgesetzt (vgl. ebd.: 325; Terhart 2001: 195). Diese Angleichung wirkte sich nicht nur positiv auf ihre Gehälter, sondern auch auf ihr Sozialprestige aus. Geblieben ist die Diskussion, inwiefern die stärkere Verwissenschaftlichung ihrer Ausbildung und die damit einhergehende höhere Gewichtung der fachwissenschaftlichen gegenüber der praktischen Ausbildung für die spätere Ausübung ihrer Lehrtätigkeit dienlich ist.

Die Statusunterschiede, die es damals im Mittelalter zwischen den Lehrkräften an höheren und niederen Lateinschulen gab, werden auch heute noch diskutiert, wenn es um die Gleichstellung der Lehrkräfte an Grundschulen, Oberschulen (Haupt-/Mittel- bzw. Realschulen) und Gymnasien bzw. berufsbildenden Schulen geht, die sich zunächst in einer einheitlichen Bezahlung niederschlägt. Neben dieser eher formal orientierten Betrachtung stellt sich die inhaltliche Frage, inwiefern es gerechtfertigt ist, dass die Lehramtsstudiengänge für die weiterführenden Schularten weiterhin nach Schulart getrennt bleiben und damit auch unterschiedlich in der fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Ausbildung ausgestaltet werden. Es erscheint, dass Studierende mit geringeren Vorleistungen (schlechteren Abiturnoten) sich eher für die nicht-gymnasialen Lehramtsstudiengänge entscheiden (vgl. Woitkowski/Riese 2017: 49). Die Unterschiede im Fachwissen der Studierenden der gymnasialen und nicht-gymnasialen Lehramtsstudiengänge bleiben im Laufe der Ausbildung und der späteren Lehrtätigkeit bestehen bzw. werden noch größer, wie Krauss et al. (2011) und Kleickmann et al. (2013) für das Fach Mathematik zeigen konnten:

„[...] low-achieving students from families with lower socioeconomic status and immigrant families tend to be taught by teachers who are less competent in terms of CK and PCK. [...] Moreover, candidates for the academic track already enter teacher education with better subject-matter knowledge, and our findings suggest that these differences persist or even increase across the teaching career. Thus, in addition to improving teacher education, changes in recruitment and selection processes for teacher candidates could help to raise the quality of instruction and student progress in nonacademic-track schools.“ (ebd.: 12)

Bei der Wahl für die nichtgymnasialen Studiengänge wird oft unterschätzt, dass sich an den Universitäten der Umfang der fachwissenschaftlichen Ausbildung der gymnasialen und nicht-gymnasialen Lehramtsstudiengänge aus gutem Grund kaum unterscheidet.<sup>18</sup> Das Anforderungsniveau der zu unterrichtenden Fachinhalte an nicht-gymnasialen Schulen mag zwar geringer als in den höheren Klassenstufen der Gymnasien sein, aber die Anforderungen an Lehrkräfte in den unteren Klassenstufen sind in keiner Weise geringzuschätzen, da für die didaktische Vereinfachung komplexer Sachverhalte, durch die Schülerinnen und Schülern ermöglicht wird, die wesentlichen Begründungszusammenhänge zu verstehen und anwenden zu können, ein hohes Maß an Fachwissen voraussetzt (vgl. Shulman 1986; Kunter/Baumert 2011; zum vertieften Schulwissen vgl. Sorge et al. 2017; zum fachlichen Strukturierungswissen vgl. Lorentzen et al. 2018).

Dieses Spannungsfeld zwischen fachlicher und fachdidaktischer Ausbildung zur Professionalisierung von Lehrkräften diskutiert Shulman ebenfalls vor dem Hintergrund der disqualifizierenden Ansicht über den Lehrerberuf in den USA, die u. a. im Aphorismus von George Bernard Shaw „He who can, does. He who cannot, teaches.“ aus dem Anhang „Maxims for Revolutionaries“ des Dramas *Man and Superman* (Shaw 1903) unter der Überschrift „Education“ zum Ausdruck kommt und an Aktualität nicht verloren zu haben scheint (vgl. Enzelberger 2001) – von Shulman (1986: 5) überspitzter formuliert „He who knows, does. He who cannot, but knows some teaching procedures, teaches.“ Shulman (ebd.) führt diesen Umstand in den USA auf eine Lehrkräfteausbildung zurück, die in den 80er Jahren stärker auf das methodische Wissen als auf die fachwissenschaftliche Ausbildung ausgerichtet wurde, was sich in den veränderten Schwerpunkten der Prüfungsaufgaben widerspiegelte (vgl. ebd.: 4–5). Shulman führt diesen Paradigmenwechsel von einer eher auf das Fachwissen ausgelegten Ausbildung hin zu einer stärker auf die Unterrichtsmethoden fokussierenden Ausbildung auf die Schwerpunktsetzung in der Lehr-Lern-Forschung zurück, die in den USA in den 80er Jahren auf den Nachweis effizienter Unter-

<sup>18</sup> In Bayern gibt es z. B. noch eine Unterscheidung zwischen Hauptschul- und Realschulstudiengängen. Der Studiengang für Hauptschulen (seit 2011 in Bayern Mittelschulen) erfordert nur ein Fach und dieses Fach umfasst deutlich weniger LPs als die Studiengänge für Realschulen und Gymnasien. In der Praxis werden Hauptschullehrer allerdings nicht nur in einem Fach eingesetzt, dass sie häufig auch fachfremd unterrichten (vgl. Krauss et al. 2017b: 51–53).

richtsmethoden setzte.<sup>19</sup> Der Inhalt wurde in den Studien nur als Kontrollvariable berücksichtigt, um Datensätze getrennt voneinander betrachten zu können (z.B. Mathematik unterrichten in der 5. Klassenstufe, Lesen lehren in der 5. Klasse usw.).

Damit wird ein Grundproblem empirischer Forschung im Bildungsbereich deutlich: Jede Studie zur Lehr-Lern-Forschung verdeutlicht einerseits die Komplexität von Lehr-Lernprozessen aufgrund der Vielzahl der mit dem Lernprozess verbundenen Dimensionen, muss dann andererseits den Fokus der Untersuchung so eingrenzen, um Effekte auf die betrachtete Zielgröße auch ausgewählten Einflussgrößen zuschreiben zu können. Diesem Problem wurde in den letzten Jahrzehnten zunehmend Rechnung getragen. Neuere Studien, deren Ergebnisse im ersten Teil überblicksartig dargestellt wurden, sind stärker darauf ausgelegt, Testkonstrukte zu entwickeln, die besser die Komplexität und die einander bedingenden Faktoren von Lehr-Lernprozessen und das Professionswissen von Lehrkräften abbilden (vgl. Klieme/Leutner/Kenk 2010; Parchmann 2010). Theoretisch hergeleitete Modelle (geisteswissenschaftlich orientierte Pädagogik), die sich logisch aus den zu betrachtenden Dimensionen/Faktoren ableiten lassen, ließen sich empirisch bestätigen bzw. konnten durch die Befundlage präzisiert werden (empirische Bildungsforschung). Die Instrumentarien dieser Studien umfassen vielfach komplexe und kontextbezogene Aufgabenstellungen, die durch einen umfangreichen Validierungsprozess präzisiert wurden (vgl. Riese/Reinhold 2013). Somit ist sowohl auf der Ebene der Leistungsmessung von Schülerinnen und Schülern als auch auf der Ebene der Kompetenzmessung von Lehrkräften ein Pool von Aufgaben und Testformaten entstanden, über die nicht nur Standards abgebildet und überprüft werden können, sondern die auch einen wertvollen Fundus für die hochschuldidaktische Ausbildung von Lehrkräften darstellen.

In diesem Zusammenhang können Stärken und Schwächen solcher Leistungstests sowie die Aussagekraft der Ergebnisse diskutiert werden (vgl. Bromme/Prenzel/Jäger 2014), die Lehramtsstudierende für ihre selbst vorzunehmende Leistungsmessung bei Schülerinnen und Schülern und die daraus zu ziehenden Konsequenzen für ihren Unterricht sensibilisieren (vgl. Brunner et al. 2011:229, die Autoren konnten zeigen, dass die Schülerinnen und Schüler bessere Leistungen aufwiesen, deren Lehrkräfte über bessere diagnostische Kompetenzen verfügten). An diesen Aufgaben kann auch gespiegelt werden, wie Fachwissen und fachdidaktisches Wissen ineinandergreifen.

Vor dem Hintergrund der diskutierten Facetten des Lehrerwissens und den damit einhergehenden Qualitätsmerkmalen guten Unterrichts werden in den nächsten Kapiteln die Modellierungen zum Lehrerwissen (s. Kap. 6.2, S. 35), das Fachwissen als Basis für das Erklärungsrepertoire von Lehrkräften (s. Kap. 6.3, S. 37) sowie das fachdidaktische Wissen zur adressatengerechten Strukturierung und Darstellung fachlicher Inhalte herausgestellt (s. Kap. 6.4, S. 39). Auf diesen Grundlagen wurde das hochschuldidaktische Lehrkonzept entwickelt, das zur Beantwortung der Forschungsfragen (s. Kap. 4, S. 23) erstellt wurde.

---

<sup>19</sup> In Deutschland mag diese Tatsache eher auf die nichtgymnasialen Lehramtsstudiengänge zutreffen, in denen die fachwissenschaftliche Ausbildung nicht so umfassend wie in den gymnasialen Studiengängen ausfällt.

## 6.2 Modellierungen zum Lehrerwissen

Neuweg (2014) steckt das Problemfeld der Forschung zum Lehrerwissen ab, das unter den Blickwinkeln a) der Wissensbereiche und b) des Wissensbegriffs zu betrachten ist. Er unterscheidet drei Bedeutungskomplexe des Lehrerwissens, in denen Fachwissen und fachdidaktisches Wissen integrale Bestandteile sind.

Wissen 1 bezeichnet häufig das kodifizierte, mehr oder weniger systematische und insbesondere in der Ausbildung anzueignende Professionswissen, im Sinne objektiver, in Lehrbüchern oder ähnlichen Wissensbeständen niedergelegte und somit für jede Person dort abrufbare Wissen (vgl. Keller-Schneider 2014: 146; Autorin spricht von propositionalem oder deklarativem Wissen, dem Wissen über etwas bzw. Praxis/Schule). Dieser über „das Buch“ gefasste Wissensbegriff des Lehrerwissens wird über die Ausbildungsbereiche (v. a. Fach, Fachdidaktik, Bildungswissenschaften) modelliert. Er lässt sich klar vom Können und den drei anderen „Emergenzbedingungen pädagogischer Könnerschaft“ (Neuweg 2005; stabile Persönlichkeitseigenschaften, Erfahrung und Prozesse der reflexiven Auseinandersetzung) abgrenzen.

Wissen 2 ist ein psychologisches Konstrukt und bezeichnet die kognitiven Strukturen, die beim Subjekt das Ergebnis von Lernen sind. Sie sind damit vorhanden, abrufbar, gegebenenfalls auch explizierbar und die Erzeugungsgrundlage für kompetentes Verhalten. Dieser Wissensbegriff ist nicht so klar abgrenzbar wie der erste, da „kognitive Strukturen auch subjektive Theorien, Denkstile und epistemologische Überzeugungen [...] sowie professionelle Werthaltungen [umgreifen] und über komplexe Prozesse der Transformation und Vernetzung von Informationen aus unterschiedlichsten Wissensquellen [entstehen].“ (Neuweg 2014: 584; vgl. Keller-Schneider 2008: 43; Keller-Schneider 2014: 146; Autorin spricht von Wissen für etwas bzw. die Praxis/Schule<sup>20</sup>). Das subjektive Lehrerwissen ist in hohem Maße implizit, d. h. Antworten auf einschlägige direkte Fragen sind für Lehrkräfte in der Regel im Bereich des Fachwissens explizierbar, aber weniger in den anderen Bereichen (Neuweg 2014: 584; vgl. Bromme 1992: 121–138; implizites Wissen als Voraussetzung flüssigen Handelns [Könnens] und implizites Wissen als Teil der professionellen Perspektive eines Experten).

Wissen 3 ist demgegenüber nicht ohne Weiteres explizierbar, sondern wird einer Verhaltensdisposition zugeschrieben. Wissen in diesem Sinne ist von dem handelnden Subjekt (der handelnden Lehrperson) demonstrierbar (nicht notwendigerweise zu verbalisieren). Es

---

<sup>20</sup> Dieses Wissen für die Praxis/Schule (Handlungswissen) entsteht aus der Verknüpfung zwischen dem deklarativen/propositionalen Wissen und dem fallbezogenen Wissen. Letzteres bezeichnet die Autorin auch als Wissen aus der Praxis/Schule, das „intuitiv durch Nachahmung (oder durch symbolische Nachahmung im Gespräch) und durch eigene erprobende Erfahrung erworben [wird] und [...] an bestimmte Fälle, Prototypen und prägende Erlebnisse gebunden [ist]“ (Keller-Schneider 2008: 43). Der Übergang zum Wissen 3 ist fließend, denn „Handlungswissen wird durch propositionales Wissen wie auch durch Erfahrungswissen und der entstehenden Diskrepanzen genährt und muss in jeder Situation neu adaptiert werden“ (ebd.: 43–44).



ist daher nicht das Wissen der Lehrperson, sondern das des Forschers, der die Logik des Handelns von außen rekonstruiert (Neuweg 2014: 584–585; vgl. Bromme 1992: 128–130; vgl. Keller-Schneider 2008: 43–44; Keller-Schneider 2014: 146–147).

Aus diesen drei Bedeutungskomplexen des Lehrerwissens wird deutlich, wie bereits im Aneignungsprozess des Fachwissens und fachdidaktischen Wissens (als Teil von Wissen 1 und 2) wichtige Weichenstellungen für das spätere Lehrerhandeln gesetzt werden. Dazu sind Lerngelegenheiten zur Aneignung expliziten Professionswissens („Wissen 1“) erforderlich, um die kognitiven Strukturen von Lehramtsstudierenden („Wissen 2“) so zu beeinflussen, dass daraus kompetentes Handeln entsteht. Kompetentes Handeln umfasst, die Bedeutsamkeit der Ziele und Inhalte zu erkennen, Unterricht effizient zu gestalten sowie das Lernklima und damit die Lernprozesse von Schülerinnen und Schülern positiv zu beeinflussen (vgl. Neuweg 2014: 585). In Abb. 1 wird die Beziehung der drei Bedeutungskomplexe zusammenfassend dargestellt.

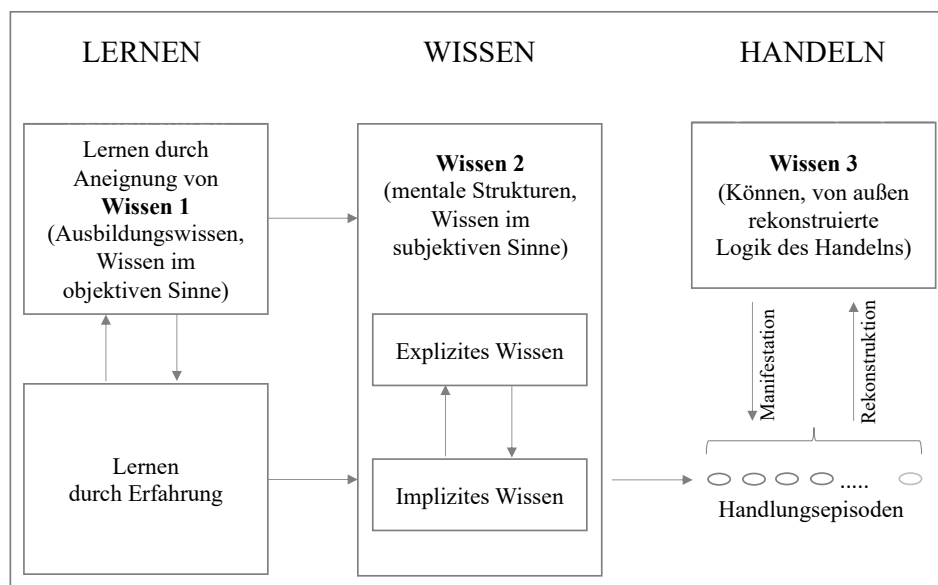


Abb. 1: Konzepte des „Lehrerwissens“ (Neuweg 2014: 585)

Zur differenzierten Abbildung der inneren Struktur von Fachwissen und fachdidaktischem Wissen und die Beziehung zwischen diesen Wissensbereichen dient das Modell, das im Rahmen des Projektes ProfiLe-P („Professionswissen in der Lehramtsausbildung Physik“) entwickelt wurde (s. Abb. 2), das auch für andere naturwissenschaftliche Fächer anwendbar ist. Auf erster Strukturierungsebene wird zwischen Fachwissen, fachdidaktischem Wissen und Erklärungswissen unterschieden, auf die im Detail in den nächsten beiden Abschnitten eingegangen wird. Dieses Modell ist auch Grundlage für die Fallsituation, die dem Untersuchungsdesign dieser Arbeit zugrunde liegt.

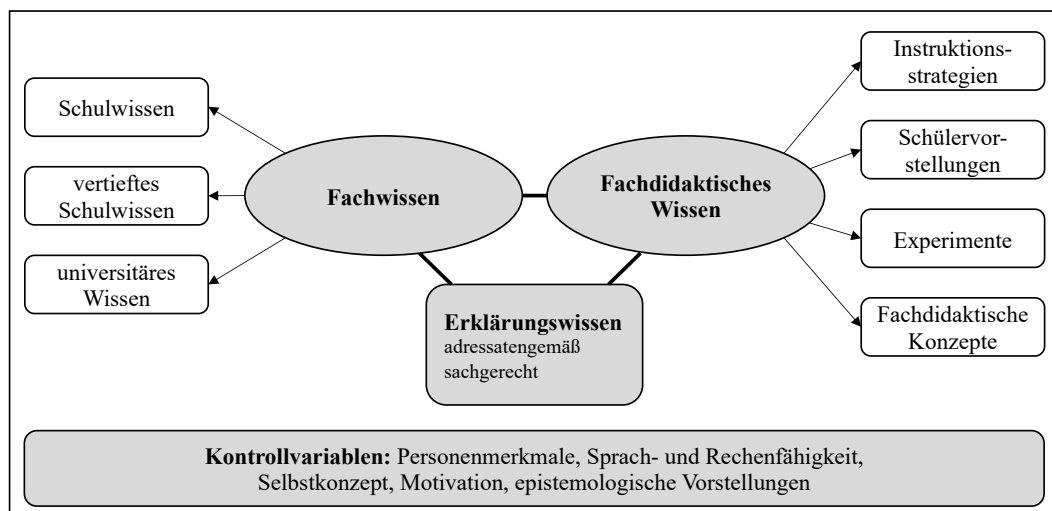


Abb. 2: Mögliche Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Bereichen des Professionswissens (Riese et al. 2015: 60)

Die Ausführungen in den folgenden Kapiteln fokussieren auf das Fachwissen chemischer Sachverhalte (s. Kap. 6.3, S. 37; Kap. 7, S. 65; Kap. 8, S. 97) und die dazugehörigen fachdidaktischen Überlegungen zur Inhaltsanalyse und -aufbereitung (s. Kap. 6.4, S. 39; Kap. 7.2.3, S. 95; Kap. 8, S. 97). Auf die Dimensionen Fachwissen und fachdidaktisches Wissen wird nur soweit eingegangen, wie es für das Verständnis des entwickelten Untersuchungsdesigns erforderlich ist. Im Kern der Betrachtungen stehen der Aneignungsprozess des Fachwissens durch Lehrbuchtexte und dessen fachdidaktische Anwendbarkeit.

### 6.3 Fachwissen als Basis für das Erklärungsrepertoire von Lehrkräften

Eine wichtige Kompetenz von Lehrkräften, insbesondere im berufsbildenden Lehramt, ist es, sich immer wieder in Themengebiete einarbeiten zu können, die nicht oder nur ansatzweise im Studium abgedeckt wurden. Ein heute oft zitiertes Problem ist, dass Studierende die Relevanz der im Studium in den fachwissenschaftlich ausgerichteten Lehrveranstaltungen anzueignenden Inhalte nicht erkennen. Eine von Studierenden geäußerte Kritik ist, dass fachwissenschaftliche Lehrveranstaltungen weit über die in der Schule erforderlichen Inhalte hinausgehen (vgl. Massolt/Borowski 2017: 660).

Betrachtet man allerdings die Aufgaben, die mit der unmittelbaren Inhaltsanalyse und -aufbereitung für den Unterricht zusammenhängen, dann ist dafür ein ausreichendes fachliches Tiefenverständnis notwendig, das über das vordergründig durch die Ausführungen in Schulbüchern abgebildete Schulwissen hinausgeht. Es könnte nach den verschiedenen Graduierungen des Fachwissens von Lehrkräften als vertieftes Schulwissen (vgl. Riese 2009: 79; Riese et al. 2015: 60; Woitkowski/Riese/Reinhold 2011: 302; Woitkowski 2015: 29) bzw. fachliches Strukturierungswissen (vgl. Lorentzen et al. 2018: 41) eingeordnet werden, wobei die Unterscheidung von Schulwissen, vertieftem Wissen und

universitärem Fachwissen bisher empirisch noch nicht eindeutig bestätigt werden konnte, sondern nur die zwischen schulischem und universitärem Wissen (vgl. Woitkowski/Riese 2017: 44; Sorge et al. 2017: 3; Woitkowski 2019: 108; s. Kap. 2.3, S. 11).

Unabhängig davon, wie dieses Wissen bezeichnet wird, stellen sich aus der Perspektive der Lehrerbildung viele Forschungsfragen, die an das Fachwissen von Lehrkräften, insbesondere der Sekundarstufe, geknüpft sind (vgl. Shulman 1986; Bromme 1992; Gramzow/Riese/Reinhold 2013; Hartmann/Niethammer 2015; Hill et al. 2008; Loewenberg Ball 2003; Riese et al. 2015; Woitkowski/Riese/Reinhold 2011). Die Fragen sind auf die Befähigung von Lehrkräften ausgerichtet, anhand von Lehrplanvorgaben eine Inhalts- und Materialauswahl treffen, Unterrichtsmaterialien (z.B. Lehrbuchtexte) auf ihre Eignung prüfen und ggf. optimieren, zielführende Fragestellungen entwickeln, Sachverhalte adressatengerecht erklären und auf Schülerfehlkonzepte angemessen reagieren zu können (Shulman 1986: 8). Shulman (ebd.: 11) kommt daher zu dem Schluss „Those who can, do. Those who understand, teach“ (vgl. Lersch 2010: 7; vgl. Neuweg 2005: 213–214).

Professionelles Lehrerhandeln setzt somit fundiertes Fachwissen voraus, das über das Schulwissen hinausgeht. Als Rechtfertigung für die universitäre Ausbildung von Lehrkräften stellt Neuweg (ebd.: 217–218) vier Aspekte zum Wissen einer Lehrkraft heraus:

1. der Aufbau eines breiten Raumes an Handlungsalternativen,
2. Verbreiterung der Perspektiven zur Reflexion über curriculare bildungstheoretische, anthropologische und gesellschaftstheoretische Fragestellungen,
3. der Aufbau von Hintergrund-, Bildungs- und Reflexionswissen als Voraussetzung dafür, um in umfassenden Begründungszusammenhängen reflektieren zu können,
4. Verwirklichung einer „Praxis des Neugierigseins und der Suche danach, wie die Dinge wirklich sind oder auch sein könnten, die Praxis des Zweifelns und des Aushaltens von Zweifeln, die Praxis des präzisen Denkens und begründeten Argumentierens, vor allem auch die Praxis des Hinausdenkens über den Tellerrand der unmittelbaren Betroffenheit durch Handlungszwänge“ (ebd.: 218; vgl. Kunina-Habenicht 2020).

Wissen einer Lehrkraft ist nach Neuweg (2005) eine der vier aufeinander nicht reduzierbaren Emergenzbedingungen (Wissen, Erfahrung, Reflexion und Persönlichkeit) pädagogischen Könnens. Insbesondere der letzte Punkt ist Neuweg zufolge ein Denkstil, der vornehmlich an Universitäten als ihr unverzichtbarer formalbildender Auftrag eingeübt wird und „letztlich Lern- und Umlernbereitschaft überhaupt [repräsentiert]“ (ebd.: 219). Die Tatsache, dass Lehramtsstudierende oft die Relevanz der an den Universitäten gelehrtten Inhalte für ihre spätere berufliche Tätigkeit nicht oder nur unzureichend erkennen, mag nicht nur auf die organisatorischen Rahmenbedingungen des Lehramtsstudiums zurückzuführen sein, sondern auch auf die individuellen fachlichen Voraussetzungen der Studierenden.

Die Aneignung von fachlichem Wissen ist mit Verstehensprozessen verbunden. In diesem Prozess sind einerseits kognitive Fähig- und Fertigkeiten erforderlich, andererseits werden sie im Prozess ausgebildet und erweitert. Auf universitärer Ebene werden bei Stu-

dierenden kognitive Fähig- und Fertigkeiten vorausgesetzt, durch die sie sich auch eigenständig neue Sachverhalte erschließen können. Nur ist ihr an der Schule erworbenes Wissen nicht immer an der Hochschule anschlussfähig (vgl. Klein in Woitkowski 2015:31). Durch methodische Ansätze, die sie im Aneignungsprozess unterstützen, werden ihre kognitiven Fähig- und Fertigkeiten entsprechend erweitert. Dazu zählen Fachinhalte strukturieren zu können, Problemstellungen systematisch zu lösen, Inhalte auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen und in unterschiedlichen Kontexten betrachten zu können (vgl. Shulman 1986:9). Dieses so erworbene tiefere Verständnis der Inhalte der Fachdisziplin ist als Basis für das Erklärungsrepertoire von Lehrkräften anzusehen (vgl. Baumert/Kunter 2006; Neuweg 2005:213, Autor spricht von Lehrinhaltswissen als Kernbestandteil fachdidaktischer Kompetenz). Shulman (1986:10) spricht von „standards of understanding required for teaching“.

„Viele, vielleicht die meisten didaktischen Kenntnis- und Könnensbestände werden zu solchen erst, wenn sie sich mit dem Lehrinhaltswissen auf das Engste verbinden. Es ist zum Beispiel wichtig, über die Kriterien der Textverständlichkeit informiert zu sein; aber diesen bloß im Horizont Allgemeiner Didaktik zu begegnen, macht blind dafür, dass man zunächst durch tiefes Verstehen jenes fachliche Substrat aufzuschließen hat, das anschließend verständlich zu vermitteln sein wird.“ (Neuweg 2005:213)

Der Fachinhalt ist somit als konstitutives Merkmal von Lehr-Lernprozessen anzusehen (vgl. Bromme 1995:106). Fachliches Wissen in Lehr-Lernkontexten kann daher als ein zentraler Bestandteil (vgl. Bromme 1997 in Woitkowski 2015:14) eines übergeordneten Kompetenzkonstruktes aufgefasst werden.

#### 6.4 Fachdidaktisches Wissen zur Strukturierung und Darstellung fachlicher Inhalte

Fachdidaktisches Wissen ist nicht losgelöst vom Fachwissen zu betrachten. Wie in der Einleitung ausgeführt (s. Kap. 1, S.4) gehört zum fachdidaktischen Wissen, die mit dem zu unterrichtenden Inhalt (Lerngegenstand) verbundenen Lernwege und Lernhürden antizipieren zu können, um dann den Unterricht methodisch so zu gestalten, dass Lernende in ihren Denkprozessen für die Auseinandersetzung mit dem Inhalt aktiviert werden (vgl. Shulman 1986; Düwel/Niethammer 2017). Voraussetzung dafür ist, dass fachwissenschaftliche und lebensweltrelevante Inhalte nicht nur als solche verinnerlicht, sondern so abstrahiert werden können, dass für beliebige Lerngegenstände die zugrunde liegenden Inhaltsstrukturen erkannt und aus fachdidaktischer Perspektive (bzw. auch berufsdidaktischer) bewertet werden können. D.h. die Bewertung der Inhalte aus fachdidaktischer Perspektive (bzw. auch berufsdidaktischer) bedeutet, zum einen die Art der Zusammenhänge (kausale, konditionale, finale) und die damit verbundenen Denkwege herauszustellen und zum anderen diese Zusammenhänge mit lebensweltbezogenen Problemstellungen in Beziehung zu setzen und für den Unterricht nutzen zu können, um die Auseinandersetzung mit den Fachinhalten zu initiieren und zu fördern (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019:1).

„Teachers must not only be capable of defining for students the accepted truths in a domain. They must also be able to explain why a particular proposition is deemed warranted, why it is worth knowing, and how it relates to other propositions, both within the discipline and without, both in theory and in practice.“ (Shulman 1986: 9)

Demnach „benötigen Lehrkräfte spezifisches Wissen, das sie dazu befähigt, fachliche Inhalte adressatenbezogen zu strukturieren und darzustellen“ (Riese et al. 2015: 57; vgl. Langer 1979: 236 zur zentralen Aufgabe für den Textautor<sup>21</sup>). Im Folgenden wird das Instrumentarium zur fachdidaktischen Strukturierung fachlicher Inhalte für das Fach Chemie bzw. für Lernfelder der beruflichen Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik erläutert, denn eine fachsystematische Strukturierung der Inhalte ist die Voraussetzung für die Darlegung und Analyse logisch aufeinander aufbauender Argumentationslinien (s. Kap. 8, S. 97).

#### 6.4.1 Sachlogische Strukturierungsansätze für die berufs- und fachdidaktische Analyse

Die Inhaltsbereiche sowohl für das Fach Chemie als auch in den Lernfeldern des Berufsfeldes der Labor- und Prozesstechnik umfassen u. a. zwei wesentliche Aspekte, den **Stoffaspekt** und den **Prozessaspekt**. Im Fach Chemie werden diese beiden Aspekte auch im Kompetenzbereich „Fachwissen“ der Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss berücksichtigt. Der Kompetenzbereich Fachwissen ist in Basiskonzepte untergliedert. Die Basiskonzepte orientieren auf (vgl. KMK 2005: 8)

- Stoff-Teilchen-Beziehungen,
- Struktur-Eigenschaftsbeziehungen,
- chemischen Reaktionen und
- energetischen Betrachtungen bei Stoffumwandlungen.

Die Basiskonzepte zu Stoff-Teilchen-Beziehungen sowie Struktur-Eigenschafts-Beziehungen verweisen auf den Stoffaspekt, während die Basiskonzepte zu chemischen Reaktionen und energetischen Betrachtungen bei Stoffumwandlungen den Reaktionsaspekt untersetzen. Beide Aspekte werden sowohl im Chemieunterricht als auch bei der unterrichtlichen Umsetzung der Lernfelder im Berufsfeld Labor- und Prozesstechnik nicht nur aus naturwissenschaftlicher (**Substanz-** bzw. **Reaktionsaspekt**), sondern weitergehend auch aus technischer (**Material-** bzw. **Verfahrensaspekt**) oder gesellschaftlicher Perspektive thematisiert (Tab. 1, vgl. Storz 1976: 27; Storz/Wirsing 1987: 31–41).

---

<sup>21</sup> „Die zentrale Aufgabe für den Textautor ist es, die Sachstruktur zu erkennen und seiner Darstellung zugrunde zu legen. Gliederung – Ordnung ist nicht allein eine Frage der sprachlichen Gestaltung. Die Durchdringung der Sache, also tiefe Sachkenntnis, spielt eine große Rolle. So arbeitet ein Autor, der sich um Gliederung – Ordnung bemüht, gleichzeitig an der Vertiefung seiner Sachkenntnis. Ich denke, daß [sic] ein großes Maß an Schwerverständlichkeit durch tiefere Sachkenntnis seitens der Autoren vermindert werden kann.“ (ebd.: 236)

Tab. 1: Sachlogische und kategoriale Beziehungen zum Reaktionsaspekt (Storz/Wirsing 1987: 31)

| Aspekte Ebenen                           | STOFF                                                                                                                        | PROZESS                                                                                                                         |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>naturwissenschaftliche Grundlagen</b> | Didaktische Strukturen zur Behandlung von Stoffen aus naturwissenschaftlicher Sicht<br>→ <b>Substanzaspekt</b>               | Didaktische Strukturen zur Behandlung von Reaktionen/ Operationen aus naturwissenschaftlicher Sicht<br>→ <b>Reaktionsaspekt</b> |
| <b>technische Grundlagen</b>             | Didaktische Strukturen zur Behandlung technischer Stoffe<br>→ <b>Materialaspekt</b>                                          | Didaktische Strukturen zur Behandlung von Prozesseinheiten/Verfahren<br>→ <b>Verfahrensaspekt</b>                               |
| <b>Gesellschaft und Chemie</b>           | Didaktische Strukturen im Bezugsfeld<br>Umwelt/Ökologie<br>Betriebs- und Volkswirtschaft<br>Weltanschauung und Kultur<br>... |                                                                                                                                 |

Die logischen Zusammenhänge, die zu einem Sachverhalt hergestellt werden können, werden in allgemeinen Schemata dargestellt. Dazu werden im Folgenden die zu betrachtenden Kategorien und Relationen grob umrissen, denn Letztere determinieren, welche Denkweisen bei dem jeweiligen Inhaltsaspekt dominieren und welche „methodischen Linienführungen zur Führung des Denkens“ (ebd.: 60) bei der Ersterarbeitung methodisch bedeutsamer sachlogischer Beziehungen geeignet sind (s. Kap. 6.4.2, S. 47).

Unter dem **Substanzaspekt** stehen Aussagen über die Strukturen (Ursache) und Eigenschaften von Substanzen im Mittelpunkt, also Ursache-Eigenschaftsbeziehungen. Bedeutsam bei der Aufdeckung von solchen Kausalzusammenhängen sind der atomare und molekulare Aufbau sowie der Gitteraufbau sowohl von Einzelstoffen (Elementen, Verbindungen) als auch Stoffgruppen (z. B. anorganische oder organische Verbindungen sowie deren Subklassifikationen), über die Stoffeigenschaften begründet werden (s. S. 53 zur Begründung der Wasserlöslichkeit von Alkanolen).

Auch unter dem **Materialaspekt** bilden Struktur-Eigenschaftsbeziehungen die Grundlage, nur geht es hier mehr um das Aufdecken von Finalitätszusammenhängen, also Zweck-Mittel-Relationen – welches Material sich für welchen Zweck eignet. Da sich für einen Verwendungszweck oft verschiedene Materialien eignen, handelt es sich primär um Optimierungsprobleme<sup>22</sup>, wie sie aus technischer Sicht zu lösen sind. Ziel der Materialbetrachtungen im Unterricht ist es, Lernende zum sachkundigen, ökonomischen und zweckmäßigen Umgang mit dem Material zu befähigen. Im berufsbildenden Bereich käme noch der

<sup>22</sup> Bspw. wie können Bedingungen bei Prozessen (wie der Herstellung/Verarbeitung/Analyse von Stoffen) optimiert werden, um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen. Solche Bedingungen können physikalische Parameter (Temperatur, Druck, Energie etc.) oder chemische Parameter (Katalysatoren, Inhibitoren etc.) sein.

mit den jeweiligen technologischen Vorschriften entsprechende Umgang mit dem Material hinzu (vgl. ebd.: 34). Die Erörterung dieser Sachverhalte erfordert nicht nur finale, sondern auch konditionale Denkweisen<sup>23</sup>.

Tab. 2: *Kategoriensystem zur sachlogischen Strukturierung chemischer Reaktionen unter den Aspekten des Zustandekommens und des Ablaufs einer chemischen Reaktion (vgl. Niethammer 2006: 128–129; Storz/Wirsing 1987: 34–35)*

|                               | Chemische Reaktionen                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | Aspekt des Zustandekommens                                                                                                                                                                                   | Aspekt des Ablaufes                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Reaktionsursachen</b>      | <b>RD: Ausgangsstoffe (Str-Eig):</b><br>Zusammenhang zwischen Struktur der korrespondierenden Reaktanden und deren Reaktionsvermögen                                                                         | <b>Ausgangsstoffe (Str-Eig) und Reaktionsprodukte (Str-Eig):</b><br>Zusammenhang zwischen Struktur der korrespondierenden Reaktanden und den Faktoren, die das Reaktionsgleichgewicht in Richtung Reaktionsprodukte verschieben <sup>24</sup> |
| <b>Reaktionsbedingungen</b>   | <b>reaktionsauslösend<sup>25</sup></b><br>wie Aktivierungsenergie, Katalysator, Oberfläche, etc.                                                                                                             | <b>reaktionssichernd</b><br>wie Temperatur, Druck, Konzentration, etc.                                                                                                                                                                        |
| <b>Reaktionsablauf</b>        | <b>Auslösung der Reaktion:</b><br>Zusammenhang zwischen Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Ausgangsstoffe und den reaktionsauslösenden Bedingungen; daraus resultiert Verständnis des Reaktionsmechanismus | <b>Ablauf der Reaktion:</b><br>Zusammenhang zwischen Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Ausgangsstoffe und dem Reaktionsmechanismus; daraus resultiert Verständnis der Reaktionserscheinungen                                               |
| <b>Reaktionserscheinungen</b> | <b>Merkmale, die das Stattfinden der Reaktion indizieren:</b><br>z. B. Farbänderung, Gasentwicklung, etc.                                                                                                    | <b>Merkmale, die den (kontinuierlichen) Verlauf der Reaktion bis zum Reaktionsende indizieren:</b><br>z. B. zunehmende Entstehung der Reaktionsprodukte (quantifizierbar über Ausbeuteberechnungen)                                           |

Str-Eig: Struktur-Eigenschaftsbeziehungen; RD: Reaktanden

Unter dem **Reaktionsaspekt** werden sachlogische und kategoriale Beziehungen aufgedeckt, bei denen Ursachen, Bedingungen, Verlauf und Reaktionserscheinungen chemischer Reaktionen betrachtet werden (s. Tab. 2). Da reaktionsauslösende und reaktionssichernde Bedingungen voneinander abweichen können, werden chemische Reaktionen nach deren Zustan-

<sup>23</sup> Konditionale Denkweisen können auch unter dem Substanzaspekt betrachtet werden, wenn es um Zusammenhänge zum Substanzverhalten und den dafür erforderlichen Bedingungen geht (s. Abb. 5, S. 46).

<sup>24</sup> Hierbei spielen thermodynamische Betrachtungen (innere Energie, Enthalpie etc.) und kinetische Betrachtungen eine Rolle, über die Reaktionsursachen und Gleichgewichtslagen chemischer Reaktionen begründet bzw. prognostiziert werden können.

<sup>25</sup> Die hier genannten Bedingungen stehen beim Auslösen von Reaktionen im Vordergrund. Dabei kann Aktivierungsenergie z. B. in Form von thermischer (Temperatur) oder kinetischer Energie (Schlag, Erschütterung, Schütteln, Mischen der Ausgangsstoffe) zugeführt werden. Katalysatoren sind nur mittelbar an der Reaktion beteiligte Stoffe. Sie setzen die Aktivierungsenergie herab, werden aber selbst nicht umgesetzt.

dekommen und deren Ablauf unterschieden (vgl. Niethammer 2006: 128). Aus diesen Betrachtungsweisen ergeben sich unterschiedliche Zusammenhänge, die sowohl kausale als auch konditionale Denkweisen erfordern.

Die in Tab. 2 dargestellten Betrachtungsebenen sind nur formal gesehen eine Trennung der relevanten Teilaspekte chemischer Reaktionen. Um ein Grundverständnis chemischer Reaktionen als Ganzes zu erreichen, müssen die Teilaspekte zueinander in Beziehung gesetzt werden können (vgl. ebd.: 129). In Abb. 3 wird das Bedingungsgefüge des Ablaufes chemischer Reaktionen dargestellt. „Der Reaktionsablauf kann in seiner äußeren Erscheinung über die Reaktionskinetik, die Reaktionsenergie bzw. -enthalpie, den Stoffumsatz und in seinem Wesen über die Prozesse, die auf der Teilchenebene ablaufen (Reaktionsmechanismus) beschrieben werden“ (ebd.: 129). Der Reaktionsmechanismus ist nur durch die Interpretation der strukturellen Merkmale der an der Reaktion beteiligten Stoffe zugänglich. Betrachtungen zum Reaktionsmechanismus beschränken sich nicht nur auf Ausgangsstoffe und Reaktionsprodukte, sondern schließen auch solche zu möglichen Zwischenverbindungen, Übergangszuständen und Nebenprodukten ein.

Bei der Betrachtung chemischer Verfahren stellen die chemischen Reaktionen nur einen Teilaspekt dar. Darüber hinaus sind weitere Inhaltsrelationen zu betrachten. Die sachlogischen Bezüge, die allgemein und damit auch bei der Prozessführung chemischer Reaktionen zum Tragen kommen, sind in Abb. 4 dargestellt und sind Teil des Verfahrensaspekts. Im Mittelpunkt der verfahrenstechnischen Betrachtungsweise (**Verfahrensaspekt**) stehen die Relationen zwischen

1. den Arbeitsgegenständen, an denen bestimmte Veränderungen beabsichtigt sind (stoffliche Seite)
2. den Operationen bzw. Reaktionen zum Bewirken dieser Änderungen (operationelle Seite)
3. der Grundausrüstung, in der die Veränderungen vollzogen werden (apparative Seite)

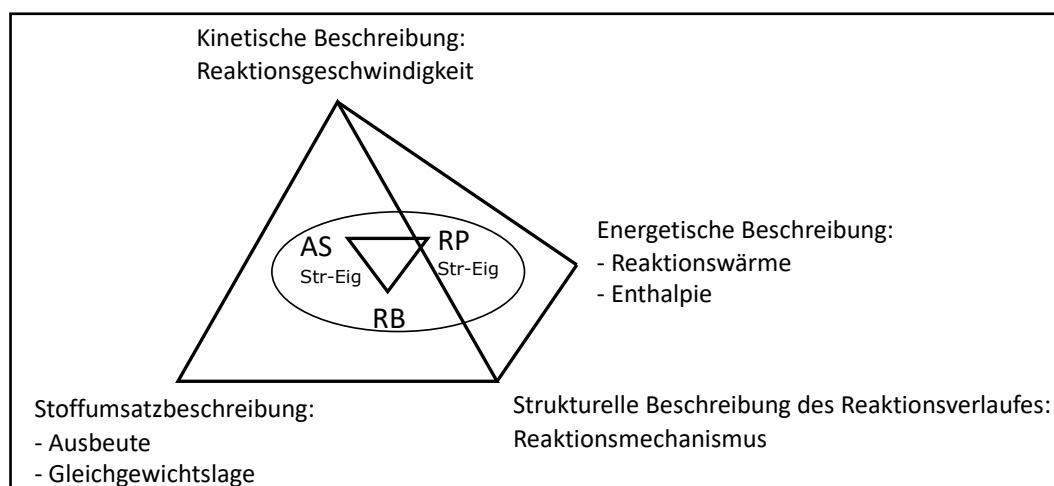


Abb. 3: Kontexte zur Beschreibung chemischer Reaktionen (Niethammer 2006: 130)



Gegenstand der Betrachtung sind Änderungen am Arbeitsgegenstand durch chemische Reaktionen bzw. physikalische Operationen unter technisch-technologischer Sicht. Die einzelnen Ebenen verfahrenstechnischer Systeme sind unterschiedlicher Komplexität und sind hierarchisch folgendermaßen angeordnet: Prozesseinheit, -gruppe, Verfahrensstufe, Verfahren, Verfahrenszug usw. (Storz/Wirsing 1987: 136; vgl. Storz 1984: 130–148). Die Prozesseinheit ist in dieser Reihe von Ebenen die kleinste Einheit eines verfahrenstechnischen Systems, unter der kurz „die gezielte industrielle Stoffwandlung in einer Grundausrüstung verstanden [wird] (Einheit von Arbeitsgegenstand und einem speziellen Arbeitsmittel)“ (Storz/Wirsing 1987: 136). Abb. 4 stellt anschaulich die Relationen der Inhalte einer Prozesseinheit dar, die so auch bei den sachlogischen Begründungszusammenhängen von Trennverfahren zum Tragen kommen, wie sie im Kap. 9.2.2 (S. 118) auch bei der Chromatografie<sup>26</sup> diskutiert werden, die eine Kombination aus Trennverfahren und Analysenverfahren darstellt.

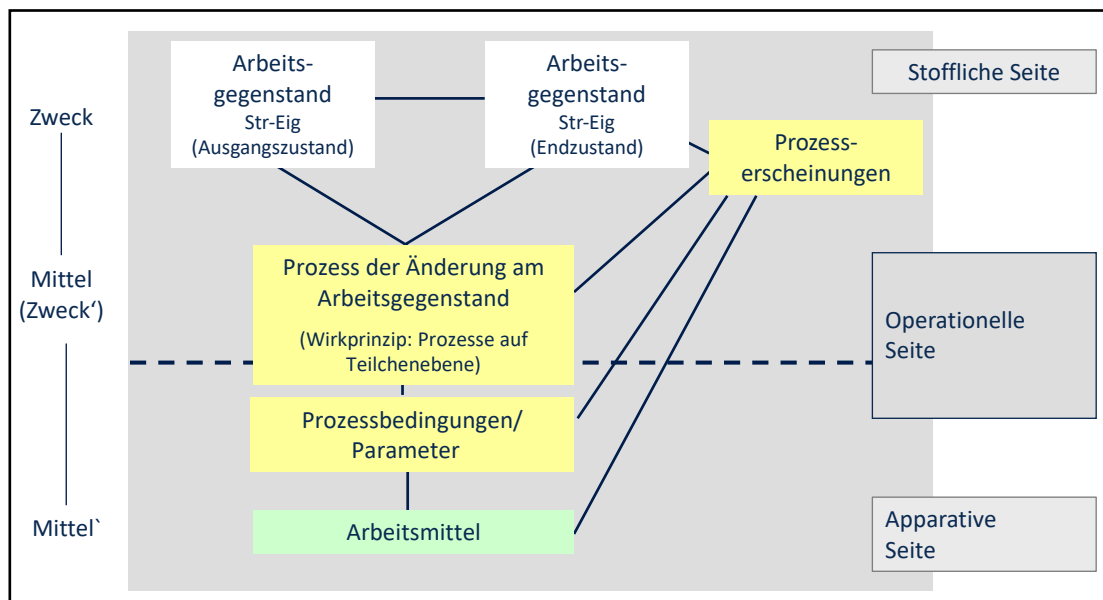


Abb. 4: Sachlogische Strukturierung der Inhalte einer Prozesseinheit, z. B. eines Herstellungs- oder Trennverfahrens (Darstellung nach Storz 1984: 143, vgl. Storz & Wirsing 1987: 34–41; Niethammer 2006: 122–133)

Ausgehend von der Kennzeichnung des Arbeitsgegenstandes (stoffliche Seite) lassen sich Bezüge zur operationellen und apparativen Seite herstellen. „Die Relationen zwischen der stofflichen, operationellen und apparativen Seite umfassen sowohl Aspekte der äußeren Prozessbeschreibung als auch Zusammenhänge zur Charakterisierung der ablaufenden physikalischen Vorgänge oder chemischen Reaktionen, wodurch das Wirkprinzip bzw. der

<sup>26</sup> Exemplarisch wird ein Schema zur sachlogischen Strukturierung der Inhalte zur Chromatografie (s. Abb. 45, S. 192) im Kap. 12.3.2.1 (S. 187–195) erläutert. Auf dieser Grundlage wird dann später beurteilt, welche Zusammenhänge im englischen Textmaterial und in den Ausführungen der Versuchspersonen thematisiert werden.

Mechanismus untersetzt wird“ (Düwel/Niethammer 2017: 421). Stoff-, Energie- und Informationsflüsse sind Ordnungspunkte für die gedankliche Führung der Lernenden, die auch Ordnungspunkte bei Laborsystemen darstellen, z. B. beim präparativen Arbeiten zum Herstellen oder Isolieren von Reaktionsprodukten. „Die Bearbeitung einer Analyse – von der Probennahme, über die Probenvorbereitung bis zur analytischen Bestimmung ihrer Bestandteile – findet ebenfalls mit Hilfe chemietechnischer Systeme statt“ (Storz/Eichhorn 2000: 14). Die Denkweise ist stark Mittel-Zweck bezogen, also final.

Die Erkenntnisgewinnung über Substanzen, Reaktionen, Materialien und Verfahren wird demnach durch das Aufdecken verschiedener sachlogischer Beziehungen erreicht. In Abb. 5 wird der Strukturierungsansatz natur- und ingenieurwissenschaftlicher Inhalte noch einmal zusammenfassend dargestellt, auf dessen Grundlage Ordnungszusammenhänge aus arbeitssystembezogener Perspektive abgeleitet werden können, die je nach Sichtweise kausale, finale oder konditionale Denkweisen erfordern (vgl. Niethammer/Schweder 2020; Niethammer/Schweder 2016). Material- und Verfahrensaspekt<sup>27</sup> ordnen sich demnach in die ingenieurwissenschaftliche Ebene ein. Vervollständigt wird diese Betrachtungsebene durch den Konstruktionsaspekt, wenn es bspw. um das Entwerfen, Fertigen, Montieren oder Warten von Bauteilen und Baugruppen technischer Systeme für die Realisierung von Änderungen am Arbeitsgegenstand geht. Dieser Aspekt spielt auf der Facharbeiterebene im Berufsfeld der Labor- und Prozesstechnik eine nur untergeordnete Rolle.<sup>28</sup> In der Chemieproduktion oder im Laborbereich werden Anlagen überwiegend bedient, ggf. gewartet, sodass Aspekte der Prozessführung im Mittelpunkt stehen. Die Konstruktion komplexer Anlagen zur Herstellung oder Analyse von Stoffen wird eher von Anlagenbauern bzw. Entwicklungsingenieuren unterschiedlicher Spezialisierungsrichtungen übernommen.

Analysensysteme sind nicht explizit abgebildet. Im Kontext arbeitssystembezogener Betrachtungen sind sie implizit bei der Herstellung von Stoffen als Prozessgruppe<sup>29</sup> zur Stoffidentifikation bzw. prozessbegleitenden Qualitätskontrolle enthalten.

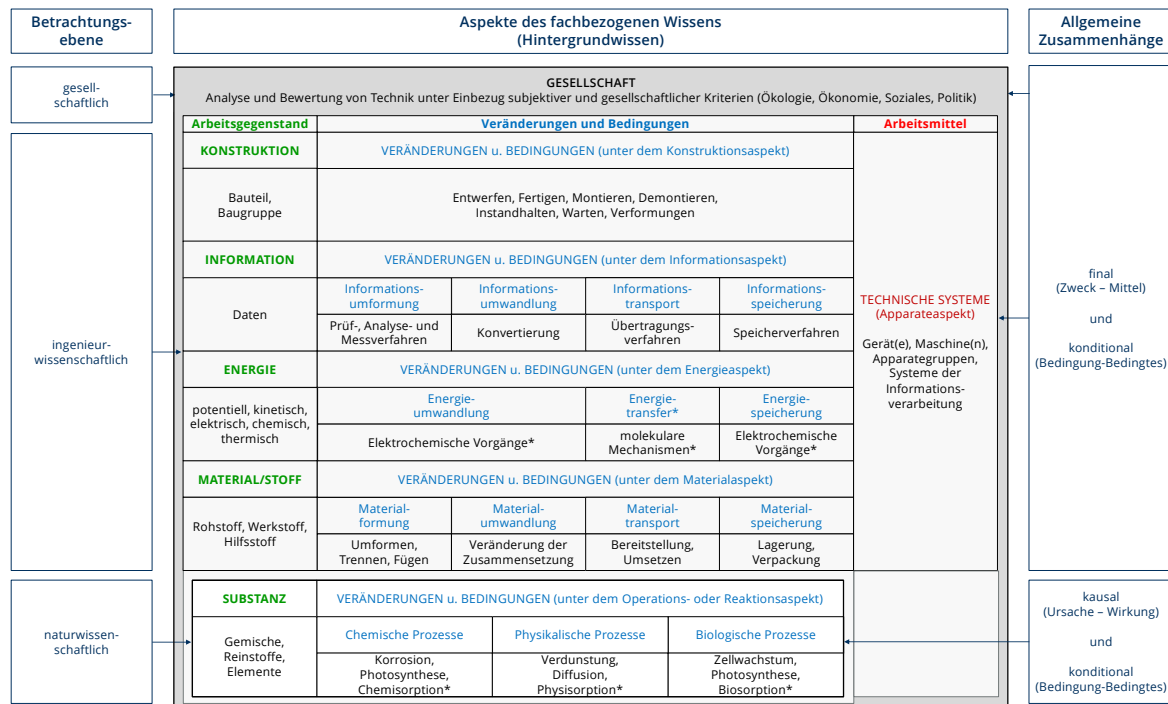
„[Sie] können gemäß ihrer Funktion für ein Herstellverfahren als ein verfahrenstechnisches Element desselben, aber auch in ihrer eigenständigen Funktion, als labortechnisches System betrachtet werden. Für die bessere Systematisierung, aber auch um der Bedeutung der Analysensysteme in der Laborarbeit gerecht zu werden, werde diese in der Betrachtung den Arbeitssystemen zur Herstellung von Stoffen nebengeordnet“ (Niethammer 2006: 133).

<sup>27</sup> Der Begriff Verfahrensaspekt taucht in Abb. 5 nicht explizit auf, sondern nur die damit in Verbindung stehenden Aspekte wie technische Systeme. Die Änderungen am Arbeitsgegenstand durch chemische Reaktionen bzw. physikalische Operationen unter technisch-technologischer Sicht fokussieren zwar vordergründig auf den Materialaspekt, aber setzen Kenntnisse über die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge dieser Prozesse (chemische, physikalische, biologische) voraus.

<sup>28</sup> Niethammer & Schweder (Niethammer/Schweder 2020; vgl. Niethammer/Schweder 2016) haben diesen Ansatz für die berufliche Fachrichtung Bautechnik, Holztechnik sowie Farbtechnik/Raumgestaltung entwickelt, in der Konstruktionsaspekte einen wichtigen Inhaltsaspekt darstellen.

<sup>29</sup> An dieser Stelle ist von Prozessgruppe und nicht -einheit die Rede, weil bei der Herstellung von Stoffen mehrere Änderungen am Arbeitsgegenstand nötig sein werden.

Die Inhalte von Analysenverfahren, wie sie später noch detailliert für die Chromatografie betrachtet werden (s. Abb. 45, S. 192), umfassen bspw. Aspekte der Stofftrennung (Material- und Apparateaspekt sowie Aspekte des substanzspezifischen Verhaltens der zu analysierenden Substanzen) und der Stoffidentifikation (Messwerterfassung und -verarbeitung unter dem Apparateaspekt).



\*von der Autorin vorgenommene Änderungen bzw. Ergänzungen

Abb. 5: Basiskonzepte zur Strukturierung arbeitssystembezogener Inhalte im natur- und ingenieurwissenschaftlichen Bereich (nach Niethammer/Schweder 2020, mit eigenen Ergänzungen)

Insgesamt wird deutlich, wie vielfältig die Perspektiven sind, nach denen chemiebezogene Inhalte strukturiert werden können. Die Vermittlung dieser Inhalte erfordert unterschiedlich hohe Abstraktionsleistungen, die nicht nur auf kognitiver Ebene ablaufen, sondern auch verbalisiert werden müssen<sup>30</sup> – sowohl von Lehrenden als auch Lernenden. Je nach Sichtweise sind für Lehr-Lernprozesse die relevanten Inhalte in ihren Relationen zueinander darzustellen. Dabei ist die Reihenfolge und die Verknüpfung der miteinander in Beziehung stehenden Aussagen von Bedeutung (vgl. Langer 1979: 232 zu innerer Folgerichtigkeit als Verständlichkeitsmerkmal von Fachtexten<sup>31</sup>; Aspekt wird noch im Kap. 8 (S. 97) mit Blick

<sup>30</sup> Die Fachsprache fungiert dabei als Erkenntnisträger und Kommunikationsinstrument, deren Präzisierung in der Fachkommunikation mit steigendem Fachlichkeitsgrad zunimmt.

<sup>31</sup> „Hiermit ist gemeint, daß [sic] die Sätze nicht beziehungslos nebeneinander stehen, sondern folgerichtig aufeinander bezogen sind und daß [sic] die Informationen in einer sinnvollen Reihenfolge dargeboten werden.“ (ebd.: 232)

auf Argumentationslinien näher ausgeführt). In diesem Zusammenhang sind Denkweisen im Prozess der Erkenntnisgewinnung zu berücksichtigen, die im Folgenden dargestellt werden.

#### **6.4.2 Zusammenspiel von Abduktion, Deduktion und Induktion im Prozess der Erkenntnisgewinnung**

Mit Blick auf die einleitend herausgestellten Kriterien von Unterrichtsqualität ist ein wichtiger Aspekt, Schülerinnen und Schüler zu befähigen, Erlerntes im Lebensalltag anwenden zu können. Wie die PISA-Ergebnisse verdeutlicht haben, wird dieser Anspruch nicht ausreichend erfüllt, wenn im Unterricht auf Fakten und die Anwendung von Schemata in einer Weise fokussiert wird, sodass das angeeignete Wissen zwar allgemein reproduzierbar und in den Kontexten, in denen es angeeignet wurde, anwendbar ist, aber nicht auf andere Kontexte übertragen werden kann (s. Kap. 1, S. 2). Die entscheidende Frage ist, wie Schülerinnen und Schüler in diesem Prozess und in ihrem Denken so angeregt werden, dass sie dieses angeeignete Wissen variabel in ihrem Alltag nutzen können. Letztendlich müssen sie die Grundprinzipien für das Erschließen und Anwenden verstanden haben, über das Zusammenhänge erschlossen werden können.

Erkenntnis basiert auf drei Schließverfahren (Deduktion, Induktion und Abduktion), die im Kontext der Lernwegsgestaltung zu betrachten sind. Die deduktive Anwendung von Wissen ist „in der schulischen Bildung mit Sicherheit [die] am sorgfältigsten und besten abgedeckte Anwendungsform (sei es, dass man Mathematikaufgaben zu einer besprochenen Operation berechnet [...] oder im Fremdsprachenunterricht Übungsaufgaben zu einer bestimmten grammatischen Struktur bearbeitet)“ (Minnameier 2005:192; vgl. Leuders 2020:15 bzgl. typisch deduktiver Vorgehensweise in der Hochschullehre). Der Fokus auf diese Art der Wissensanwendung mag mit Grund dafür sein, dass Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten haben, Schulwissen auf neue Kontexte zu transferieren (s. Kap. 1, S. 2). Die Befähigung zum Wissenstransfer erfordert, Schülerinnen und Schüler im Lernprozess kreative Wege zur Theoriegewinnung bzw. -erweiterung erleben zu lassen. Welche Wege der Erkenntnisgewinnung es gibt und wie diese bedingungsabhängig eingesetzt werden können, soll im Folgenden gesondert betrachtet werden.

Die Auswahl eines Schließverfahrens als ein Element des zu gestaltenden Lernprozesses hängt von den Vorkenntnissen der Lernenden und der Komplexität des Lernstoffes ab. Es ist sorgsam abzuwägen, welches Vorgehen geeignet ist, um Lernende so mit dem Lernstoff zu konfrontieren, dass sie in ihrem Erkenntnisprozess bestmöglich kognitiv aktiviert werden. Dazu ist es im Vorfeld wichtig zu berücksichtigen, welche Gültigkeitskriterien die jeweiligen Schließverfahren haben und wie die jeweiligen Schließverfahren in einer (oder auch in mehreren) Unterrichtseinheit(en) aufeinander aufbauen bzw. ineinandergreifen. Dazu werden im Folgenden exemplarisch erkenntnistheoretisch begründete Lernwege für den chemiebezogenen Unterricht skizziert.

Tab. 3: Zusammenfassung: Definitionen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede der drei Schließverfahren Deduktion, Induktion und Abduktion

|                  | Deduktion                                                                                                                                        | Induktion                                                                                                                              | Abduktion <sup>32</sup>                                                                                                                                                                    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Definition       | Anwendung allgemeiner Regeln auf besondere Fälle                                                                                                 | Verallgemeinerung von einigen Fällen auf alle Fälle einer Gesamtheit; das Schlussfolgern von Partikulärem auf das allgemeine Gesetz    | Bildung einer erklärenden Hypothese; das Schlussfolgern „von der Wirkung auf die Ursache“                                                                                                  |
| Erkenntnisgewinn | hat keinen erkenntniserweiternden, sondern analytischen Charakter;<br>„beweist, dass etwas sein muss“<br>(SPP II 5.171:362)                      | hat erkenntniserweiternden, synthetischen Charakter<br>„zeigt, dass etwas tatsächlich wirksam ist“<br>(ebd. II 5.171:362)              | hat erkenntniserweiternden, synthetischen Charakter<br>„vermutet bloß, dass etwas der Fall sein kann“<br>(ebd. II 5.171:362)                                                               |
| Notwendigkeit    | notwendiges Schlussfolgern = diagrammatisch <sup>33</sup>                                                                                        | nicht notwendiges Schlussfolgern                                                                                                       | nicht notwendiges Schlussfolgern                                                                                                                                                           |
| Besonderheiten   | à priori<br>Schluss beschränkt sich auf ideale Sachverhalte bzw. Sachverhalte, die mit idealen Sachverhalten übereinstimmen (vgl. CP 8.209: 167) | à particularis<br>Schluss bringt allgemeine Regel hervor;<br>klassifiziert;<br>bezieht sich auf unmittelbar beobachtete ähnliche Fälle | à priori und à posteriori<br>Schluss bringt erfundene, ungetroffene allgemeine Regel hervor;<br>erklärt;<br>schließt auf die Existenz von nicht beobachteten oder beobachtbaren Phänomenen |

<sup>32</sup> Peirce (CP 5.57) erachtet, dass auch jede noch so einfache wahrnehmungsgeprägte Beurteilung (simplest perceptual judgement) abduktiv entsteht (z. B. eine Person bezeichnet erst das überraschende Objekt ein Wunder und stellt durch Reflexion fest, dass es nur ein Wunder in dem Sinne ist, dass sie überrascht ist).

<sup>33</sup> betrifft die Darstellung von Daten und Erkenntnissen mit Hilfe von Diagrammen, was Peirce so darlegt: „Alles notwendige Schlussfolgern ist ohne Ausnahme diagrammatisch. Das heißt: wir konstruieren ein Bild (icon) eines hypothetischen Zustandes der Dinge und verfahren weiter so, daß [sic] wir es beobachten. Diese Beobachtung führt uns zu der Vermutung, daß [sic] etwas wahr ist, was wir mit Präzision formulieren können, oder auch nicht, und wir verfahren weiter so, daß [sic] wir erforschen, ob es wahr ist oder nicht. Zu diesem Zweck ist es notwendig einen Forschungsplan zu entwerfen, [...]. Wir haben nicht nur diejenigen Züge [features] des Diagramms auszuwählen, auf welche die Aufmerksamkeit zu richten ist, sondern es ist auch von großer Wichtigkeit, immer wieder zu gewissen Zügen zurückzukehren. Andernfalls werden unsere Schlussfolgerungen, obgleich sie korrekt sein mögen, nicht die speziellen Konklusionen sein, auf die wir abzielen. Aber das größte Kunststück besteht in der Einführung passender Abstraktionen. Darunter verstehe ich eine derartige Transformation unserer Diagramme, daß [sic] des einen Diagramms in einem anderen als Dinge erscheinen. Ein bekanntes Beispiel dafür ist der Fall, wo wir in der Analysis Operationen selbst als Gegenstände von Operationen behandeln.“ (ebd. 5.162: 358)

In Tab.3 werden die wichtigsten Merkmale zu den drei Schließverfahren (Deduktion, Induktion und Abduktion) zusammengefasst, deren Unterschiede im Folgenden erörtert werden. Anschließend wird gezeigt, wie sie in Lehr-Lernkontexten zur Anwendung kommen können, ob als Bestandteil des im Unterricht stattfindenden Lernprozesses oder des Verstehensprozesses bei der Textrezeption<sup>34</sup>.

Die Deduktion ist immer die Anwendung von Regeln auf besondere Fälle (vgl. ebd. 2.623:373; SPP II:357). Übertragen auf das klassische Bohnenbeispiel nach Peirce (s. Tab.4), dessen Form einen Syllogismus<sup>35</sup> darstellt, wird unter Anwendung der Regel „Alle Bohnen in diesem Sack sind weiß“ geschlussfolgert, dass aus dem Sack entnommene Bohnen, entsprechend das Merkmal „weiß“ aufweisen. Aus der Regel folgt unmittelbar der besondere Fall (das Resultat), denn das Resultat ist in der Regel schon enthalten, sodass dieses Schließverfahren keinen Erkenntnisgewinn im eigentlichen Sinne darstellt (notwendiges Schlussfolgern nur auf ideale Sachverhalte oder Sachverhalte in Übereinstimmung mit idealen; CP 8.209<sup>36</sup>).

Tab. 4: Schließverfahren in Anlehnung an Peirce (vgl. Minnameier 2005: 186)

|    | Deduktion<br>(Schließverfahren à priori)                                   | Induktion<br>(Schließverfahren à particularis)                    | Hypothese <sup>37</sup><br>(Schließverfahren à posteriori) |
|----|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| P1 | Regel bzw. Obersatz:<br>Alle Bohnen in diesem Sack<br>sind weiß.           | Fall <sup>38</sup> :<br>Diese Bohnen sind aus diesem<br>Sack.     | Regel:<br>Alle Bohnen in diesem Sack<br>sind weiß.         |
| P2 | Fall zur Regel bzw. Untersatz:<br>Diese Bohnen sind aus diesem<br>Sack.    | Resultat:<br>Diese Bohnen sind weiß.                              | Resultat:<br>Diese Bohnen sind weiß.                       |
| K  | Resultat (Anwendung der Regel<br>auf den Fall):<br>Diese Bohnen sind weiß. | Regel <sup>39</sup> :<br>Alle Bohnen in diesem Sack<br>sind weiß. | Fall:<br>Diese Bohnen sind aus diesem<br>Sack.             |

P1: erste Prämisse; P2: zweite Prämisse; K: Konklusion

<sup>34</sup> Dieser Prozess spielt bei der Inhaltsanalyse und -aufbereitung für den Unterricht im Allgemeinen und in dem Lehr-Lernkonzept in dieser Arbeit im Besonderen eine Rolle.

<sup>35</sup> Konklusion (vom Allgemeinen auf das Besondere) wird aus zwei Prämissen (Obersatz und Untersatz) gezogen (s. Duden ). Syllogismen gehen auf Aristoteles zurück und sind ein deduktives Argument, wobei nicht alle deduktiven Argumente Syllogismen sind. Der Obersatz des Syllogismus enthält das Prädikat, der Untersatz das Subjekt der Konklusion. Bei dem klassischen Bohnenbeispiel (s. Tab. 4) ist das Prädikat des Obersatzes „sind weiß“ und das Subjekt des Untersatzes „diese Bohnen“.

<sup>36</sup> „Übliche Zitation der ‚Collected Papers of Charles Sanders Peirce‘ (CP). Die erste Zahl gibt den Band an, die zweite bezeichnet den jeweiligen Abschnitt.“ (Minnameier 2005: 186)

<sup>37</sup> Aus diesem Konzept der Hypothese geht letztendlich die Abduktion hervor. Das Konzept der Hypothese, die aus Erfahrungen hervorgeht, entspricht der qualitativen Induktion, einer von drei Genera der Induktion, über die Peirce die Abduktion klarer von der Induktion abgrenzt (vgl. (CP: 7.208).

<sup>38</sup> Es ist nicht bekannt, dass die Bohnen in dem Sack weiß sind. Wäre es bekannt, dann wäre das Schließen darauf, dass die Bohnen weiß sind, ein deduktiver Schluss (Anwendung der Regel auf den Fall).

<sup>39</sup> Dies ist die „Konklusion der Regel aus der Beobachtung eines Resultates in einem gewissen Fall“ (SPP: 2.622).

Die Induktion ist immer die Verallgemeinerung von einigen Fällen auf alle Fälle einer Gesamtheit (die getesteten und ungetesteten), also das Schlussfolgern von Partikulärem auf das allgemeine Gesetz. Der Syllogismus wird umgekehrt. Es wird von dem Fall und dem Resultat auf die Regel geschlossen. Aus der Fallsituation, dass die Bohnen, die aus einem Sack entnommen wurden, alle weiß sind (Resultat), wird verallgemeinert, dass alle Bohnen „in diesem Sack“ weiß sind.

Die Induktion ist allerdings nicht die einzige Art, wie man den Syllogismus umkehren kann (vgl. CP 2.623: 374). Es gibt auch die Möglichkeit, eine Hypothese zu bilden, indem aus der Regel und dem Resultat auf einen Fall geschlossen wird. Der hypothetische Charakter dieser Schlussform besteht darin, dass der singuläre Schluss, also der Schluss auf einen Einzelfall, verallgemeinerbar sein könnte, d.h. die Regel über den Gültigkeitsbereich hinaus verallgemeinert wird. Übertragen auf das Bohnenbeispiel wird angesichts der Regel für einen Gültigkeitsbereich „Alle Bohnen in diesem Sack sind weiß“ und des Resultats außerhalb des Gültigkeitsbereichs der Regel „Diese Bohnen sind weiß“, der Fall „Diese Bohnen sind aus diesem Sack“ abgeleitet.<sup>40</sup> Dieser Schluss leitet sich nicht logisch aus den Prämissen (Regel und Resultat) ab, denn das Resultat gehört nicht zum Geltungsbereich der Regel.

Bei der Hypothese schließt man also von einigen Fällen auf einige weitere, was logisch zur Induktion, bei der auf alle Fälle einer Gesamtheit geschlossen wird, keinen Unterschied macht (vgl. Hintikka/Ninluoto 1980 in Minnameier 2005: 187), denn in „beiden Fällen besteht der entscheidende Schritt in einer Extrapolation ausgehend von manifestem Wissen, also in einem Schluss von bekannten Sachverhalten auf unbekannte“ (ebd.: 187). Nur ist der Induktionsschluss durch die Verallgemeinerung auf alle Fälle einer Gesamtheit riskanter, weil er mögliche Ausnahmen nicht berücksichtigt. Die beiden syllogistischen Formen sind daher identisch.

Da das Konzept der Hypothese zur Hervorbringung und Akzeptanz einer Hypothese nicht ausreichte, entwickelte Peirce das Konzept der Abduktion, bei der die Konklusion die hypothetische Klärung verblüffender Tatsachen (Prämissen) darstellt. Somit werden Ausgangstatsachen, „die sich zunächst zu widersprechen schienen oder deren Zusammenhang vorher nicht verstanden wurde“ (ebd.: 187 zu Peirce), in Einklang gebracht. Gibt es mehrere plausible Deutungsmöglichkeiten, muss der abduktive Schluss geprüft werden. Dazu werden zunächst aus der abduktiv gewonnenen Hypothese Konsequenzen abgeleitet (deduktives Vorgehen). Inwiefern die Schlussfolgerung (Konklusion) und die dafür zugrunde gelegten Annahmen (Prämissen) valide/wahr sind, kann nur wieder durch Einzelfallprüfungen bewertet werden (vgl. CP 6.472, 1908 in Minnameier 2004: 79). Wird die Schlussfolge-

---

<sup>40</sup> Peirce (CP 2.623) ordnet dieses Beispiel der Hypothesenbildung in den Kontext ein, dass in einem Raum Säcke stehen, die verschiedene Bohnenarten enthalten. Auf einem Tisch liegt eine Handvoll weißer Bohnen (Resultat). Nach dem Durchsuchen der im Raum befindlichen Säcke wird ein Sack ausfindig gemacht, der nur weiße Bohnen enthält (Regel). Daraus wird geschlussfolgert, dass die Handvoll Bohnen vom Tisch aus diesem Sack sein müssten. Bei der Hypothese als Schließverfahren wird also ein Fall aus einer Regel und einem Resultat abgeleitet.

rung durch mehrere Einzelfälle bestätigt, kann von den geprüften Fällen auf alle Fälle einer Gesamtheit verallgemeinert werden (induktives Vorgehen). Peirce sieht in diesen drei Schlussformen, die einzigen drei Formen des Schlussfolgerns, die es gibt:

„Abduction having suggested a theory, we employ deduction to deduce from that ideal theory a promiscuous variety of consequences to the effect that if we perform certain acts, we shall find ourselves confronted with certain experiences. We then proceed to try these experiments, and if the predictions of the theory are verified, we have a proportionate confidence that the experiments that remain to be tried will confirm the theory. I say that these three are the only elementary modes of reasoning there are. I am convinced of it both a priori and a posteriori. [...] In forty years dilligent study of arguments, I have never found one which did not consist of these elements“ (CP 8.209: 168; SPP 8.209: 543)

Peirce trifft allerdings noch eine Unterscheidung induktiver Schlüsse, um sie klar von abduktiven Schlüssen abzugrenzen (CP: 7.208):

1. Quantitative Induktion (die stärkste Form der Induktion): untersucht die Frage(n), die sich aus der Retroduktion<sup>41</sup> ergibt/ergeben; beurteilt, welcher ungefähre Anteil der Teile eines Ganzen ein bestimmtes Merkmal haben; ermittelt das Häufigkeitsverhältnis; einfacher Syllogismus vom Untersatz zum Obersatz; (ebd.: 2.758 und 7.209–214)
2. Krude Induktion (die schwächste Form der Induktion): schlussfolgert von allen vergangenen Erfahrungen auf Ähnlichkeit aller zukünftigen Erfahrungen (universelle Proposition); beruht auf Abwesenheit von gegenteiligen Beispielen/Erfahrungen (ebd.: 2.756 und 7.215)
3. Qualitative Induktion: entspricht Peirce's Konzept von „Hypothese“; von der retroduktiv gewonnenen Hypothese werden echte bedingte Vorhersagen abgeleitet, die so variiert werden, dass sie jedes Merkmal der Hypothese überprüfen/abbilden; mögliche Vorhersagen werden überprüft (wie wahr die Hypothese ist; welcher Teil ihrer Vorwegnahme verifiziert wird)<sup>42</sup> (ebd.: 2.759 und 7.216)

Für Lehr- und Lernprozesse ist die Führung der Denkrichtung bei der Erarbeitung neuen Wissens wesentlich. Mögliche Denkrichtungen ergeben sich aus der sachlogischen Strukturierung der Inhalte einzelner Aspekte, die „typische und relativ selbständige Aneignungsgegenstände repräsentieren (Substanz-, Materialaspekt usw.)“ (Storz/Wirsing 1987: 60). Die

<sup>41</sup> Dies ist ein von Peirce ausgedachter Begriff und bezeichnet den Schluss von der Erfahrung zur Hypothese.

<sup>42</sup> Die Auswahl der zu überprüfenden Hypothesen folgt keiner Zufallsauswahl, sondern ist eher qualitativer Natur, indem sie am besten die insgesamt möglichen Vorhersagen repräsentiert. Möglich wäre auch, dass die getroffenen Vorhersagen alle bis zum aktuellen Erkenntnisstand möglichen Vorhersagen umfassen. Die sich aus der Überprüfung ergebenden Fakten müssen nicht unbedingt die Hypothese widerlegen, sondern können eher noch zu ihrer Modifizierung führen (vgl. ebd. 7.216).



Festlegung eines Begriffes/Konzeptes der sachlogischen Strukturierung als Ausgangspunkt gibt die methodische Linienführung zur Erschließung der mit diesem Begriff verbundenen sachlogischen Beziehungen vor.

„Für die einzelnen Aspekte, welche typische und relativ selbständige Aneignungsgegenstände repräsentieren (Substanz-, Materialaspekt usw.) erfolgte die Kennzeichnung methodisch bedeutsamer sachlogischer Beziehungen. Nimmt man unter Festlegung einer Richtung jeweils eine Kategorie als Ausgangspunkt und Endpunkt an, so erhält man prinzipielle Richtungen als methodische Linienführungen zur Führung des Denkens. [...] Auf diese Weise werden Eckpunkte und Richtung des Denkvollzuges der [Lernenden] als Grundlage für geistige Handlungen markiert.“ (ebd.: 59–60)

Jegliche Erkenntnisprozesse beginnen bei der Abduktion (vgl. CP 7.218 „Abduction is the first step of scientific reasoning“). Die von Peirce (ebd. 7.218) kritisierte Verwechslung der Elemente wissenschaftlicher Argumentationen („scientific reasoning“ kann auch mit wissenschaftlicher Beweisführung übersetzt werden) bezieht sich hauptsächlich auf das undifferenzierte Verständnis von Abduktion und Induktion, indem diese beiden Schließverfahren als einfaches Argument zusammengefasst werden und auch oft mit Deduktion verwechselt werden. Peirce führt diesen Umstand auf die Tatsache zurück, dass beide Schließverfahren, Abduktion und Induktion, zur Akzeptanz einer Hypothese führen, da die beobachteten Tatsachen/Fakten notwendigerweise oder mit Wahrscheinlichkeit aus der Hypothese resultieren.

Abduktion und Induktion sind allerdings gegenteilige Pole des Argumentes (engl.: *reason*). Während die Abduktion nach einer Theorie sucht, um eine verblüffende Tatsache zu erklären, also bei den Fakten beginnt, ohne eine bestimmte Theorie im Blick zu haben (es gibt aber eine Ahnung/Vorstellung von einer Theorie, durch die die verblüffenden Tatsachen erklärt werden können), sucht die Induktion nach Fakten, also beginnt bei der Hypothese, die für sich selbst zu sprechen scheint (engl. *seems to recommend itself*), ohne bestimmte Fakten im Blick zu haben (es gibt aber den Eindruck, dass Fakten zur Bestätigung der Theorie benötigt werden). Bei der Induktion legt die Hypothese nahe, welche Experimente zur Hervorbringung der Fakten benötigt werden, auf die die Hypothese bereits hingewiesen hat (vgl. (ebd. 7.218).

Die Differenzierung der Denkrichtung von der Suche nach einer Theorie (dem Wesen) zur Erklärung von Fakten (der Erscheinung i. S. von verblüffenden Tatsachen) einerseits und andererseits der Suche nach Fakten (der Erscheinung), die aus einer noch nicht abgesicherten Hypothese (dem Wesen) ergeben<sup>43</sup>, sind begrifflich durch Storz und Wirsing (1987) mit regressiv-reduktivem bzw. progressiv-reduktivem Vorgehen unterschieden (vgl. Loh-

---

<sup>43</sup> Das Ableiten der Fakten aus der noch nicht abgesicherten Hypothese ist deduktiv. Die experimentelle Überprüfung der Fakten, aus der der Schluss auf die Hypothese oder die Präzisierung der Hypothese resultiert, ist dann der induktive Schluss.

mann 1953: 607). Das regressiv-reduktive Vorgehen entspricht der Abduktion, während das progressiv-reduktive Vorgehen der qualitativen Induktion nach Peirce'schem Verständnis entspricht (CP 2.759; 7.216, NEM: 184; vgl. Minnameier 2004: 82).

Da später bei dem Anwendungsproblem zur Chromatografie<sup>44</sup> Löslichkeitsbetrachtungen organischer Lösungsmittel eine Rolle spielen, die von den Vpn (Lehramtsstudierende) bei ihren didaktischen Überlegungen berücksichtigt werden sollen, beziehen sich die weiteren Ausführungen auf die Stoffklasse der Alkanole, also auf den Stoffaspekt der Stoffklasse, um die verschiedenen didaktischen Linienführungen und die dabei zu vollziehenden Schließverfahren zu erörtern.

Die Erkenntniswege könnten für eine Ersterarbeitung im Unterricht<sup>45</sup> wie folgt aussehen:

#### 1. Schritt: Induktive Verallgemeinerung

Um sich dem Thema der Wasserlöslichkeit von Alkanolen anzunähern, könnte am Anfang eine Versuchsreihe stehen, in der verschiedene Alkanole auf ihre Wasserlöslichkeit getestet werden. Es ist naheliegend zunächst eine Systematisierung nach Stoffgruppen vorzunehmen. In der Versuchsreihe wurden bspw. Methanol (Stoff 1), Ethanol (Stoff 2) und Propanol (Stoff 3) untersucht. Alle drei Einzelstoffe sind Alkanole (Stoffgruppe). Aus der Tatsache, dass alle drei Stoffe wasserlöslich (Stoffeigenschaft) sind, könnte induktiv verallgemeinert werden, dass alle Alkanole wasserlöslich sind.

#### 2. Schritt: Abduktion (hier: regressive Reduktion)

Der wahre Erkenntnisgewinn besteht nun darin, eine Erklärung für die Wasserlöslichkeit von Kohlenwasserstoffen zu finden (Abduktion). Dazu sind Struktur-Eigenschaftsbeziehungen, also Grund-Folge bzw. Ursache-Wirkungsbeziehungen, zu betrachten. Diese können auf der Ebene von Stoffgruppen und Einzelstoffen erfolgen. Im ersten Denkschritt wurde bereits induktiv verallgemeinert, dass die untersuchten Kohlenwasserstoffe der Stoffgruppe der Alkanole angehören und wasserlöslich sind. Dieses Phänomen kann nur anhand der Strukturmerkmale erklärt werden. Dieser Vorgang des Suchens nach relevanten Strukturmerkmalen (hier ist es die Hydroxylgruppe der Alkanole), über die die Wasserlöslichkeit der Alkanole begründet werden kann, ist der abduktive Denkschritt.<sup>46</sup> In dieser skizzierten Denkrichtung wird von der Erscheinung auf das Wesen geschlossen, sodass es

<sup>44</sup> Trennung eines lipophilen Farbstoffgemisches mittels Dünnschichtchromatografie

<sup>45</sup> Die Betrachtungen beziehen sich auf eine kleinste Lernsequenz, bei der unter dem Substanzaspekt Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Stoffklasse erarbeitet werden, um das Zusammenspiel der drei Schließverfahren gut nachvollziehbar darstellen zu können. Für eine Ersterarbeitung im Unterricht müsste das Thema an eine lebens- oder arbeitsweltbezogene Problemstellung geknüpft werden.

<sup>46</sup> Die Suche nach einer erklärenden Hypothese erfolgt in zwei Stufen: 1. Suche nach dem besonderen Strukturmerkmal (ist bei den Alkanolen die OH-Gruppe) führt zu der Annahme, dass die Wasserlöslichkeit (Erscheinung) auf die OH-Gruppe (Strukturmerkmal) zurückgeführt werden kann; 2. Klärung der Bedeutung der Wasserlöslichkeit (Wechselwirkungen zwischen Substanzen müssen vergleichbar sein; Wasser hat zwei am Sauerstoffatom gebundene Wasserstoffatome, die wasserstoffbrückenbindungen eingehen; aufgrund der Wasserlöslichkeit können für die Alkanole vergleichbare Wechselwirkungen angenommen werden, was durch das Vorhandensein der OH-Gruppe bestätigt wird).

sich um eine regressive Reduktion handelt. Die Begründung der Wasserlöslichkeit ist allerdings an dieser Stelle noch nicht abgeschlossen, denn die Wirkung eines weiteren die Wasserlöslichkeit beeinflussenden Strukturmerkmals der Alkanole (Alkylgruppe) wurde noch nicht betrachtet.

### 3. Schritt: Deduktion (Generieren einer Vorhersage/Prognose)

Auf der Grundlage der so gewonnenen Erkenntnis, dass die Wasserlöslichkeit von Alkanolen (allgemeine Eigenschaft einer Stoffgruppe) auf das Vorhandensein der Hydroxylgruppe zurückgeführt werden kann (Hypothese = Regel), kann die Vorhersage/Prognose abgeleitet werden, dass dann Butanol (Stoff 4 der Stoffgruppe der Alkanole) ebenfalls wasserlöslich ist. Dieser Erkenntnisgang, bei dem von der Regel auf einen Einzelfall geschlossen wird, ist deduktiv.<sup>47</sup> Diese Vorhersage/Prognose muss im nächsten Schritt überprüft werden.

### 4. Schritt: Überprüfung bzw. Präzisierung der Vorhersage/Prognose aus Schritt 3

Die Vorhersage/Prognose, dass Butanol (Stoff 4 der Stoffgruppe der Alkanole) ebenfalls wasserlöslich ist, kann entweder experimentell überprüft oder noch weiter überdacht werden, indem weitere Strukturmerkmale berücksichtigt werden, die die Wasserlöslichkeit der Alkanole beeinflussen könnten. Die beiden Varianten werden zur besseren Vergleichbarkeit in Tab. 5 gegenübergestellt und anschließend beschrieben.

Tab. 5: Gegenüberstellung des regressiv- und progressiv-reduktiven Vorgehens bei der Betrachtung der Wasserlöslichkeit von Butanol

| Überprüfung bzw. Präzisierung der im Schritt 3 abgeleiteten Vorhersage/Prognose                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variante 1: regressiv-reduktives Vorgehen                                                                                                                                                                           | Variante 2: progressiv-reduktives Vorgehen                                                                                                                                     |
| Experimentelle Überprüfung                                                                                                                                                                                          | Präzisierung durch Berücksichtigung weiterer Strukturmerkmale                                                                                                                  |
| Ergebnis der Überprüfung führt zur Falsifikation (= verblüffende Tatsache): Butanol ist nur sehr gering wasserlöslich (Bildung von zwei Phasen); Suche nach der Ursache dafür, dass Butanol nicht wasserlöslich ist | Suche nach Strukturmerkmalen, die die Wasserlöslichkeit der Stoffgruppe beeinflussen: zunächst auf der Ebene der Stoffgruppe und dann auf der Ebene des Einzelstoffes (Tab. 6) |
| Die geringe Wasserlöslichkeit von Butanol wird mit der Länge des Alkylrestes (R) erklärt = Schluss v. Erscheinung (Eig) auf das Wesen (StrM)                                                                        | Die geringe Wasserlöslichkeit von Butanol wird anhand der Länge des Alkylrestes (R) prognostiziert = Schluss v. Wesen (StrM) auf die Erscheinung (Eig)                         |
|                                                                                                                                                                                                                     | Überprüfung durch Experiment oder anhand von Daten (Tabellenwerk)                                                                                                              |

<sup>47</sup> Nach Peirce ist dies der erste Denkschritt der qualitativen Induktion, indem von der retroduktiv gewonnenen Hypothese echte bedingte Vorhersagen abgeleitet werden. Nach Storz/Wirsing (1987) ist dies der Einstieg in den progressiv-reduktiven Erkenntnisgang, der im Schritt 4 progressiv-reduktiv weitergeführt werden kann.

1. Variante: regressive Reduktion (experimentelle Überprüfung der im Schritt 3 abgeleiteten Vorhersage/Prognose)

Die experimentelle Überprüfung würde die verblüffende Tatsache hervorbringen (Falsifikation der Vorhersage/Prognose), dass Butanol nicht bzw. nur sehr gering in Wasser löslich ist. Auch dieses Phänomen kann wieder wie im 2. Schritt anhand der Strukturmerkmale (Länge des Alkylrestes) erklärt werden. Die Denkrichtung dieses Erkenntnisganges zur Begründung dieses Phänomens ist entsprechend eine regressive Reduktion (bzw. Abduktion), da wieder von der Erscheinung auf das Wesen geschlossen wird.

2. Variante: progressive Reduktion (Präzisierung der im Schritt 3 abgeleiteten Vorhersage/Prognose)

Die im Schritt 3 begonnene Herleitung der Vorhersage/Prognose könnte auch fortgesetzt werden, indem die nächsten Denkschritte zunächst auf der Ebene der Stoffgruppe und dann auf der Ebene des Einzelstoffes vollzogen werden (Tab. 6). Auf der Ebene der Stoffgruppe wird allgemein die Hydroxylgruppe als Strukturmerkmal der Stoffeigenschaft „Wasserlöslichkeit“ und der Alkylrest der Stoffeigenschaft „Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln (Kohlenwasserstoffen)“ zugeschrieben. Die Tatsache, dass Butanol im Vergleich zu Methanol, Ethanol und Propanol den längsten Alkylrest hat, der hydrophobes (wasserabweisendes) Wechselwirkungspotenzial aufweist, lässt den Schluss zu, dass die Wasserlöslichkeit von Butanol eher gering ausfällt. Damit kommt man zu einer anderen Vorhersage/Prognose als im Schritt 3, die dann experimentell oder anhand von Daten aus Tabellenwerken überprüft wird. Für die Beurteilung der Wasserlöslichkeit von Alkanolen (auch Alkohole genannt) ist also deren gesetzmäßige Abhängigkeit von der Länge des Alkylrestes zu berücksichtigen. Der Wahrheitswert dieser theoretischen Überlegungen über die Auswirkungen der betrachteten Strukturmerkmale (Hydroxylgruppe versus Alkylgruppe) auf die damit in Verbindung stehende Stoffeigenschaft (Wasserlöslichkeit) könnte abschließend erhöht werden, wenn die aus der theoretisch besser fundierten Hypothese (Die Wasserlöslichkeit von Alkanolen ist abhängig von der Länge des Alkylrestes) abgeleitete Vorhersage/Prognose (Butanol hat geringe Wasserlöslichkeit) experimentell oder anhand von Daten in Tabellenwerken verifiziert wird.

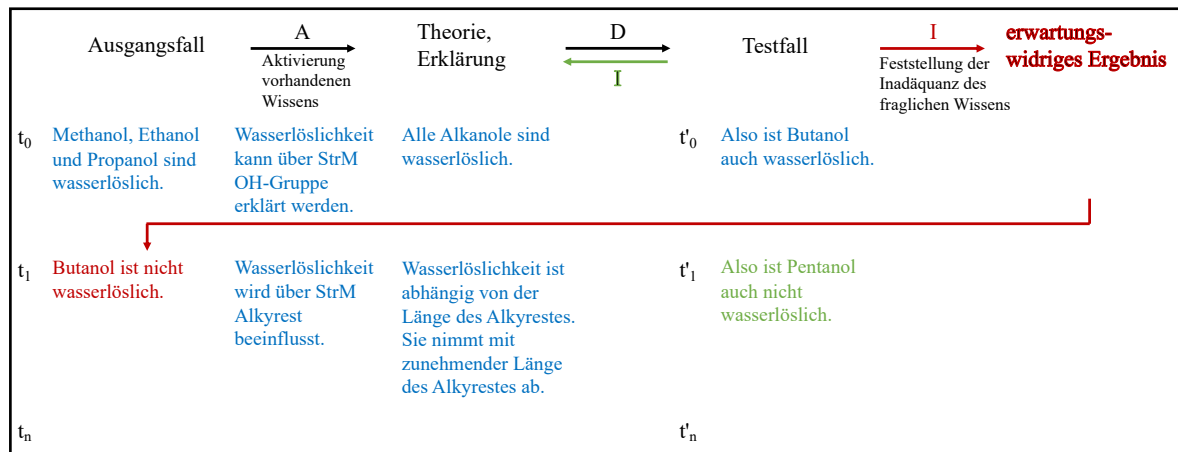
Tab. 6: Gegenüberstellung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Stoffgruppe der Alkanole und einzelner Verbindungen

|                          | Strukturmerkmale                                                                                               | Eigenschaften                                                                                   |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stoffgruppe der Alkanole | Hydroxylgruppe (funktionelle Gruppe mit polarer Atombindung) hat hydrophiles Wechselwirkungspotenzial          | Wasserlöslichkeit                                                                               |
|                          | Alkylrest (mit unpolarer Atombindung) hat hydrophobes Wechselwirkungspotenzial; Länge des Alkylrestes variiert | Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln (Kohlenwasserstoffen)                                 |
| Methanol (Einzelstoff)   | Alkylrest am kürzesten ( $-\text{CH}_3$ )                                                                      | wasserlöslich                                                                                   |
| Ethanol (Einzelstoff)    | Alkylrest etwas länger als bei Methanol ( $-\text{C}_2\text{H}_5$ )                                            | wasserlöslich                                                                                   |
| Propanol (Einzelstoff)   | Alkylrest etwas länger als bei Ethanol ( $-\text{C}_3\text{H}_7$ )                                             | wasserlöslich, aber bereits schlechter als Ethanol                                              |
| Butanol (Einzelstoff)    | Alkylrest etwas länger als bei Propanol ( $-\text{C}_4\text{H}_9$ )                                            | schlecht wasserlöslich, aber besser löslich in organischen Lösungsmitteln (Kohlenwasserstoffen) |

Dieses Vorgehen, bei dem vom Wesen (hier: Strukturmerkmal) auf die Erscheinung (hier: Wasserlöslichkeit als Stoffeigenschaft) geschlossen wird, ist eine progressive Reduktion. Da dieser Schluss darin besteht, dass die betrachteten Fälle unter die noch ungesicherte Theorie subsumiert werden können und diese Theorie die betrachteten Fälle am besten erklärt („Schluss auf die beste Erklärung“ Minnameier 2005: 189–190), ist er induktiv und wird Peirce zufolge als „qualitative Induktion“ bezeichnet.

„Der Schluss besteht in der Induktion (i. S. einer Projektion) der theoretischen Merkmale (Qualitäten) in die relevanten Fälle, d.h. den der Abduktion zugrundeliegenden Ausgangsfall ( $t_0$ ), die Testfälle ( $t_0'$ ,  $t_0''$ ,  $t_0'''$ , ...) und alle ungetesteten Fälle ( $t_1$ ,  $t_2$ , ...,  $t_n$ ). [...] In der gleichzeitigen Feedback- und Feed-forward-Funktion speziell der Induktion (aber auch der anderen Inferenzen; siehe Minnameier, 2002) offenbart sich der dynamische Charakter dieser Erkenntnistheorie, denn in zukünftigen Situationen muss die Theorie wieder angemessene Erklärungen erlauben und adäquate Verhaltensadaptionen nach sich ziehen. Andernfalls hätte man es wieder mit einer verblüffenden Ausgangslage zu tun und müsste sich vor diesem Hintergrund abermals eine neuartige Theorie erschließen (vgl. CP 5.524).“ (ebd.: 189–190)

Das dynamische Zusammenwirken der drei Schließverfahren (Abduktion, Deduktion und Induktion) in dem skizzierten Beispiel zur Ergründung der Wasserlöslichkeit der Alkanole wird in Anlehnung an Minnameier (ebd.: 190) in Abb. 6 noch einmal für zwei Zyklen in vereinfachter Form veranschaulicht.



A: Abduktion; D: Deduktion; I: Induktion

Abb. 6: Zusammenwirken abduktiver, deduktiver und induktiver Inferenzen im Erkenntnisprozess bei der Erarbeitung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen zur Ergründung der Wasserlöslichkeit der Alkanole

Über die Darstellung der aufeinanderbauenden Denkschritte zur Erarbeitung der naturwissenschaftlichen Zusammenhänge der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Alkanole wird deutlich, dass Wege der Erkenntnisgewinnung in Lernprozessen vielschichtig sind. Prämissen eines deduktiven Vorgehens können bspw. Regeln sein, die aus der Konklusion eines abduktiven Vorganges gewonnen wurden (vgl. Storz/Wirsing 1987: 61–62 zur Kombinierbarkeit der methodischen Linienführungen).

„Häufig wird es so sein, daß [sic] die hypothetischen Aussagen über die Struktur eines Stoffes als Ausgangspunkt für die progressiv-reduktive Ableitung prüfbarer Folgerungen (zur Erhöhung des Wahrheitswertes der hypothetischen Aussage) erst einmal auf regressiv-reduktive Weise gewonnen werden müssen.“ (ebd.: 61)

Die Abduktion ist somit der kreative Prozess zur Theoriegewinnung bzw. -erweiterung, die nicht nur induktiv gewonnen werden kann (vgl. CP 5.171, 1903 in Minnameier 2004: 78). In Lehr-Lernprozessen kann die Inszenierung dieses Vorgehens daher als besonders lernhaltig erachtet werden und dazu beitragen, nicht nur neues Wissen zu generieren und zu prüfen, sondern auch in neuen Kontexten anzuwenden (vgl. Minnameier 2005: 185).

Verschiedene Wege der Erkenntnisgewinnung zu ermöglichen bedeutet, anhand von lebens- bzw. arbeitsweltbezogenen Problemstellungen Aufgabenstellungen (Lerngelegenheiten) zu entwickeln, die unter Berücksichtigung der Lernvoraussetzungen Lernende im Lösungsprozess leiten. Lehramtsstudierende dazu zu befähigen, ist Aufgabe der Fachdidaktiken. Wie auf hochschuldidaktischer Ebene Lehr-Lern-Settings für Lehramtsstudierende gestaltet werden können, die die Ganzheitlichkeit des zu erlernenden komplexen Handelns einer Lehrkraft abbilden, wird im folgenden Kapitel (s. Kap. 6.4.3, S. 58) gezeigt.

### 6.4.3 Gestaltung von Lerngelegenheiten zum ganzheitlichen Lernen komplexen Handelns

Für den fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzerwerb ist die Erweiterung bestehender kognitiver Strukturen (im Sinne von „Wissen 2“ nach Neuweg 2014: 584–585; s. Kap. 6.2, S. 35) notwendig. Die Schaffung von Lerngelegenheiten ist wiederum an Aufgaben gebunden, die möglichst realitätsnah und kognitiv aktivierend sind. Realitätsnahe Aufgaben sind Aufgaben, die an realitätsbezogene Problemstellungen geknüpft sind, wie sie bereits auf S. 38 genannt wurden. Dazu zählen:

- anhand von Lehrplanvorgaben eine Inhalts- und Materialauswahl treffen
- Unterrichtsmaterialien (z. B. Lehrbuchtexte) auf ihre Eignung prüfen und ggf. optimieren
- zielführende Fragestellungen entwickeln
- Sachverhalte adressatengerecht erklären
- auf Schülerfehlkonzepte angemessen reagieren zu können

Mit dem Anspruch die Ganzheitlichkeit des zu erlernenden komplexen Handelns angemessen zu berücksichtigen, sollten Aufgaben in den Kontext beruflicher Handlungssituationen gestellt werden, damit Lernenden (hier: Studierenden) die Relevanz der anzueignenden Inhalte verdeutlicht wird (vgl. Leuders 2020; van Merriënboer/Jelsma/Paas 1992; in Bezug auf das berufliche Lehren und Lernen vgl. Niethammer 2006; Hartmann/Niethammer 2015; Niethammer/Schweder 2018<sup>48</sup>). Tätigkeitsfelder ergeben sich aus den verschiedenen Ebenen der Bildungsgestaltung (Makro-, Meso-, Mikroebene). Sie durchdringen und bedingen einander, sodass sich Gestaltungsanforderungen in Lehr-Lernkontexten aus dem Bedingungsgefüge dieser Ebenen des Bildungssystems ergeben (in Bezug auf die Berufsbildung vgl. ebd.: 167–168; Bylinski 2016: 6). Im Fokus der weiteren Betrachtungen stehen Gestaltungsaspekte fach- und berufsdidaktischer Lehr-Lern-Settings, die der Mikroebene zuzuordnen sind.

Bei der Entwicklung von Aufgabenstellungen zur Ausbildung von Lehrkräften spielen folgende Aspekte eine Rolle (vgl. Niethammer 2006; Hartmann/Niethammer 2015; van Merriënboer/Kirschner 2013: 2 in Leuders 2020: 8 zu Prämissen des *4C/ID*-Modells (*Four-Component-Instructional-Design-Modell*):

- Lernsituationen/-gelegenheiten/-aufgaben sollten möglichst viele – wenn nicht alle – Teilkompetenzen einer authentischen Anforderungssituation (constituent skills) widerspiegeln, mit dem Ziel des Erwerbs von Kompetenzen, die damit verbundenen Dispositionen von Wissen, Fertigkeiten und Haltungen (knowledge, skills, attitudes) umfassen

---

<sup>48</sup> unter dem Blickwinkel inklusiver Bildung als Gegenstand der Lehre und Forschung

- die Sequenzierung der Aufgaben orientiert sich entlang der Phasen einer vollständigen Handlung (vgl. Niethammer 2006: 284–286<sup>49</sup>; Niethammer/Schweder 2018: 174); die damit verbundenen (teilweise simultan benötigten) Teilkompetenzen sind entsprechend zu aktivieren und zu koordinieren (van Merriënboer/Kirschner 2013: 2 in Leuders 2020: 8; vgl. Niethammer 2006: 271–286<sup>50</sup>)
- Handeln in der beruflichen Praxis der Lehrenden hat Problemlösecharakter und erfordert einen Transfer von den Lernsituationen der Ausbildung auf die jeweils vorliegende Problemsituation

Es ist eine Art Baukastenprinzip, nach der Leuders (2020: 9) ein Beispiel ausführt, das sehr treffend veranschaulicht, wie vielfältig Kompetenzaspekte<sup>51</sup> sind, die während der Lehramtsausbildung vorkommen können, aber in getrennt voneinander erlebten Lerngelegenheiten. Der Umstand, dass Lehramtsstudierende oftmals Schwierigkeiten haben, die getrennt im Studium gelernten Kompetenzaspekte in der Praxis zusammenzuführen (vgl. Körner 2010 in Leuders/Wessel 2020: 118), ist Anlass für die Forderung, dass die unterschiedlichen Aspekte in einer Lerngelegenheit systematisch integriert werden“ (Leuders 2020: 9), um besser auf das komplexe Handeln im Beruf vorzubereiten. D. h. es geht darum, den Wissenstransfer zu fördern, indem Lerngelegenheiten nicht nur in der Logik in sich geschlossener Teilprobleme und deren Reflexion aus der isolierten Perspektive einzelner Fachwissenschaften konstruiert werden, sondern in der Logik miteinander in Beziehung

<sup>49</sup> Niethammer (ebd.) bezieht sich zwar auf Aufgaben (Lern- Arbeits- und Gestaltungsaufgaben, kurz: LAGA), die für den Unterricht in der beruflichen Bildung u. a. nach diesem Gesichtspunkt (der Folgerichtigkeit der psychischen Struktur der Handlungsregulation) zu konzipieren sind, aber dieser Ansatz ist analoger Weise auf hochschuldidaktischer Ebene übertragbar.

<sup>50</sup> Die von Niethammer (ebd.: 286) aufgezeigte Folgerichtigkeit der Lehr-Lernschritte für den Unterricht gemäß der didaktischen Unterrichtsfunktionen (Motivation/Zielorientierung, Ersterarbeitung, Festigung, Kontrolle), der psychischen Struktur der Handlungsregulation sowie der logischen Schlüsse sind auf hochschuldidaktischer Ebene mit Lehramtsstudierenden entsprechend zu reflektieren, wenn es um die Planung und Konzeption von Unterricht geht. Dazu sind ebenfalls Aufgabenstellungen zu entwickeln, über die die dafür erforderlichen Teilkompetenzen aktiviert und koordiniert werden können. „Die Studierenden müssen mit ‚Lern-, Arbeits- und Gestaltungsaufgaben‘ konfrontiert werden, die ihrem zukünftigen Berufsfeld, der Arbeitswelt des Bildungsgestalter, entlehnt sind. Das heißt, die Studierenden entwerfen und realisieren Bildungskonzepte bzw. werden an Gestaltungsaufgaben in bestehenden Bildungsnetzwerken beteiligt. [...] Die Studierenden entwickeln, in Kopplung von praktischer Durchführung und theoretischer Reflexion, methodisch-didaktisches Know-how. Sie erfahren darüber eine Lernkultur, wie sie auch an den Lernorten beruflicher Bildung zu etablieren ist. Diese Lernkultur steht z. T. konträr der erlebten Sozialisation in der Schule gegenüber“ (ebd.: 264).

<sup>51</sup> Folgende Aspekte kommen in dem Beispiel in unterschiedlichen Semestern und Kontexten zum Tragen: 1. Konzept eines schulrelevanten Themas in einer Fachveranstaltung; 2. die mit dem Thema verbundenen Lernschwierigkeiten/Verständnisprobleme bei Lernenden in der Fachdidaktik; 3. die sinnstiftende Nutzung von Fachliteratur im Rahmen einer Übung, um bspw. Ansatzpunkte bei der Diagnose von Lernschwierigkeiten zu finden; 4. Testverfahren zur reliablen Lernstandsmessung in den Bildungswissenschaften; 5. Erfahrung im Praktikum, bei der Gelerntes wenig Anwendung findet; 6. Vereinzelt sammeln Studierende Erfahrungen über Schülerdenken bei der Betreuung von Nachhilfesülern und erkennen so die Relevanz Individueller Sichtweisen von Schülern; 7. im Referendariat mögen manche durch Rückmeldungen des Mentors lernen, welches Verhalten bei einem Diagnosegespräch zielführend ist, ohne sich selbst die Zeit zu nehmen, das Handeln in Anlehnung an die entsprechende Fachliteratur zu reflektieren.



gesetzten Teilproblemen. Letzteres mag nicht effizient sein, wenn es um die Erreichung der Teilziele geht, aber mag sich langfristig positiv auf den Wissenstransfer auswirken, was Kirschner und van Merriënboer (2008:248) als „transfer paradox“ bezeichnen (vgl. ebd.:245).

„This is the transfer paradox (van Merriënboer & de Croock, 1997), where methods that work best for reaching isolated, specific objectives are not best for reaching integrated objectives and transfer of learning.“  
(ebd.:245)

Mit dem 4C/ID-Modell zeigen Kirschner & van Merriënboer (ebd.), wie eine systematische Integration von Lerngelegenheiten aussehen kann. Dieses Modell dient als Blaupause zur Erstellung eines umfassenden Lehr-Lernkonzeptes, das aufeinander aufbauende Lerneinheiten mehrerer Wochen und Monate umfassen kann. Es besteht aus vier grundlegenden Komponenten:

1. Lernsituationen/-gelegenheiten/-aufgaben (*learning tasks*)
2. Unterstützende Informationen (*supportive information*)
3. Steuerung und Anleitung bzw. prozedurale Informationen (*procedural information*)
4. Übungen bzw. Einüben von Teilaufgaben (*part-task practice*)

Wie sich diese Komponenten in diesem Modell einordnen, zeigt das Schema in Abb.7. Entgegen der organisatorischen Trennung von universitärer und schulpraktischer Ausbildung knüpfen nach diesem Modell Aufgaben im Studium (im Sinne von Lerngelegenheiten) bereits an Handlungssituationen der Praxis an (dargestellt als Kreis, in dem das Dreieck die Aufgabe symbolisiert). Lerngelegenheiten mit diesem Anspruch zu entwickeln<sup>52</sup>, setzt eine umfassende Analyse und Systematisierung der in der Praxis vorkommenden Handlungssituationen voraus (in Bezug auf Arbeitsanalysen im Chemiesektor vgl. Niethammer 2006:35–139; Frank 2014:63–78; in Bezug auf das fachdidaktische Wissen für das Lehrerhandeln Gramzow/Riese/Reinhold 2013:20–25; Hartmann/Niethammer 2015:38–49).

In Anlehnung an Gramzow et al. (2013) haben Hartmann und Niethammer (2015) eine Anforderungsanalyse für das fachdidaktische Wissen von Lehrkräften im berufsbildenden Bereich vorgenommen. Abb.8 zeigt in differenzierter Form die Dimensionen berufs- bzw. fachdidaktischen Wissens. Zur Einordnung der Anforderungen, die mit dem hochschuldidaktischen Lehr-Lernkonzept in dieser Arbeit (s. Kap.11.5, S.152) verbunden sind, wird auf die drei Facetten Zielanalyse und Zielformulierung, Inhaltsstrukturierung, -bewertung, -auswahl und methodische Gestaltung mit Blick auf die Anforderungen bei der Planung von

<sup>52</sup> Kunina-Habenicht (2020:120–121) verweist auf innovative Lehrkonzepte, die bereits auf eine stärkere Verknüpfung der Theorie und Praxis abzielen. Darunter zählen bspw. Lehr-Lern-Labore, „meistens in Mathematik bzw. naturwissenschaftlichen Fächern (Völker und Trefzger 2010). Hier können Studierende im geschützten Rahmen unter fachlicher Anleitung Schüler/-innen beim Experimentieren oder Problemlösen anleiten, das eigene Verhalten reflektieren und zum Teil auch eigene Lernumgebungen oder Experimente entwickeln.“ (ebd.: 120–121)

Unterricht näher eingegangen. Die mit diesen Facetten verbundenen Arbeits- und Denkschritte (Handlungswissen) stehen in enger Beziehung mit dem dazu erforderlichen handlungsleitenden und -begründenden Wissen (Sachwissen) und sind entsprechend auf einer Achse abgebildet (s. Abb. 8).

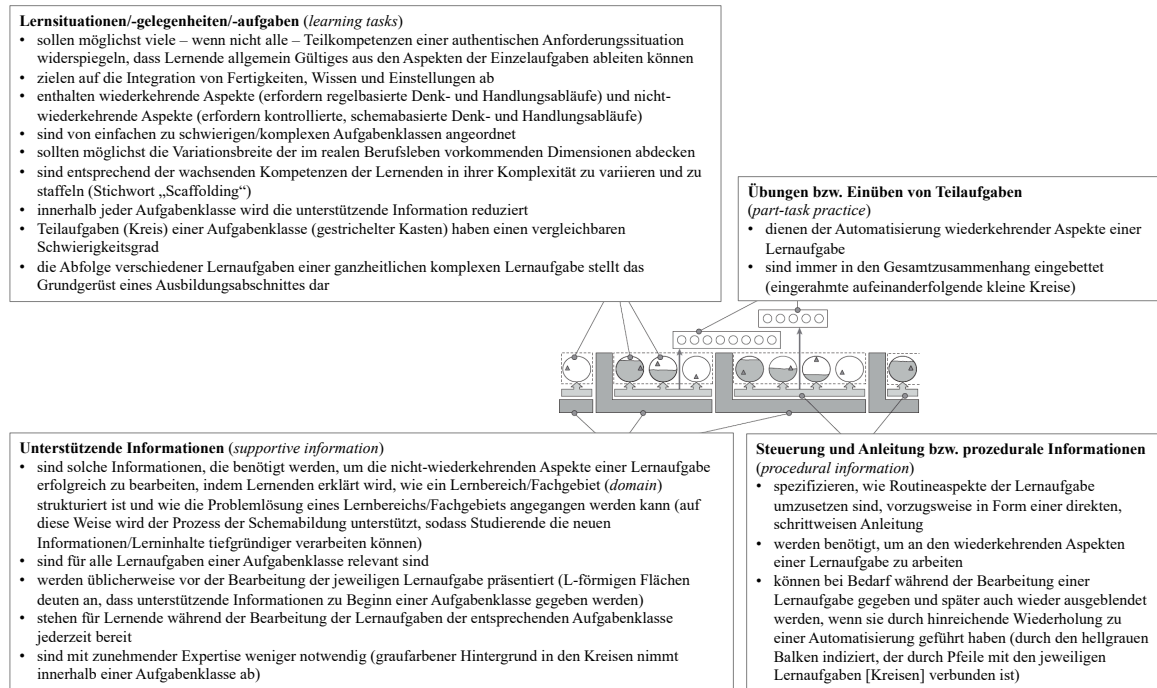


Abb. 7: Blaupause des 4C/ID-Modells (Kirschner/van Merriënboer 2008:248); eigene Darstellung

Eine adressatenorientierte Inhaltsauswahl setzt eine differenzierte Zielanalyse und -formulierung voraus. Letztere wird einerseits auf der Makroebene von den Bildungsstandards und Lehrplänen und andererseits auf der Mikroebene u. a. von den Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler determiniert. Ist die Inhaltsauswahl<sup>53</sup> für eine oder auch mehrere Unterrichtseinheiten getroffen, bedarf es einer differenzierten Inhaltsanalyse, die eine sachlogische Strukturierung (s. Kap. 6.4.1, S. 40) und Auswahl der konkreten Inhalte einschließt. Auf berufsbildender Ebene sind an dieser Stelle die Bezüge zu arbeits- bzw. bildungsrelevanten Inhalten herzustellen. Dazu müssen Arbeitsaufgaben und -prozesse analysiert (vgl. Niethammer 2006: 246–265) und mit dem erforderlichen arbeitsaufgabenrelevanten Handlungs- und Sachwissen untersetzt werden. Je tiefgründiger das dazugehörige Fachwissen ausgeprägt ist, desto besser sind Lehrkräfte/Lehramtsstudierende in der Lage dieses arbeits- und lebensweltrelevante Wissensnetzwerk offenzulegen (vgl. Hartmann/Niethammer 2015: 42).

<sup>53</sup> Die Inhaltsauswahl ist auch als ein mehrstufiger Vorgang zu sehen, der mit der Themenauswahl beginnt.

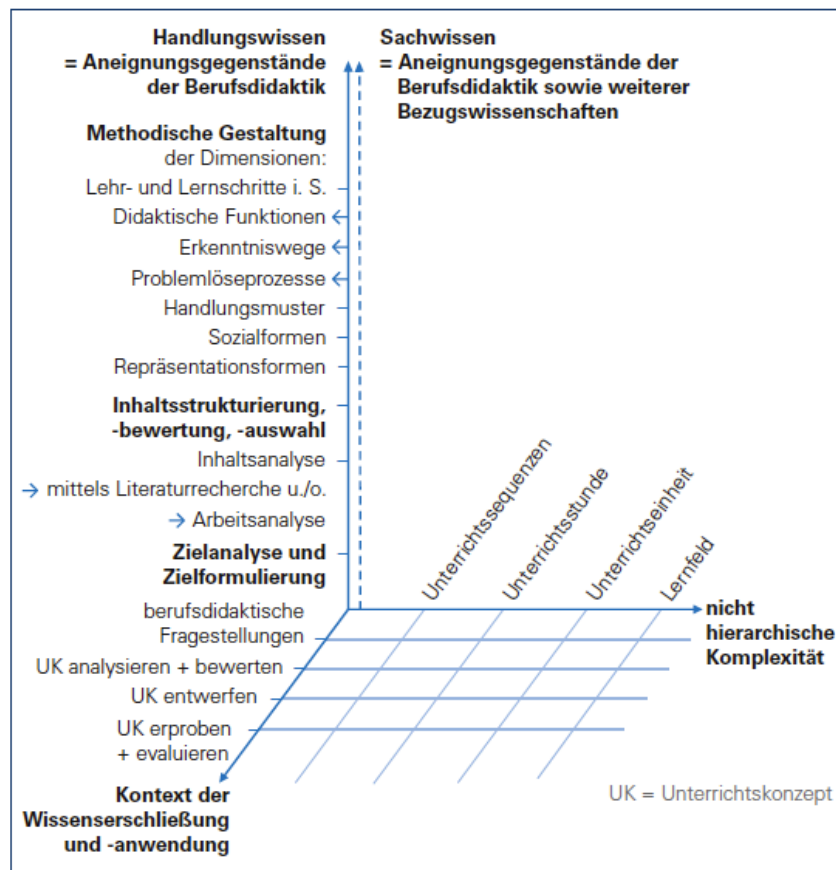


Abb. 8: Modellierung berufsdidaktischen Wissens inklusive des berufswissenschaftlichen Wissens (Hartmann/Niethammer 2015: 46)

Für die weiteren Überlegungen zur methodischen Gestaltung des Unterrichts sind die Inhalte didaktisch zu reflektieren nach (vgl. ebd.: 42):

- der Relevanz der Inhalte und Relationen für die berufliche Aufgabe bzw. den Lebensweltkontext
- dem Bekanntheitsgrad der Inhalte und Relationen (abhängig vom Vorwissen der Lernenden)
- den Barrieren<sup>54</sup>, die mit dem bewussten Wahrnehmen und Verstehen der Inhalte und Relationen verbunden sind.

<sup>54</sup> Z. B. Dörner (1974) unterscheidet: Interpolationsbarriere (eindeutiges Ziel und bekannte Mittel), Synthesebarriere (eindeutiges Ziel, aber unbekannte Mittel) und dialektische Barriere (Ziel selbst ist unklar und unscharf bestimmt). Eichhorn (2006: 125–129) betrachtet diese Barrieren bspw. im Kontext von beruflichen Arbeitsaufgaben im Laborbereich des werkstoffbezogenen Forschungssektors. Dort kommen in besonderem Maße dialektische Barrieren zum Tragen, denn die mit Forschungsaufträgen verbundenen Problemstellungen weisen nur sehr allgemein und global gefasste Ziele auf. Teil der Problemlösung ist die „sukzessive Zielkonkretisierung“ Eichhorn (ebd.: 128). Dieser Prozess erfordert, u. a. produktives Denken. Dialektische Barrieren werden in diesem Prozess in Interpolations- und Synthesebarrieren umgeformt.

So sind unterschiedliche Erkenntnisprozesse denkbar (s. Kap.6.4.2, S.47), die entsprechend zu motivieren und initiieren sind. Je nach Vorwissen der Lernenden sind Lernbarrieren zu antizipieren, für die differenziert angelegte Lerngelegenheiten und demzufolge entsprechende Lernhilfen und Repräsentationen des Sachverhaltes erforderlich sind. Um die Aspekte der methodischen Gestaltung, wie sie in Abb.8 aufgeführt sind, theoriegeleitet auswählen zu können, müssen Lehramtsstudierende über Sachwissen aus anderen Bezugswissenschaften verfügen. Dieses Sachwissen umfasst „Elemente der Erkenntnistheorie und Logik, der Wahrnehmungstheorie, Erziehungswissenschaft und Soziologie, Pädagogischen Psychologie, Kommunikationswissenschaft und beinhaltet neben den Fachinhalten auch Handlungslogiken sowie typische Arbeits- und Denkweisen der jeweiligen korrespondierenden Fachwissenschaften“ (Hartmann/Niethammer 2015:43–44).

Welche Rolle bei der Wissensaneignung und -vermittlung Lehrbuchtexte spielen, wird im nächsten Kapitel ausführlich dargelegt. Dazu werden Merkmale von Fachtexten in Lehr-Lernkontexten herausgestellt, auf deren Grundlage Gütekriterien zur Verständlichkeit von in Texten dargelegten Sachverhalten diskutiert werden können. Da englische Lehrbuchtexte in besonderer Weise Gütekriterien zur Inhaltsstruktur erfüllen (vgl. Düwel 2019; Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019; Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck sowie Kap.8, S.97), werden die Merkmalsausprägungen von deutschen und englischen Lehrbuchtexten im Vergleich betrachtet.



## **7 Die Rolle von Lehrbuchtexten bei der Wissensaneignung und Wissensvermittlung**

Fachtexte spielen bei der Wissensaneignung und -vermittlung eine wesentliche Rolle. Bei der Auswahl geeigneter Lehrbuchtexte zur Wissensaneignung und Inhaltsaufbereitung auf der Seite der Lehrenden sowie beim Einsatz in Lehr-Lernkontexten sind verschiedene Kriterien zu berücksichtigen: das Thema, die daran geknüpfte Problemstellung aus der Lebens- bzw. Arbeitswelt, die damit zu klärenden Inhalte und der methodische Einsatz von Fachtexten im Prozess der Wissensaneignung (im Wesentlichen bei der Ersterarbeitung und Festigung). Beim Einsatz von Fachtexten im Prozess der Wissensaneignung in Lehr-Lernkontexten stellt sich weiterführend die Frage, wie diese Texte beschaffen sein bzw. aufbereitet werden müssen, damit sie an die fachlichen und sprachlichen Voraussetzung der Adressaten (hier Schülerinnen und Schüler) angemessen anknüpfen. Nur so kann gewährleistet werden, dass die zu klärenden Sachverhalte anhand der Texte erschlossen werden können.

Um zunächst eine entsprechende Auswahl treffen zu können, müssen Merkmale betrachtet werden, nach denen der Schwierigkeitsgrad und die Verständlichkeit von Fachtexten beurteilt werden können. Im Kap. 7.1 werden die Merkmale diskutiert, die dafür sprechen, dass englische Texte adressatenfreundlicher und leichter verständlich sind, worüber der Ansatz, englische Texte zu verwenden, begründet wird. Daran anknüpfend werden Gütekriterien an Lehrbuchtexte aus berufs-/fachdidaktischer Sicht betrachtet, nach denen eine Textauswahl erfolgt und die auch für die Textauswahl der vorliegenden Studie zugrunde gelegt wurden.

### **7.1 Merkmale von Fachtexten in Lehr-/Lernkontexten**

Grundlage für die Betrachtung der Merkmalsausprägungen deutscher und englischer Fachtexte ist die Textsortentypologie nach Göpferich (1995). Diese Typologie ist speziell auf die Textsorten zugeschnitten, die im naturwissenschaftlich-technischen Bereich eine Rolle spielen. Göpferich gründet diese Typologie auf Erkenntnissen der Fachsprachenforschung, die sich seit den 70er Jahren intensiv mit Gemeinsamkeiten und Unterschieden allgemeinsprachlicher und fachlicher Texte auseinandergesetzt hat. Hintergrund dieser sprachwissenschaftlichen Auseinandersetzung mit fachbezogenen Texten waren der Bedarf an Übersetzungen von Fachtexten und an Lehr-/Lernkonzepten für den fachbezogenen Fremdsprachenunterricht.

Göpferich (ebd.) wendet ihre Typologie auf Textsorten in Naturwissenschaft und Technik an, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen deutschen und englischen Textsorten herauszustellen. Ihr Textkorpus bezieht sich auf den KfZ-Bereich. Die Parallelen zu Fachtexten im Chemiesektor wurden in Düwel (2003: 50–73) aufgezeigt. Fachtexte im Chemiesektor wurden demnach nach sprachlichen Gesichtspunkten analysiert, um dann

eine begründete Auswahl berufstypischer Texte<sup>55</sup> (Bedienungsanleitungen, Produktdatenblätter, Produktbeschreibungen, Seminarunterlagen und Fachzeitschriftenartikel) für den chemiebezogenen Englischunterricht zu treffen. Einen besonderen Stellenwert kamen dort den Bedienungsanleitungen zu.

In den folgenden Abschnitten werden aus den Ausführungen in Göpferich (1995) sowie in Düwel (2003: 50–73) die wichtigsten Merkmale der Textsorte herausgestellt, die zur Wissensaneignung in der vorliegenden Untersuchung eingesetzt wird, nämlich dem Lehrbuch. Besondere Berücksichtigung finden die Lehrbücher, die im tertiären Bereich zum Einsatz kommen. Auf die anderen Textsorten wird nur soweit eingegangen, wie die Unterschiede zur ausgewählten Textsorte herauszustellen sind. Um die typologische Einordnung von Lehrbüchern im Vergleich zu anderen Fachtextsorten nachvollziehen zu können, wird im Kap. 7.1.1 zunächst Göpferichs (1995) Textsortentypologie naturwissenschaftlich-technischer Textsorten eingeführt.

### 7.1.1 Typologisierung von Textsorten in Naturwissenschaft und Technik

Nach Göpferichs (ebd.: 124) Textsortentypologie von Textsorten in Naturwissenschaft und Technik werden Lehrbuchtexte auf der obersten Hierarchiestufe (I) den didaktisch-instruktiven Fachtexttyp zugeordnet in Abgrenzung zu juristisch-normativen (z. B. Normschriften), fortschrittsorientiert-aktualisierenden (z. B. Fachzeitschriftenartikel) und wissenszusammenstellenden Fachtexttypen (z. B. Enzyklopädien). „Die zu typologisierenden Einheiten stellen die Globaltexte dar“ (ebd.: 123), d. h., Texte, die eine autonome kommunikative Funktion (eine Funktion in einem außersprachlichen Kontext) erfüllen und nicht einen Teil eines größeren textuellen Ganzen bilden (ebd.: 57). Zur Unterscheidung dieser vier Fachtexttypen wird deren kommunikative Funktion weiter präzisiert, indem man nach der Art der Information und dem Zweck, zu dem die Information vermittelt wird, fragt. Die Problematik, die kommunikative Funktion von Fachtexten eindeutig zu bestimmen<sup>56</sup>, um sie dann entsprechend hierarchisieren zu können, löst Göpferich (ebd.: 125) durch:

1. die Begrenzung des Geltungsbereiches (informative Texte, d. h. Texte mit Mitteilungsfunktion)
2. die Angabe konkreter Differenzierungskriterien für jede Typologiestufe, durch die der Abstraktionsgrad der kommunikativen Funktionen auf den einzelnen Stufen fassbar wird
3. die Festlegung der zu typologisierenden Einheiten auf Globaltexte, die, aufgrund ihres hohen Abstraktionsgrades, jeweils nur eine der von Göpferich (ebd.) gewählten kommunikativen Funktionen erfüllen können.

<sup>55</sup> Die berufstypischen Arbeitsmaterialien wurden von der Florena Cosmetics GmbH (heute: Beiersdorf Manufacturing Waldheim) zur Verfügung gestellt. Die Auswahl bezog sich auf die Arbeitsmaterialien, mit denen insbesondere die Laboranten im Arbeitsalltag konfrontiert sind.

<sup>56</sup> Göpferich zitiert dazu Schmidt (1978: 55 in ebd.: 123), der die Problematik der Hierarchisierung kommunikativer Funktionen damit begründet, dass Texte in ein und derselben Situation verschiedene kommunikative Funktionen (z. B. überzeugen und warnen) oder Teile eines Textes verschiedene Teilfunktionen, die im Widerspruch zu der Textfunktion des gesamten Textes stehen, erfüllen können.

Die vier Fachtexttypen im Typologieschema (s. Abb. 9) sind von links nach rechts tendenziell nach abnehmendem Fach(sprach)lichkeits- und Abstraktionsgrad angeordnet. In dieser Verlaufsrichtung nimmt auch der Adressatenkreis zu, wobei den juristisch-normativen und den wissenszusammenstellenden Texten ein gewisser Sonderstatus zukommt. „Der Fachtext-‘Gehalt’ verhält sich [somit] umgekehrt proportional der Anzahl von Personen, die die Aussage des Textes versteht“ (Gerbert 1970: 26; vgl. Göpferich 1995: 125). Lehrbuchtexte sollten damit gegenüber Fachzeitschriftenartikel aufgrund des geringeren Fachtext-‘Gehalts’ für einen größeren Adressatenkreis verständlich sein.

Der Sonderstatus der wissenszusammenstellenden Texte wird im Typologieschema durch einen breiten senkrechten Balken von den anderen drei Texttypen angezeigt, um „die Selektion und Komprimierung [anzudeuten], denen die Informationen aus den Textsorten links des Balkens unterzogen werden, wenn sie in einem wissenszusammenstellenden Text aufgenommen werden“ (ebd.: 126). Da Sekundärtextsorten (z. B. unter den theoretischen Wissen vermittelnden Texten wären das: Übungsbuch, Aufgabensammlung, Rezension) bei der Erstellung ebenfalls Selektions- und Komprimierungsvorgängen unterzogen werden, sind sie durch einen breiten Balken von den oberhalb des waagerechten Balkens aufgeführten Textsorten abgetrennt.

Von links nach rechts unterliegen die vier Fachtexttypen einer weiteren Subklassifikation, deren Differenziertheit, mit Ausnahme der wissenszusammenstellenden Texte, in dieser Verlaufsrichtung zunimmt. Der Grund dafür ist die Zunahme des Adressatenkreises und die damit verbundene Inhomogenität von Kenntnisstand und Interesse an den jeweiligen Texten des Adressatenkreises. „[Der] größeren Vielfalt an Ansprüchen, die [beispielsweise] an didaktisch-instruktive Texte gestellt werden, kann nur durch eine entsprechende Variantenvielfalt Rechnung getragen werden“ (ebd.: 127). Die Doppelpfeile über den Textsortenkategorien auf der Typologiestufe IV deuten eine weitere Differenzierung von Textsortenvarianten innerhalb einer solchen Kategorie an, wobei diese wieder entsprechend ihres Fach(sprach)lichkeits- und Abstraktionsgrades von links nach rechts angeordnet werden müssten. Lehrbuchtexte, die im tertiären Bereich genutzt werden, sind somit aufgrund ihres höheren Fach(sprach)lichkeits- und Abstraktionsgrades gegenüber Lehrbüchern, die im Sekundarbereich eingesetzt werden, für einen kleineren Adressatenkreis geeignet.

Eine solche Binnendifferenzierung kann für normativ-juristische Texte von vornherein ausgeschlossen werden, „da es hier aufgrund der Homogenität der Adressaten [...] keine Varianten gibt. (Es gibt z. B. keine Textsortenvariante ‘Norm für den Laien’)“ (ebd.: 127). In Abb. 9 ist diese Fachtexttypologie, deren Geltungsbereich auf informative Texte (Texte mit Mitteilungsfunktion) beschränkt ist, zusammenfassend dargestellt. Die besonderen Merkmale von Lehrbuchtexten werden im Folgenden beschrieben.



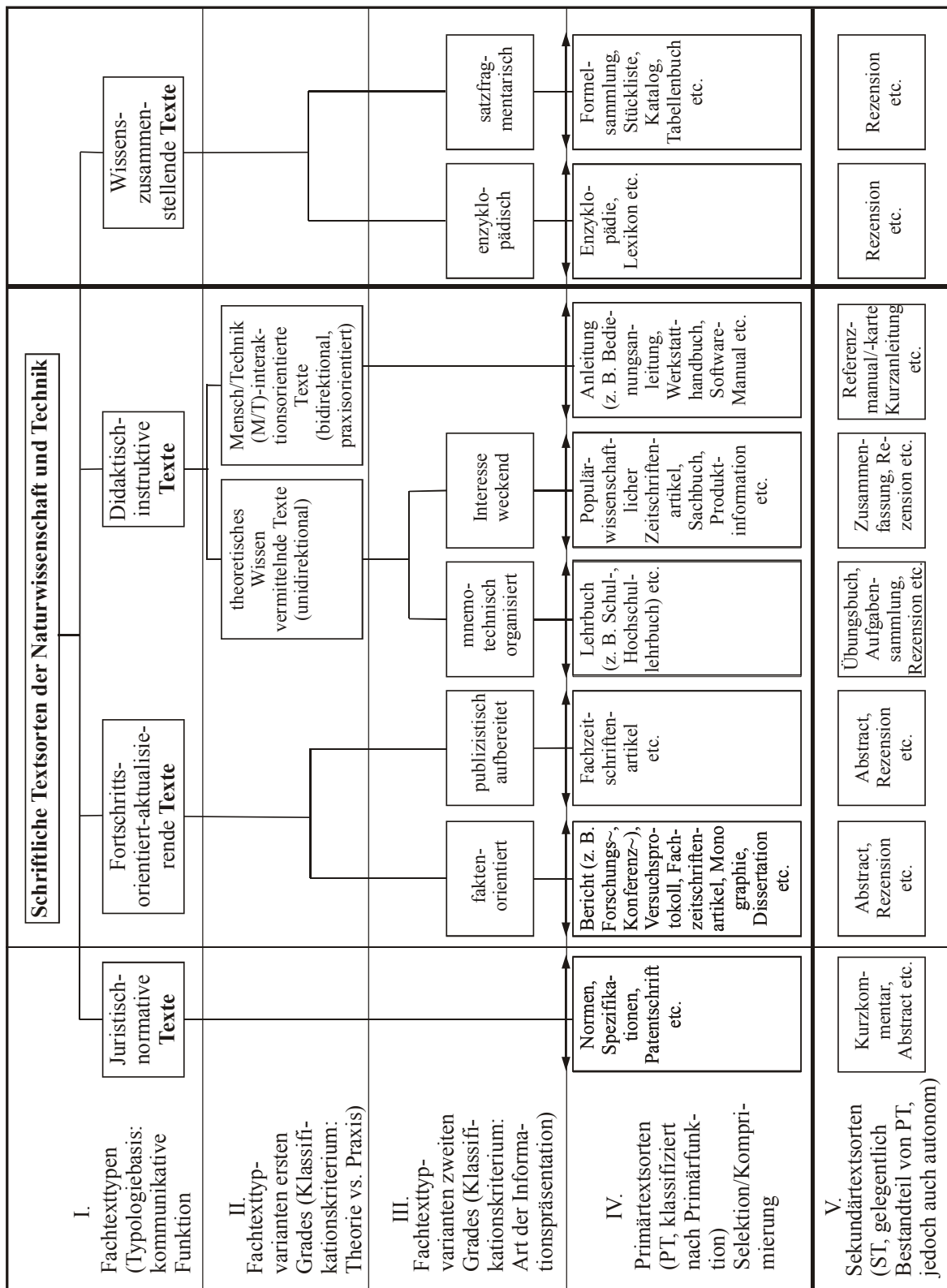


Abb. 9: Schema zur Fachtextsortentypologie (Göpferich 1995: 124)

### 7.1.2 Schwierigkeitsgrad und Verständlichkeit von Lehrbuchtexten

Schwierigkeitsgrad und Verständlichkeit von Lehrbuchtexten als einer Fachtextsorte können anhand textexterner und textinterner Kriterien sowie syntaktischer Besonderheiten beurteilt werden. Dazu werden in den nachfolgenden Abschnitten die wichtigsten Merkmalsausprägungen von englischen und deutschen Textsorten, insbesondere Lehrbuchtexten, herausgestellt.

#### 7.1.2.1 Charakterisierung von Lehrbuchtexten anhand textexterner Kriterien

Zu den textexternen Merkmalskomplexen, die nach ihrer Wichtigkeit geordnet sind, zählen Textfunktion, Sender/Empfänger-Beziehung, Vorkommensbereich und Sonstige Merkmale. Diese Merkmale werden im Einzelnen betrachtet.

##### a) Textfunktion

Unter den speziellen Textfunktionen (deskriptiv, argumentativ, persuasiv und präskriptiv) ist die deskriptive Textfunktion unter allen betrachteten Textsorten die dominierende. Lehrbuchtexte zeichnen sich zusätzlich noch durch die argumentative Textfunktion und den ausgeprägten Theoriebezug aus. Der Theoriebezug ist nach Göpferich (ebd.: 250) nur zur Differenzierung von didaktisch-instruktiven Texten relevant und wurde daher nur auf sie angewandt.

##### b) Sender/Empfänger-Beziehung

Für die Charakterisierung der Sender/Empfänger-Beziehung betrachtet Göpferich das Anonymitätsverhältnis, die Spezifikation des Empfängers und das Informationsgefälle. Generell geht bei allen konventionalisierten Texten bzw. Textsorten der Sender von einem ihm nicht persönlich bekannten Adressaten aus (ebd.: 195). Interessant ist jedoch das Kriterium <Autor angegeben>, das, wenn es zutrifft, andeutet, dass die besondere Leistung eines Autors (z.B. Wissenschaftlers) im Vordergrund steht, wie in Fachzeitschriftenartikeln, Forschungsberichten oder Dissertationen, also in fortschrittsorientiert-aktualisierenden Texten.

Bei Lehrbüchern hat man überwiegend ein Autorenteam, das gemeinschaftlich die Texte und Abbildungen des Lehrbuches erstellt, ohne dass diese einzelnen Autoren zugeordnet werden, wie es in Sammelbänden der Fall ist. Somit können innerhalb eines Lehrbuches stilistische Unterschiede auftreten, die auf verschiedene Autoren zurückgeführt werden müssten. Zum Teil mögen allerdings die Herausgeber von Lehrbüchern solche stilistischen Unterschiede in der redaktionellen Überarbeitung beheben. Letztendlich muss dieser Aspekt berücksichtigt werden, wenn bei der Textanalyse nach textinternen Kriterien Unregelmäßigkeiten im Stil und in den Argumentationslinien auftreten.

Das Kriterium <Informationsgefälle> trifft auf alle in Göpferichs Typologie abgedeckten Textsorten zu. „Bestünde es nicht – zumindest in Bezug auf einen bestimmten im Text behandelten Gegenstand oder Sachverhalt –, so hätte der potenzielle Rezipient keinen Grund, den Text zu lesen“ (ebd.: 196). Zur Differenzierung dieses Merkmals (Kriteriums)

orientiert sich Göpferich an Möhn (1979: 17) und untergliedert es in fachinterne, interfachliche und fachexterne Kommunikation (vgl. Kommunikationstypen nach ebd.: 17 und von Hahn 1981: 9 in Fluck 1997: 26; Düwel 2003: 17). Für Betriebs- und Bedienungsanleitungen sind alle drei Kommunikationstypen zutreffend. Faktenorientierte Texttypenvarianten wie Forschungsberichte, Monographien, Dissertationen sind ausschließlich für die fachliche und interfachliche Kommunikation, also für Fachleute eines Fachgebietes oder verschiedener (bzw. benachbarter) Fachgebiete, gedacht. Sie zu verstehen, ob in der Mutter- oder Fremdsprache, hängt im Wesentlichen vom Fachverständnis ab. Bei mnemotechnisch organisierten Fachtextsorten wie Lehrbüchern muss nach dem Vorwissen des Adressaten unterschieden werden. Grundsätzlich dienen Lehrbücher der Wissensaneignung und sind somit nicht nur für die fachliche und interfachliche Kommunikation gedacht, sondern auch für die fachexterne Fachkommunikation. Allerdings setzt das Verstehen von Texten aus Lehrbüchern im universitären Bereich ein höheres Maß an fachlicher Vorbildung voraus als Lehrbücher im Primar- und Sekundarbereich<sup>57</sup>, sodass diese Texte weniger der fachexternen Kommunikation zuzuordnen sind.

### c) Vorkommensbereich

Das erste Unterscheidungskriterium in diesem Bereich ist <allgemeiner Vorkommensbereich> mit den Merkmalsausprägungen <Alltag/Freizeit> oder <Beruf>. Mit Ausnahme der wissenszusammenstellenden Texte werden alle anderen Fachtexttypen im Beruf gelesen. Im Vorkommensbereich <im Fach> kann in Wissenschaft und Forschung grundsätzlich auf alle Textsorten zurückgegriffen werden, aber nur wenige Textsorten sind auf dem aktuellen Stand der Forschung. Beispielsweise Lehrbüchern kann die Forschung kaum neue Informationen entnehmen. Sie dienen eher dazu Kenntnisse aufzufrischen. Aus diesen Gründen ordnet Göpferich Lehrbüchern nur die Merkmalsausprägung <Lehre/Didaktik> zu. Genauso verhält es sich mit populärwissenschaftlichen Zeitungsartikeln und Enzyklopädien, die aus Sicht des Forschers keine neuen Informationen enthalten. Dagegen weisen faktenorientierte und publizistisch aufbereitete Fachtexttypvarianten ausschließlich die Merkmalsausprägung <Wissenschaft/Forschung> auf (Göpferich 1995: 208). Die anderen Vorkommensbereiche im Fach spielen für die ausgewählten Textsorten wie Produktion, sonstige betriebliche Organisation und Werbung/Verkauf keine Rolle.

### d) Sonstige Merkmale

Eine der Merkmalsausprägungen ist <Textrezeption einmalig/partiell> und indiziert die Verwendungshäufigkeit der jeweiligen Textsorten. Eine einmalige Textrezeption ist dann gegeben, wenn der Rezipient nach einmaliger Konsultation der betreffenden Textsorte über einen bestimmten Sachverhalt ausreichend in Kenntnis gesetzt ist. Dies ist in der Regel bei Spezifikationen und Patentschriften der Fall. Andere Textsorten wie Normschriften, Manuals, Betriebs- oder Bedienungsanleitungen haben eine Nachschlagefunktion, d. h., sie wer-

---

<sup>57</sup> Gemeint ist vornehmlich die Sekundarstufe I.

den häufiger und nicht vollständig nach bestimmten Informationen eingesehen, also partiell. Lehrbuchtexte werden je nach Umfang und Notwendigkeit mehrmalig und auch nach bestimmten Sachverhalten eingesehen.

Die Merkmalsausprägung <Textproduktion unter Zeitdruck>, die die Merkmalsausprägung <Medium mit langer Herstellzeit> bereits ausschließt, ist charakteristisch für produktbegleitende Textsorten, manche Kataloge sowie firmeninterne Schriften (In-house Dokumentation) (ebd.: 210). Lehrbuchtexte hingegen erfordern eine lange Herstellzeit, da sie für die Öffentlichkeit bestimmt sind und damit hohen Qualitätsansprüchen genügen müssen. In Tab. 7 werden noch einmal alle auf Lehrbuchtexte zutreffenden textexternen Kriterien zusammengefasst.

Tab. 7: Merkmalskomplexe mit den jeweiligen Merkmalsausprägungen von Lehrbuchtexten

| Textfunktion                                  | Sender (S)/Empfänger(E)-<br>Beziehung                                                                                | Vorkommensbereich                | Sonstige Merkmale                          |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>speziell</b><br>deskriptiv<br>argumentativ | <b>Anonymitätsverhältnis</b><br>Autoren angegeben                                                                    | <b>allgemein</b><br>Beruf        | <b>Textrezeption</b><br>partiell           |
| <b>Theoriebezug</b>                           | <b>Spezifikation E</b><br>E (ausbildungs)mäßig spez.                                                                 | <b>im Fach</b><br>Lehre/Didaktik | <b>Ökonomiezwang</b><br>lange Herstellzeit |
|                                               | <b>Informationsgefälle</b><br>fachinterne Kommunikation<br>interfachliche Kommunikation<br>fachexterne Kommunikation |                                  | <b>Textalternativen</b>                    |

### 7.1.2.2 Textsortenanalyse anhand textinterner Kriterien

In diesem Abschnitt wird speziell auf Fachtextsortencharakteristika eingegangen, die entsprechend ihrer Vorkommenshäufigkeiten in Lehrbuchtexten textsortenspezifisch sind und beim Vergleich zwischen englischen und deutschen Fachtexten auch unterschiedlich stark ausgeprägt sein können, sei es aus konventionellen oder kulturspezifischen Gründen. Die von Göpferich (ebd.) aufgezeigten Vorkommenshäufigkeiten finiter Verbformen werden außerdem mit den Ergebnissen von Beiers (1977) Untersuchungen an amerikanischen und britischen Fachtexten der Chemie in Beziehung gesetzt. Damit sollen sprachliche Unterschiede bzw. Besonderheiten aus didaktischer Sicht betrachtet werden. Dabei sind auch kulturspezifische Stile von Interesse, auf die einige von Göpferichs (1995: 447) Textsortenanalysenergebnisse hindeuten. Die von Widdowson (1979: 51, vgl. Oldenburg 1992: 29; Göpferich 1995: 446 bzw. in Schröder 1988: 114) proklamierte Unabhängigkeit des naturwissenschaftlichen Diskurses (als sekundär kulturelles System, das von rhetorischen Grundprinzipien determiniert ist) von primären kulturellen Systemen der Sprachgemeinschaften ist damit nicht mehr uneingeschränkt haltbar, zumal andere Autoren, wie Clyne (1987; vgl. Oldenburg 1992: 35; vgl. Göpferich 1995: 446) und Kaplan (1966; vgl. Oldenburg 1992: 35; vgl. Göpferich 1995: 447), in ihren Diskursanalysen bereits interkulturell unterschiedliche Diskursmuster feststellen konnten (vgl. Oldenburg 1992: 28–37; vgl. Göpferich 1995: 446). Clyne hat Texte der Linguistik und der Soziologie untersucht und

festgestellt, dass im Deutschen akademisch verfasste Texte an den Intellekt des Lesers appellieren, den Text zu verstehen, während die Verantwortung für die Verständlichkeit eines Textes im Englischen beim Autor liegt. Clyne (1987:225–235; vgl. Oldenburg 1992:32–33; vgl. Göpferich 1995:446) stellt weitere Unterschiede zwischen deutschen und englischen Texten der Linguistik und Soziologie fest:

- größere Unausgewogenheit der deutschen Texte im Vergleich zu englischen (Grund: manchen Propositionen wird mehr Platz eingeräumt als anderen)
- größere Diskontinuität in der Darstellung im Deutschen durch nicht zu Ende geführte Gedankengänge
- weniger *advance organisers* in deutschen als in englischen Texten, also metasprachliche Elemente, die Informationsabfolge ankündigen und vorstellen

Ursache dafür sieht Clyne (1987:237; vgl. Göpferich 1995:446) in Anlehnung an Galtung (1981:15 in Clyne 1987:237; vgl. Galtung 1983; vgl. Göpferich 1995:446) in unterschiedlichen „intellektuellen Stilen“, die sich auf die Art und Leserfreundlichkeit des Dargestellten auswirken:

„Knowledge is idealized in the German tradition. Consequently, texts by Germans are less designed to be easy read. Their emphasis is on providing readers with knowledge, theory, and stimulus to thought. [...] In English speaking countries, most of the onus falls on writers to make their texts readable, whereas it is the readers who have to make the extra effort in German-speaking countries so that they can understand the texts, especially if the author is academic. Just as it is the reader's responsibility to understand a German text (to gain *Verständnis*) rather than of the writer to make it understandable (*verständlich*), a piece of German academic writing concentrates on the subject (*Sache, Gegenstand*), the content. [...] Wissenschaft (scholarship) is mystified; because of its exalted nature, it does not need to be readily comprehended. (Clyne 1987:238; vgl. Oldenburg 1992:33–34; Göpferich 1995:446)“

Somit zeichnen sich deutschsprachige Texte durch das Merkmal der „reader-responsibility“ (Schröder 1988:116) und englischsprachige durch das Merkmal der „writer-responsibility“ (ebd.:116) aus.

Kritikpunkt an Clyne sieht Oldenburg (1992:31–33; vgl. Göpferich 1995:447) in der unzureichenden Berücksichtigung unterschiedlicher Diskursmuster zwischen Textsorten und Fächern. Göpferich (ebd.:450) stellt fest, dass Naturwissenschaften weniger von den kulturellen Systemen der Sprachgemeinschaft beeinflusst werden, auch wenn es dort kulturell gebundene Unterschiede gibt wie z.B. der Adressateneinbezug. Das „pedagogical we“ soll den Rezipienten motivieren und Textverständnis fördern, indem Autor und Leser gemeinsam an Erarbeitung des Stoffes beteiligt sind (Fiedler 1991:172 in ebd.:374).

**a) Makrostruktur mit syntaktischen Fertigstücken**

Die Makrostruktur entspricht dem konventionalisierten Textablaufschemata einer Fachtextsorte (Gläser 1990: 55), die bei Lehrbuchtexten nach Göpferich (1995: 252) wie folgt aussieht:

Tab. 8: Makrostruktur in Lehrbuchtexten nach Göpferich (1995: 252)

| <b>Textablaufschemata</b>                                                                                                       | <b>inhaltlich und funktional invariante Textelemente<sup>58</sup></b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bibliographische und Verlagsangaben</b>                                                                                      | Titel, Verfasser, ggf. Herausgeber, Verlag, Erscheinungsort, Erscheinungsjahr und ISBN                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Hinweise zu verwendeten Normen, Richtlinien und Bestimmungen/ Copyright-Hinweise/Bibliographische Angaben zu den Autoren</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Vorwort</b> (in englischen Lehrbüchern nach dem Inhaltsverzeichnis)                                                          | Zielgruppe und Einsatzbereiche des Werkes; Hinweise zur Gliederung, Auswahl der Inhalte und der Art ihrer Darstellung sowie Erklärungen zu Konformität mit jeweiligen Lehrplänen Verweis auf ergänzende Werke, ggf. Änderungshinweise zur Neuauflage Danksagungen und gegebenenfalls Hinweise an Rezipient, dass Verbesserungs- und Ergänzungsvorschläge stets willkommen sind. |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                                                                                       | Gliederungspunkte zu Kapitelüberschriften mit Nummerierung, Seitenzahlen                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Arbeitshinweise für Leser</b> (nur in englischen Lehrbüchern)                                                                | * Erklärungen zu Aufbau und Gestaltung einzelner Abschnitte                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Acknowledgements</b> (nur in englischen Lehrbüchern)                                                                         | Danksagung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Quellennachweise der Abbildungen/ Themen der ganzseitigen Abbildungen</b>                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Abkürzungen/ SI units/ Units and symbols</b> (nur in englischen Lehrbüchern)                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Haupttext zu den jeweiligen Kapiteln</b>                                                                                     | Fließtext, Abbildungen mit Beschriftungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Tabellen/ Firmenverzeichnis/Bildquellenverzeichnis</b> (nur in deutschen Lehrbüchern)                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Multiple-choice-Fragen/ Lösungstabelle/ Umrechnungstabellen/ Glossar</b> (nur in englischen Lehrbüchern)                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Index</b>                                                                                                                    | Bildnachweise, Autorenverzeichnis, Stichwortverzeichnis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

<sup>58</sup> Textelemente sind vereinzelt entsprechend des eigenen Textkorpus ergänzt worden (\*)

Die Anordnung dieser makrostrukturellen Einheiten ist für den Adressaten eine wichtige Orientierungshilfe (vgl. hierzu Hoffmann 1992), um ohne großen Zeitaufwand auf die für ihn relevanten Informationen zugreifen zu können. Die Makrostruktur in Lehrbuchtexten ist zwar grob durch die Kapitelüberschriften gegeben, aber die Binnendifferenzierung ist stärker variabel und häufig vom Adressaten selbst anhand der Absatzaufteilung zu erschließen.

Innerhalb von makrostrukturellen Einheiten können syntaktische Fertigstücke auftreten, „d. h. phraseologische Einheiten, die dem Verfasser gebrauchsfertig zur Verfügung stehen“ (Gläser 1979: 90). Gläser verdeutlicht diese anhand der Themenankündigung in wissenschaftlichen Zeitschriftenartikeln, die wie folgt aussehen können:

- The following experiment was designed to examine ...
- This work was undertaken to elucidate some of the changes of ...
- The present study was designed to determine the concentration of ...
- In this paper we report that ...
- The purpose of this work was to validate ...

„Sie dienen [also] der Verbalisierung von Sinnkomplexen, die in Texten häufig wiederkehren und nicht von jedem Sender neu geprägt, sondern insgesamt übernommen und in die eigene Darstellung integriert werden“ (Göpferich 1995: 217). Aus Sicht der Textrezeption können solche syntaktische Fertigstücke, die es auch im Deutschen gibt, eine Orientierungshilfe zur Erschließung der Binnendifferenzierung der jeweiligen Textabschnitte innerhalb eines (Unter-)Kapitels darstellen.

#### **b) Sprechaktklassifikationen und deren Vorkommenshäufigkeit**

Ein Sprechakt ist eine Äußerung, die nach der Intention des Sprechers und deren Wirkung auf den Hörer definiert wird (Crystal 1995: 458). Dabei können die folgenden fünf Sprechaktklassen unterschieden werden (Linke/Nussbaumer/Portmann-Tselikas, Urs 1996: 190):

- Repräsentativa: Sprechakte, mit denen im Wesentlichen Ansprüche auf wahre Darstellung der Welt erhoben werden (aussagen, behaupten, erzählen, beschreiben, protokollieren)
- Direktiva: Sprechakte, mit denen Forderungen an den Hörer gerichtet werden (bitten, auffordern, befehlen), dazu zählen auch Fragen
- Kommissiva: Sprechakte, mit denen der Sprecher Verpflichtungen eingeht (versprechen, sich vertraglich verpflichten)
- Expressiva: Sprechakte, mit denen soziale Kontakte etabliert oder aufrechterhalten werden (danken, grüßen, sich entschuldigen)
- Deklarationen: Sprechakte, die institutionell eingebunden, offiziell, ritualisiert sind (taufen, zum Ritter schlagen, verurteilen)

In Lehrbuchtexten kommen nur Representativa und Direktiva zum Tragen, wobei Direktiva darin nur eine untergeordnete Rolle spielen. Beim Vergleich von englisch- und deutschsprachigen Lehrbüchern, Werkstatthandbüchern, Betriebs- und Bedienungsanleitungen konnte Göpferich (1995: 359) feststellen, dass die textsortenspezifischen Sprechaktverteilungen in beiden Sprachen annähernd übereinstimmen. Dadurch liegt die Vermutung nahe, „dass es für jede der untersuchten Textsorten genau eine durchschnittliche Sprechaktverteilung (mit einem bestimmten Toleranzbereich) gibt, die am besten zur Erfüllung der kommunikativen Funktion der betreffenden Textsorte beiträgt“ (ebd.: 359). Weiterhin sind sowohl die textsortenspezifischen Sprechaktverteilungen als auch die textsortenspezifische sprachliche Realisierung von Direktiva in den beiden kontrastierten Sprachen nicht konventionell geregelt, sondern haben kommunikativ-funktionale und semantisch-stilistische Ursachen.

### c) Personeneinbezug

In Göpferichs Typologie nimmt der **Personeneinbezug** (P) nicht kontinuierlich mit zunehmendem Fach(sprach)lichkeitsgrad von rechts nach links ab (s. Abb. 9, S. 68), wohl aber innerhalb der Kategorien bestimmter Fachtexttypen bzw. Fachtextvarianten. Mit den Kriterien Personen-, Adressaten- und Sendereinbezug allein können zwar keine Textsortenabgrenzungen vorgenommen werden, aber immerhin eine Zuordnung bestimmter Texte zu einer größeren Typologiekategorie. In der folgenden Übersicht sind die sprachlichen Formen zum Personen-Einbezug aufgeführt:

Tab. 9: Sprachliche Formen zu Adressaten-, Sender- und Personeneinbezug (Göpferich 1995: 371–380), eigene Darstellung

|                                               | Englisch                | Deutsch                                                  |
|-----------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Adressateneinbezug</b>                     |                         |                                                          |
| Personal- u. Possessivpronomen                | you                     | du/ihr/Sie                                               |
| Anredeformen                                  | your<br>Dear user       | dein/euer/Ihr/ ...<br>Lieber Leser                       |
| <b>Sendereinbezug</b>                         |                         |                                                          |
| Personal- u. Possessivpronomen                | I/we<br>my/our          | ich/wir<br>mein/unser/ ...                               |
| <b>Personeneinbezug</b>                       |                         |                                                          |
| alle Formen aus Sender- u. Adressateneinbezug | I/we/my/our<br>you/your | ich/wir/mein/unser/ ...<br>du/ihr/Sie/dein/euer/Ihr/ ... |
| unpersönliche Formen                          | one/you/one's/your      | man/sein/ ...                                            |

Einige Ergebnisse aus Göpferichs Textsortenanalysen werden kurz zusammengefasst. Allgemein wird der Adressateneinbezug (A) in beiden Sprachen in juristisch-normativen, fortschrittsorientiert-aktualisierenden und wissenszusammenstellenden Texten<sup>59</sup> vermieden, die sich alle durch einen hohen Fach(sprach)lichkeitsgrad auszeichnen. In theoretisches

<sup>59</sup> Je nach Adressat können diese Textsorten dieses Typs auch einen niedrigeren Fach(sprach)lichkeitsgrad besitzen, aber dies trifft auf die von Göpferich gewählten Textsorten nicht zu.



Wissen vermittelnden Texten (insbesondere in Lehrbüchern und popularisierenden Zeitschriftenartikeln) hingegen ist der Adressateneinbezug im Englischen im Gegensatz zum Deutschen relativ stark, ein Unterschied, der kulturspezifisch zu begründen ist. Göpferich (ebd.: 374) erklärt diesen Unterschied wie folgt:

„Ein Vergleich der für den Adressateneinbezug relevanten Werte für das Deutsche und das Englische zeigt, daß die den Rezipienten einschließenden Formen der ersten Person Plural im Deutschen in allen untersuchten Textsorten kaum, in englischen theoretisches Wissen vermittelnden didaktisch-instruktiven Texten, insbesondere in Lehrbüchern, im Vergleich dazu jedoch relativ häufig verwendet werden. Es handelt sich hierbei um Formen des *pedagogical we*, „das den Rezipienten motiviert und sein Textverstehen fördert, indem es den Eindruck vermittelt, daß Autor und Leser gemeinsam an der Erarbeitung des Stoffes beteiligt sind“ (Fiedler 1991: 172).<sup>[60]</sup> Ferner kommen in den englischen theoretisches Wissen vermittelnden didaktisch-instruktiven Textsorten Lehrbuch (1,51 %) und popularisierender Zeitschriftenartikel (5,06 %) auch 'anredende' Pronomen relativ häufig vor, während es in diesen Textsorten im Deutschen völlig unüblich ist, den Leser direkt anzusprechen.“

Göpferich (ebd.: 379) stellt fest, dass eine Tendenz des schwächer werdenden Personeneinbezugs mit zunehmendem Fach(sprach)lichkeitsgrad nur innerhalb der Kategorien bestimmter Fachtexttypen bzw. Fachtexttypvarianten beobachtet werden kann. Dieses Kriterium allein ist somit nicht ausreichend, um eine Textsortenabgrenzung vorzunehmen. Entscheidend für die weiterführenden Betrachtungen in dieser Arbeit ist der oben ausgeführte kulturspezifische Unterschied zwischen deutschen und englischen Wissen vermittelnden Texten. Der stärkere Adressateneinbezug in englischen Lehrbuchtexten mag ein Indiz dafür sein, dass der Autor/die Autorin auch bei den inhaltlichen Ausführungen mehr darauf bedacht ist, die eigenen Gedankengänge für den Adressaten möglichst gut nachvollziehbar zu untersetzen (vgl. Schröder 1988: 116; Clyne 1991: 65; Göpferich 1995: 399, s. auch S. 72 und S. 78 in diesem Kapitel).

---

<sup>60</sup> „Daß das *pedagogical we* in den deutschen theoretisches Wissen vermittelnden Texten kaum vorkommt, dürfte einer der Gründe dafür sein, daß in diesen Textsorten im Deutschen der Passivgehalt höher ist als im Englischen [...]“ (ebd.: 374)

Tab. 10: Relative Häufigkeiten der Formen des Personeneinbezugs in ausgewählten Textsorten in Prozent (Göpferich 1995: 372); eigene Darstellung

| Fachtexttypen<br>(nach allgemeiner Textfunktion) | fortschritts-<br>orientiert-<br>aktualisierend |             | didaktisch-instruktiv (hier nur<br>theoretisches Wissen vermit-<br>telnde Texte) |             |                      |              | wissenszusam-<br>menstellend |             |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------|--------------|------------------------------|-------------|
| Fachtexttypvarianten zweiten<br>Grades           | publizistisch<br>aufbereitet                   |             | mnemotech-<br>nisch<br>organisiert                                               |             | Interesse<br>weckend |              | enzyklopädisch               |             |
| Primärtextsorten                                 | F-ZS                                           |             | LB                                                                               |             | pZS                  |              | Enz                          |             |
|                                                  | dt.                                            | engl.       | dt.                                                                              | engl.       | dt.                  | engl.        | dt.                          | engl.       |
| 1. Pers. Sg. (SE)                                | 0                                              | 0           | 0                                                                                | 0           | 0,14                 | 2,42         | 0                            | 0           |
| 1. Person Pl. exklusiv <sup>61</sup> (SE)        | 0,70                                           | 0           | 0                                                                                | 0           | 0,14                 | 11,74        | 0                            | 0           |
| 1. Pers. Pl. inklusiv (SE u. AE)                 | 0                                              | 0           | 0                                                                                | 0,51        | 0                    | 0,12         | 0                            | 0           |
| 'anredende' Pronomen (AE)                        | 0                                              | 0           | 0                                                                                | 1,51        | 0                    | 5,06         | 0                            | 0           |
| Anredeformen (AE)                                | 0                                              | 0           | 0                                                                                | 0           | 0                    | 0            | 0                            | 0           |
| man/one/you                                      | 2,66                                           | 0,28        | 3,23                                                                             | 0           | 2,29                 | 0,81         | 3,32                         | 0           |
| 3. Pers. als Subjekt                             | 1,40                                           | 1,70        | 0,23                                                                             | 1,03        | 10,0                 | 7,36         | 1,39                         | 1,06        |
| <b>Summe Personeneinbezug</b>                    | <b>4,76</b>                                    | <b>1,98</b> | <b>3,46</b>                                                                      | <b>3,05</b> | <b>12,57</b>         | <b>27,51</b> | <b>4,71</b>                  | <b>1,06</b> |
| <b>davon SE</b>                                  | <b>0,7</b>                                     | <b>0</b>    | <b>0</b>                                                                         | <b>0,51</b> | <b>0,28</b>          | <b>14,28</b> | <b>0</b>                     | <b>0</b>    |
| <b>davon AE</b>                                  | <b>0</b>                                       | <b>0</b>    | <b>0</b>                                                                         | <b>2,02</b> | <b>0</b>             | <b>5,18</b>  | <b>0</b>                     | <b>0</b>    |

F-ZS = Fachzeitschriftenartikel; LB = Lehrbuch; pZS = populärwissenschaftlicher Zeitschriftenartikel;  
Enz. = Enzyklopädie; SE = Sendereinbezug; AE = Adressateneinbezug

#### d) Art und Vorkommenshäufigkeit metasprachlicher und metakommunikativer Elemente

Ein Text besteht zum einen aus Inhaltselementen, die der Vermittlung von Informationen zum eigentlichen Textgegenstand dienen und Steuerungselementen, die den Weg zu diesen Informationen sowie die Art ihrer Darbietung erklären und die Informationsaufnahme erleichtern (ebd.: 381). Letztere werden von Göpferich (ebd.: 381–395) in metasprachliche und metakommunikative Elemente eingeteilt.

*Metasprachliche Elemente* (s. Tab. 11) kommen in Lehrbuchtexten deutlich häufiger vor als in anderen Textsorten. Ihr Anteil nimmt unter den verglichenen Textsorten des didaktisch-instruktiven Fachtexttyps mit abnehmenden Fach(sprach)lichkeitsgrad ab. Göpferich (ebd.: 402–403) erklärt diesen Sachverhalt damit, dass „eine Einführung in ein Fachgebiet, wie sie in Lehrbüchern angestrebt wird, stets auch mit einer Einführung in die Begriffe und damit die Terminologie dieses Fachgebiets verbunden ist, wozu es metasprachlicher Elemente bedarf“. Diese These wird gestützt durch den extrem hohen Anteil metas-

<sup>61</sup> Exklusiv bedeutet hier, dass mit den Personalpronomen der 1. Person Plural der Adressat ausgeschlossen ist. In Patentschriften stehen die exkludierenden Formen der 1. Person Plural für die Patentanmelder, in Bedienungs- und Herstelleranleitungen für die Hersteller des Produktes, in Interesse weckenden Texten für Autorenkollektive.

prachlicher Elemente in enzyklopädischen Texten der wissenszusammenstellenden Texttypvariante, die „den Rezipienten mit dem Begriffsinhalt bzw. -umfang des Lemmas vertraut [machen]. Hierzu ist häufig die Einführung weiterer Begriffe erforderlich, die ihrerseits wiederum Definitionen und Explikationen erfordern“ (ebd.: 399).

In weniger fachlichen Textsorten der theoretisches Wissen vermittelnden Fachtexttypvariante werden Fachtermini nur dort eingeführt, wo sie zum Erklären eines Sachverhaltes unbedingt erforderlich sind. Im Vordergrund steht hier „den Fortgang des eigentlich interessanten Inhalts“ nicht zu verzögern. Anders als bei Lehrbüchern besteht bei weniger fachlichen Textsorten der theoretisches Wissen vermittelnden Fachtexttypvariante nicht der Anspruch, dass der Leser die eingeführte Terminologie selbst aktiv gebrauchen kann (ebd.: 403). Interessant ist die Tatsache, dass der Anteil metasprachlicher Elemente der Kategorien 'Definitionen, Explikationen, Präzisierungen' und 'Einführung neuer Termini' in deutschen Lehrbüchern und Enzyklopädieartikeln deutlich höher ist als in den korrespondierenden englischen Textsorten. Göpferich (ebd.: 399) stellt fest, dass „im Deutschen mehr Wert darauf gelegt wird, die Fachtermini für viele mit dem Lemma in Zusammenhang stehende Begriffe (oft Hyponyme) einzuführen, während die Verfasser der englischen Artikel sich stärker auf die Verdeutlichung von Zusammenhängen in einer möglichst leicht verständlichen fachterminusarmen Form konzentrieren.“

Ein weiterer Grund für diesen Unterschied liegt in den beiden Sprachsystemen selbst begründet. „Im Englischen ist ein größerer Anteil der Fachtermini selbsterklärend d. h., die Benennungen sind im Englischen oft konkreter, die Benennungsmotivation tritt deutlicher zutage, und die Bedeutungen der Wortbestandteile sind häufiger aus der wenig fachlich geprägten Alltagssprache bekannt, sodass in vielen Fällen metasprachliche Elemente zu ihrer Erklärung überflüssig sind. Dies ist im Deutschen seltener der Fall [...]“ (ebd.: 399). Im Themengebiet der Chromatografie stammen Bedeutungen der Wortbestandteile allerdings auch im Deutschen häufiger aus der wenig fachlich geprägten Alltagssprache (z. B. mobile Phase, stationäre Phase, Trennfaktor, Säule, Platte, Komponente).

Insgesamt verdeutlichen diese Ergebnisse eine stärkere Adressatenorientierung englischer Lehrbuchtexte und Enzyklopädieartikel gegenüber deutschen. Sie decken sich auch mit den Beobachtungen Clynes (1991: 65), der bei dem Vergleich deutscher und englischer wissenschaftlicher Texte die gefundenen Unterschiede damit begründet, dass deutsche Texte in der Tradition idealisierten Wissens geschrieben werden (vgl. Langer 1979: 244 zur verführerischen Rolle des Sach- und Fachexperten), d. h. es liegt in der Verantwortung des Lesers, sie zu verstehen, während englische Autoren sich selbst stärker in der Verantwortung sehen, den Text für den Leser möglichst gut lesbar und verständlich zu gestalten (vgl. Göpferich 1995: 399).

Tab. 11 enthält eine Zusammenstellung einiger Beispiele aus dem ausgewählten Textkorpus deutscher und englischer Lehrbuchtexte zur Chromatografie. Da die Qualität der Verständlichkeit eines Fachtextes auch davon abhängt, wie gut Definitionen untersetzt werden (expliziert und präzisiert werden), wurden bei der Codierung der ausgewählten Textpassagen Definitionen, Explikationen und Präzisierungen voneinander getrennt codiert, auch wenn Explikationen und Präzisierungen im weitesten Sinne zu den Definitionen der

jeweiligen Fachbegriffe gehören. Die Beispiele zeigen, dass die drei Kategorien nicht so leicht voneinander unterschieden werden können. Daher fasst Göpferich diese drei Kategorien bei der Auszählung in ihren Textkorpusanalysen zusammen (vgl. ebd.: 383).

Tab. 11: *Beispiele Metasprachlicher Elemente aus Lehrbüchern zur Chromatografie (vgl. Göpferich 1995: 383–389)*

| Metasprachliche Elemente        | Beispiele aus dt. Lehrbüchern                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Beispiele aus engl. Lehrbüchern                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Definitionen</b>             | <p>Unter dem Begriff <b>Chromatografie</b> werden <b>physikalische Methoden zusammengefaßt, bei denen eine Stofftrennung durch Verteilung zwischen einer ruhenden (stationären) und einer sich bewegenden (mobilen) Phase erfolgt</b> (Schwedt 1986: 3).</p> <p>Dazu wird die Probe in der <i>mobilen Phase, die eine Flüssigkeit, ein Gas oder eine superkritische Phase sein kann</i>, gelöst [...] (Otto 2006: 433).</p> <p>Im Falle eines <b>inneren Chromatogramms</b> legen die verschiedenen Komponenten des Analysengemisches in der gleichen Zeit unterschiedliche Strecken zurück. <b>Sie befinden sich am Ende der Trennung noch im Inneren des Trennbetts und werden dort detektiert</b> (ebd.: 433–434).</p> | <p>[...] adsorbent. <b>This is a solid material to which molecules bind on the surface</b> (Snyder/Kirkland/Dolan 2010: 2).</p>                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Explikationen</b>            | <p>Äußere Chromatogramme entstehen in der Säulenchromatografie, [...]. Hierbei legen alle Komponenten den gleichen Weg durch das Trennbett zurück und erscheinen <b>auf Grund der spezifischen Wechselwirkungen mit der stationären Phase</b> zu verschiedenen Zeiten am Ende der Säule, wo sie äußerlich detektiert werden können (Otto 2006: 434).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>[...] the molecular differences upon which the separations are based are quite diverse. For example, molecules can be separated <b>by their differences in molecular charge, molecular size, [...]</b> (Rubinson/Rubinson 1998: 405).</p> <p>They are carried through the packed column <b>by the flowing liquid</b> (ebd.: 406).</p> |
| <b>Präzisierungen</b>           | <p>[...] d. h. <b>chromatografische Methoden stellen eine Möglichkeit dar, um Stoffe effektiv zu trennen und sie anschließend zu identifizieren bzw. zu quantifizieren</b> (Otto 2006: 432).</p> <p>Äußere Chromatogramme entstehen in der Säulenchromatografie, <b>das heißt in der Gas-, Hochleistungsflüssig- oder Fluidchromatografie</b> (ebd.: 434).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p><b>In this case, it is a tube packed with adsorbent through which flows a liquid [...]</b> (Rubinson/Rubinson 1998: 406).</p>                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Einführung neuer Termini</b> | <p>Die Aufzeichnung des Detektorsignals in Abhängigkeit von der Zeit <b>nennt man Chromatogramm</b> (Otto 2006: 436).</p> <p>Der Quotient <math>V_M/V_S</math> <b>wird als Phasenverhältnis <math>\beta</math> bezeichnet</b> (ebd.: 438).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>The resulting procedure <b>is referred to as thin-layer chromatography (TLC)</b> (Snyder et al. 2010: 2).</p> <p>[...] <b>known as</b> “classical column chromatography“ (Snyder/Kirkland/Dolan 2010: 2).</p>                                                                                                                         |

| Metasprachliche Elemente                            | Beispiele aus dt. Lehrbüchern                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Beispiele aus engl. Lehrbüchern                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Einführung von Synonymen                            | Der Trennfaktor, <b>auch Selektivitätsfaktor genannt</b> , [...] (Otto 2006: 439).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | The molecules in a set of chiral stereoisomers that are mirror images of each other <b>are also called enantiomers or an enantiomeric pair</b> (Rubinson/Rubinson 1998: 431).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Einführung von Abkürzungen, Formelzeichen, Symbolen | Der Quotient $V_M/V_S$ wird als Phasenverhältnis $\beta$ bezeichnet (Otto 2006: 438).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | [...] various homologous series ( $\text{CH}_3\text{[CH}_2\text{]}_{n-1}\text{-X}$ ), <b>where X represents a functional group such as -OH or -CO<sub>2</sub>CH<sub>3</sub></b> (Snyder/Kirkland/Dolan 2010: 260).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Angabe von Benennungsmotivationen                   | [...] <b>die ihn [Tswett] zur Wortschöpfung Chromatografie anregten (griechisch Chroma für "Farbe" und graphein für "schreiben")</b> (Otto 2006: 433).                                                                                                                                                                                                                                                                          | Although a neutral sample <b>implies an absence of acidic and basic solutes</b> , this is not necessarily the case (Snyder/Kirkland/Dolan 2010: 254). Adsorption (Fig. 6.4b) <b>implies that the solute molecule does not penetrate into the stationary phase, but is retained at the interface between the stationary and mobile phases</b> (ebd.: 260).                                                                                                                                                                            |
| Kommentierung der Verwendungsweise von Termini      | <b>Jedoch wird von Ionenaustausch-Chromatografie nur dann gesprochen</b> , wenn die Trennung von Ionen nicht nur aufgrund von Diffusions-, sondern noch zusätzlich von Adsorptionsvorgängen bestimmt wird (Schwedt 1986: 4).                                                                                                                                                                                                    | <b>When referring to peak width in this book, we will assume</b> values of baseline peak width W (Snyder/Kirkland/Dolan 2010: 35).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Überblick über Begriffshierarchien                  | Die folgenden Abschnitte zur Chromatografie <b>könnte man auch mit dem Begriff Trennmethode überschreiben</b> [...] (Otto 2006: 432). Diese Art der Chromatografie ist <b>typisch für planare Techniken</b> , wie die Papier- und Dünnschichtchromatografie [...] (ebd.: 434). Die Extraktion <b>ist den chromatografischen Methoden nicht zuzuordnen</b> , da beide Phasen bei der Extraktion bewegt werden (Schwedt 1986: 3). | A <b>simpler form of liquid chromatography</b> was introduced in the 1940s, [...] (Snyder/Kirkland/Dolan 2010: 2). <b>Not generally included in chromatography</b> are separations that use electric fields [...]. These other methods fall under the class called electroseparation or electromigration and electrophoresis (Rubinson/Rubinson 1998: 405). <b>The types of liquid chromatography also are named after the general type of interaction</b> that occurs between the stationary phase and the solutes (ebd.: 424–425). |

Insgesamt kommen in den von Göpferich (1995:405–406) analysierten Textsorten metasprachliche Elemente (durchschnittlich 9,71 % im Deutschen und 7,18 % im Englischen) deutlich häufiger vor als metakommunikative Elemente (durchschnittlich 1,19 % im Deutschen und 2,41 % im Englischen). Auffällig ist jedoch, dass die Häufigkeit metakommunikativer Elemente im Englischen (s. Tab. 12) doppelt so hoch wie im Deutschen und bei Lehrbüchern sogar achtmal so hoch ist, sodass dieser interlinguale Unterschied die Vermutung einer konventionellen Regelung metakommunikativer Elemente nahelegt. In englischen Lehrbüchern kommen nach Göpferich (ebd.:406) vor allem verbale metakommunikative Elemente der Kategorien 'Vermittlung einer Inhaltsübersicht, Ankündigungen' und 'Aufmerksammachen, Hervorheben, Thematisieren 'geistiger Handlungen' deutlich häufiger vor als in deutschen, in denen stattdessen non-verbale metakommunikative Elemente genutzt werden (ebd.: 390, z. B. Absätze, Fettdruck, Spiegelstriche etc.), die von Göpferich in ihren Auszählungen allerdings nicht berücksichtigt wurden.

Tab. 12: *Definition und Funktion metakommunikativer Elemente (Göpferich 1995: 389–395); eigene Darstellung*

| <b>Metakommunikative Elemente</b>                                             | <b>Beschreibung</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Gliederungselemente</b>                                                    | erfüllen vorrangig die Funktion, den Text zu gliedern, um somit Orientierungshilfe beim Verstehen zu geben; unterschieden werden Gliederungselemente non-verbaler Art, wie z. B. Unterteilung in Kapitel, Unterkapitel, Absätze mit ggf. entsprechender Formatierung (Schriftart,-größe, Aufzählungszeichen etc.), und verbaler Art, wie z. B. Adverbien ( <i>first, second, third, moreover</i> ).                                                                                                                                                                |
| <b>metakommunikative Äußerungen</b>                                           | kommentieren die Absicht des Produzenten und den propositionalen Gehalt der Information, die damit verdeutlicht werden, wie z. B. <b>Ankündigungen</b> ([...], <i>and this is discussed later in this chapter</i> ); <b>Rekapitulationen</b> ( <i>When we were discussing [...] we implied that [...]</i> ); <b>Erklärungen zur Vorgehensweise</b> ( <i>In view of this, [...] will be considered.</i> ); oder <b>zu Abbildungen, Tabellen, Beispielen</b> ( <i>This illustration will show [...]</i> ); <b>Anführungszeichen</b> in modalisierender Funktion usw. |
| <b>anaphorische und kataphorische Verweise meta-kommunikativen Charakters</b> | sind <b>Formen der Textkohäsion</b> , die auf dem Grundprinzip der Wiederholung oder der verweisenden Wiederaufnahme aufbauen, dass sich also ein Textelement in irgendeiner Weise auf ein anderes bezieht, auf diese verweist. Beispiele dafür sind: <i>In the following/as outlined in chapter 4/see figure 2.5/etc.</i>                                                                                                                                                                                                                                         |

### 7.1.2.3 Textsortenspezifische syntaktische Besonderheiten

**Fachtexte** zeichnen sich in der Regel durch eine besonders hohe Frequenz von **Passivkonstruktionen** und **Nominalisierungen** sowie deren **syntaktische Komplexität** aus, die Göpferich (ebd.) unter textsortenspezifischen syntaktischen Besonderheiten zusammenfasst. Entsprechend der Einteilung ihrer Fachtextsortentypologie lassen sich Zusammenhänge zwischen Fach(sprach)lichkeitsgrad und der jeweiligen Merkmalsausprägung aufzeigen, die für Lehrbuchtexte im Folgenden ausgeführt werden.

### a) Passivfrequenz

In Beiers (1977) Untersuchungen an amerikanischen und britischen Fachtexten der Chemie, in denen sich der Autor auf die Häufigkeit und die Verwendungsweisen finiter Verbformen beschränkt, liegt sein Hauptaugenmerk auf dem Passiv. In über 40 % der Belege von Beiers untersuchten Textkorpus kann durch die Verwendung des Passivs die „Nennung eines bestimmten, eindeutig identifizierbaren (aus dem Kontext zu erschließenden) menschlichen Handlungsträgers“ vermieden werden (ebd.: 246). In seinen Schlussbetrachtungen kritisiert Beier die Verknennung der Leistungen des Passivs in einer Reihe von ‘Stilführern’ für Naturwissenschaftler und Techniker, die z.T. das Passiv in der wissenschaftlichen Fachsprache als die sich dem Autor bietende Möglichkeit, nicht ständig auf sich selbst Bezug nehmen zu müssen, anerkennen, aber immer noch der Aktivform eine bevorzugte Stellung einräumen (ebd.: 242–243). Aufgrund von Beiers Ergebnissen sind solche präskriptiv-wertenden Aussagen nicht mehr haltbar, da sie die wichtige Rolle von Passivkonstruktionen im Rahmen der Anordnung der Satzglieder eines Satzes nach ihrem Mitteilungswert und bei der Verknüpfung einzelner Sätze zu einem kohärenten Textganzen unberücksichtigt lassen. Passivkonstruktionen ermöglichen es z.B., auf redundante Elemente zu verzichten, deren Ausdruck im Aktivsatz notwendig wäre, und kommen „dem Streben vieler Fachautoren nach Unpersönlichkeit ihrer schriftlichen wissenschaftlichen Aussage“ entgegen (ebd.: 244).

Die hohe *Passivfrequenz in Fachtexten* korrespondiert mit dem von Göpferich (1995) festgestellten geringen Personeneinbezug. Demgegenüber steht ein Passivanteil in englischen gemeinsprachlichen Textsorten<sup>62</sup> von weniger als 5% (ebd.: 409). Eigenschaften, die sowohl auf deutsche als auch auf englische Fachtexte zutreffen, fasst die Autorin wie folgt zusammen (ebd.: 409–410):

---

<sup>62</sup> Gemeint sind hier literarische Texte, die sich ohnehin durch einen starken Personeneinbezug auszeichnen.

Tab. 13: *Eigenschaften des Passivs in sowohl deutschen als auch englischen Texten (Göpferich 1995: 409–410); eigene Darstellung*

| Eigenschaft                                       | Bemerkung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hervorhebung der Zielgröße</b>                 | Das Bewirkte, Erzeugte, Bearbeitete steht in Subjektposition, also an exponierter Stelle, d. h., das logische Objekt fungiert als Thema oder Basis.<br>„ <i>In order to improve the water solubility of chitosan, various derivatives have been synthesized [...]</i> “ (Baschong et al. 1999: 22)                                                                       |
| <b>Sprachökonomische Verknüpfungen</b>            | Die Verknüpfung von Aktiv- und Passivprädikaten in einem Satz ist erlaubt.<br><i>Chitosan is used in cosmetics and/but requires acidic conditions for dissolution in water</i> (vgl. ebd.: 22).                                                                                                                                                                          |
| <b>Eliminierung des Urhebers</b>                  | Der menschliche Handlungsträger kann unerwähnt bleiben, d. h., der Autor tritt in den Hintergrund.                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Darstellung eines gesetzmäßigen Geschehens</b> | Das gesetzmäßige Geschehen ist zwar vom Menschen erkenn- und anwendbar, aber durch das Wirken naturgegebener (physikalischer, chemischer, u. a.) Gesetzmäßigkeiten <sup>63</sup> verursacht (Köhler 1980: 20 in Göpferich 1995: 410).<br>„ <i>Die Korrosion wird durch einen hohen Feuchtigkeitsgehalt der Luft gefördert</i> “ (Köhler 1980: 20 in Göpferich 1995: 410) |
| <b>Darstellung eines bewirkten Geschehens</b>     | Während sich durch reflexive Strukturen <sup>64</sup> ein Vorgang als ungewollt beschreiben lässt, ermöglichen Passivstrukturen ihn als bewusst und absichtlich herbeigeführt darzustellen.<br><br>ungewollt: <i>The state changes.</i><br>gewollt: <i>The state is being changed.</i>                                                                                   |

Da im Deutschen durch die freie Wortstellung jedes beliebige Satzteil an den Satzanfang gestellt werden kann, ohne dass dafür eine Passivkonstruktion notwendig wäre, ist die Passivfrequenz in Textsorten mit hoher Passivfrequenz im Deutschen deutlich niedriger als im Englischen.

## b) Nominalisierungstendenzen

Ein für die wissenschaftliche Fachsprache typisches Merkmal ist die Tendenz zur nominalen Ausdrucksweise, die „als eine der Ursachen für die vergleichsweise geringe Zahl finiter Verben in der wissenschaftlichen Fachsprache [angesehen werden kann]. [...] Der Hang zu Nominalisierungen kann als Ausdruck sprachökonomischer Tendenzen gewertet werden“ (Beier 1977: 22–23) und als Möglichkeit der exakten Darstellung für wissenschaftliche Sachverhalte (Gerr 1942: 157 in ebd.: 24).

<sup>63</sup> Es wäre sicherlich treffender, in diesem Zusammenhang von Kräften als von Gesetzmäßigkeiten zu sprechen.

<sup>64</sup> Reflexive Strukturen gibt es nur im Deutschen, die im Englischen durch ein Verb ausgedrückt werden können; z. B.: Der Zustand verändert sich (dt.)/The state changes (engl.).



Um den *Nominalisierungsgrad* einer Textsorte zu messen, sind die im Text vorkommenden Nomen/Substantive und Fügungen mit Nomen/Substantiven von Interesse, die in einer anderen Textsorte auch durch Konstruktion mit finiten Verben, also verbal, ausgedrückt werden können bzw. würden. In der folgenden Übersicht sind nur für die Kriterien Beispiele aufgeführt, die auch von Göpferich (1995) als Unterscheidungskriterium herangezogen wurden.

Tab. 14: *Nomen und Fügungen mit Nomen, die auch durch Konstruktion mit finiten Verben ausgedrückt werden können (Göpferich 1995: 421); eigene Darstellung*

| Kriterium                                                                                                                        | Anmerkungen/Beispiele                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Funktionsverbgefüge</b>                                                                                                       | Dies hängt am wenigsten vom Fachsprachlichkeitsgrad ab und wird deshalb unberücksichtigt gelassen.                                                                                                                                     |
| <b>pränominale Attribute</b> (im Dt.)<br>bzw.<br><b>adnominale Partizipialkonstruktionen</b> (im Engl.)                          | „Die durch die Volumenvergrößerung erzeugte Druckdifferenz kann [...]“ (Gengk et al. 1987: 110 in ebd.: 422).<br>„[...] the whitening effects gained in the final rinse of the laundry process provides [...]“ (Rower/Kvita 1999: 10). |
| <b>adverbiale Bestimmungen</b> und deren Verhalten zu semantisch entsprechenden Adverbialsätzen<br><b>postnominale Attribute</b> | In beiden Fällen handelt es sich um <b>Präpositionalgefüge</b> , die nur schwer nach adverbialer Bestimmung oder postnominalem Attribut unterschieden werden können. Die beiden Kriterien bleiben daher unberücksichtigt.              |

Da nur *pränominale Attribute* bzw. *adnominale Partizipialkonstruktionen* sich als aussagekräftiges Kriterium für die Bestimmung des textsortenspezifischen Nominalisierungsgrades eignen, werden auch nur diese in Göpferichs (1995) Textsortenanalyse herangezogen.<sup>65</sup> Sieht man von den M/T-Textsorten<sup>66</sup> ab, nimmt die Frequenz der pränominalen Attribute bzw. adnominalen Partizipialkonstruktionen mit abnehmendem Fach(sprach)lichkeitsgrad ab. Wissenszusammenstellende Texte nehmen hingegen auch wieder eine Sonderstellung ein und zeichnen sich durch eine hohe Frequenz pränominaler Attribute bzw. adnominaler Partizipialkonstruktionen aus, mit deren Hilfe Substantive auf sprachökonomische Weise präzisiert werden können.

Obwohl mit zunehmendem Fachsprachlichkeitsgrad der Nominalisierungsgrad steigt, erfolgt dies nicht zu Ungunsten von Nebensätzen<sup>67</sup> mit finiten Verben. Im Gegenteil, auch der *Nebensatzanteil* mit finiten Verben ist entsprechend hoch, denn mit zunehmendem

<sup>65</sup> Die im Folgenden vorgestellten quantitativen Aussagen sind demnach nur unter der Voraussetzung haltbar, dass die pränominalen Attribute bzw. adnominalen Partizipialkonstruktionen für den Nominalisierungsgrad auch repräsentativ sind.

<sup>66</sup> In diesen Textsorten (Werkstatthandbüchern, Betriebs- und Bedienungsanleitungen) erfolgt die Spezifizierung der Nomen weniger verbal (z. B. durch die Verwendung von pränominalen Attributen bzw. adnominalen Partizipialkonstruktionen oder Relativsätzen) „als vielmehr durch die zahlreichen Abbildungen und Tabellen, auf die im Text verwiesen wird und in denen die durch die Nomen bezeichneten Gegenstände im Detail gezeigt bzw. beschrieben sind“ (ebd.: 426).

<sup>67</sup> Diese sind auch im Zusammenhang mit der sprachlichen Realisierung verschiedener Denkweisen chemiebezogener Inhalte zu sehen.

Fach(sprach)lichkeitsgrad einer Textsorte wird auch eine stärkere Präzisierung einzelner Satzteile erforderlich, die nicht nur – trotz sprachökonomischer Aspekte<sup>68</sup> – mit infiniten Konstruktionen erreicht werden kann (ebd.: 427–428).

Aus *interlingualer Sicht* ist noch auf wesentliche Konstruktionsunterschiede von deutschen und englischen Nominalisierungen einzugehen. Die englischen Partizipialkonstruktionen sind als progressive Konstruktionen<sup>69</sup> leichter interpretierbar als die regressiven deutschen pränominalen Attribute und weisen in englischen Fachtexten eine deutlich höhere Frequenz auf als das deutsche funktionale Äquivalent in deutschen Fachtexten (ebd.: 427). Mit ausreichendem Sprachverständnis müssten demzufolge Fachtexte mit hohem Nominalisierungsgrad im Englischen leichter verständlich sein als im Deutschen.

### c) Syntaktische Komplexität

Zur Bestimmung der Komplexität der in verschiedenen Fachtexten/-textsorten verwendeten Sätze, ermittelt Göpferich (ebd.: 431–444) die Zahl der Nebensätze und der Nebensatzwertigen Konstruktionen<sup>70</sup> pro 100 Sprechakte. Die Nebensätze hat Göpferich nach folgenden Nebensatzkategorien unterschieden:

Tab. 15: Nebensatzkategorien (Göpferich 1995: 431–434); eigene Darstellung

| Kategorie                       | Beispiel                                                                                              |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>adverbiale Nebensätze</b>    |                                                                                                       |
| temporale und konditionale      | <i>When the temperature reaches 40°C or if the solution turns yellow, the heat has to be removed.</i> |
| konsekutive                     | <i>..., so that</i> (clauses of result)                                                               |
| finale                          | <i>Damit ...</i> (clauses of purpose)                                                                 |
| instrumentale                   | gibt es im Englischen nicht, sondern nur Konstruktionen mit <i>by + gerund</i>                        |
| konzessive                      | <i>..., although ...</i> (clauses of concession)                                                      |
| adversative                     | <i>..., while</i> (clauses of contrast)                                                               |
| <b>Relativsätze</b>             |                                                                                                       |
| <b>Subjekt- und Objektsätze</b> |                                                                                                       |
| Subjektsatz                     | <i>How linkages [...] produce [...].</i>                                                              |
| Akkusativobjektsatz             | <i>We must also remember that [...].</i>                                                              |
| Subjektergänzung                | <i>The fact that [...] makes [...].</i>                                                               |

<sup>68</sup> Hierzu zählen die Vermeidung von komplexen Schachtelsätzen und die sprachökonomische eindeutige Referenz auf zuvor Dargelegtes (ebd.: 428–429).

<sup>69</sup> Progressive Konstruktionen sind leichter verständlich, weil jedes neu hinzutretende Wort den zuvor erreichten Wissensstand des Rezipienten schrittweise erweitert (Bally 1950 in ebd.: 427). In regressiven Konstruktionen wird der Rezipient stärker beansprucht, weil die Spezifizierung dem Spezifizierten vorausgeht (Bally 1950; Blumenthal 1987: 38 in ebd.: 427).

<sup>70</sup> Im deutschen Korpus hat Göpferich Infinitiv- und Partizipialkonstruktionen gewertet, während im Englischen nur Partizipialkonstruktionen herangezogen wurden, weil dort die Nebensatzfunktion eines Infinitivs nicht immer eindeutig bestimmbar ist.

Mit Ausnahme der M/T-Texte nimmt die *Frequenz der Adverbialsätze* auch mit zunehmendem Fachsprachlichkeitsgrad zu, eine Tendenz, die mit der höher werdenden wissenschaftlichen Präzision in Textsorten mit hohem Fach(sprach)lichkeitsgrad begründet werden kann (s. S. 84) und eine größere syntaktische Komplexität zur Folge hat. Mit zunehmend geforderter Präzision wird auch die logische Beziehung zwischen den Sätzen erforderlich, für die sich Adverbialsätze sehr gut eignen. Aufgrund der besseren Einprägsamkeit ist diese Merkmalsausprägung auch in Lehrbüchern vorzufinden.

Adverbialsätze mit kausaler Funktion sind nach Göpferichs Textsortenanalysenergebnissen besonders häufig in fortschrittsorientiert-aktualisierenden Textsorten und Lehrbüchern vorzufinden. Die kommunikative Funktion steuert demnach die syntaktische Komplexität und die Nebensatzverteilung in den verschiedenen Textsorten.

Hervorzuheben sind noch einige *interlinguale Unterschiede*. „Die Nebensatzfrequenz (ohne nebensatzwertige Konstruktionen) fällt im Englischen in allen didaktisch-instruktiven Textsorten höher aus als im Deutschen.<sup>71</sup> Bei allen anderen Textsorten verhält es sich umgekehrt. Berücksichtigt man auch die Partizipialkonstruktionen, so weisen alle Textsorten im Englischen eine höhere syntaktische Komplexität auf als im Deutschen“ (ebd.: 443), eine Tatsache, die in der leichteren Verständlichkeit englischer Partizipialkonstruktionen begründet liegt (pränominale Attribute im Dt. vs. adnominale Partizipialkonstruktionen im Engl., s. Tab. 14, S. 84).

#### 7.1.2.4 Quantitative Charakteristika des chemiebezogenen Fachwortschatzes

Für die *quantitativen Charakteristika* des chemiebezogenen Fachwortschatzes werden Siepers (1980) Untersuchungsergebnisse zur Lexik englischer Fachtexte der Chemie herangezogen. Besonders interessant erscheint hierbei, wie viel Prozent *Textdeckung* durch eine gegebene Anzahl von Vertretern einer Wortart erzielt werden, denen Sieper (ebd.: 58–60) in Bezug auf das Textverständnis einen hohen didaktischen Wert zurechnet. Die Textdeckung bei den einzelnen Wortarten führt er in Abhängigkeit vom Rang auf. In Tab. 16 werden die 20 häufigsten Wörter einer Wortart mit der jeweiligen Prozentangabe ihrer Textdeckung aufgelistet. Die Prozentangaben beziehen sich allerdings nur auf den von Sieper (ebd.) gewählten Textkorpus von Fachzeitschriftenartikeln. Eine Erweiterung des Textkorpus bzw. die Berücksichtigung anderer Textsorten wie Lehrbuchtexte würde sicherlich zu anderen Ergebnissen der Textdeckung führen, aber nicht wesentlich die Verhältnisse der Textdeckung der Wortarten untereinander verändern.

Die Prozentangaben der Textdeckung in der letzten Zeile der Tab. 16 verdeutlichen, dass der Wortschatzumfang an Substantiven und Adjektiven enorm groß sein muss, wenn mit zwanzig der ranghöchsten Wörter dieser Wortarten nur 23,7% bzw. 27,3% abgedeckt werden. Erst bei einer Anzahl von 500 der ranghöchsten Substantive bzw. 200 der rang-

<sup>71</sup> Dieser Unterschied mag sprachsystembedingt sein, denn Präpositionalgefüge in adverbialer Funktion im Deutschen müssen im Englischen oftmals mit Adverbialsätzen oder Partizipialkonstruktionen ersetzt werden.

höchsten Verben und Adverbien wird eine Textdeckung von über 90% erreicht. Adjektive erreichen erst ab Rang 290 eine Textdeckung von 90%. „Um einen Text jedoch einigermaßen mühelos lesen zu können, ist (außer grammatischen und natürlich auch fachlichen Kenntnissen) ein Vokabular erforderlich, daß eine Textdeckung von mindestens 98%, besser jedoch von 99% oder sogar 99,5% aufweist. Dann wäre nur noch jede 50., (100., 200.) Okkurrenz jeder Wortart unbekannt“ (ebd.: 60). Bei einer Textdeckung von nur 80% innerhalb jeder Wortart müsste im Mittel jede 5. Okkurrenz einer jeden Wortart nachgeschlagen werden.

Tab. 16: Die 20 häufigsten Wörter einer Wortart und ihre Textdeckung in Prozent (Sieper 1980: 131–133); eigene Darstellung

| Verben        | Substantive   | Adjektive     | Adverbien     | Det./ Pron.        | Präp.            | Konj.            |
|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|------------------|------------------|
| be            | reaction      | low           | not           | the                | of <sup>73</sup> | and              |
| have          | bond          | high          | also          | a/an               | in               | that             |
| show          | spectrum      | corresponding | there         | this/there         | with             | as <sup>75</sup> |
| give          | group         | present       | only          | which              | for              | or               |
| can           | rate          | similar       | very          | it                 | by               | than             |
| observe       | table         | small         | than          | we/us              | to <sup>74</sup> | but              |
| will          | compound      | chemical      | more          | two                | at               | however          |
| use           | band          | large         | as            | that/those         | from             | since            |
| report        | value         | same          | about         | no                 | on               | when             |
| may           | ring          | different     | both          | other              | between          | although         |
| occur         | product       | experimental  | most          | all                | under            | if               |
| obtain        | complex       | initial       | much          | our                | into             | because          |
| find          | structure     | molecular     | so            | one                | after            | while/whilst     |
| contain       | adduct        | consistent    | therefore     | such               | above            | either           |
| do            | ion           | great         | respectively  | its                | upon             | after            |
| expect        | data          | trans         | well          | some               | without          | whereas          |
| see           | figure        | refractive    | where         | several            | below            | whether          |
| involve       | atom          | significant   | previously    | their              | via              | though           |
| increase      | effect        | due           | thus          | they/them          | within           | until            |
| suggest       | formation     | infrared      | significantly | that <sup>72</sup> | during           | inasmuch as      |
| <b>57,5 %</b> | <b>23,5 %</b> | <b>27,3 %</b> | <b>47,0 %</b> | <b>94,5 %</b>      | <b>97,7 %</b>    | <b>99,7 %</b>    |

Det./Pron.: Determinanten/Pronomen; Präp.: Präpositionen

Exemplarisch wurden ausgewählte Kapitel aus drei englischen Lehrbüchern zur Chromatografie (Snyder/Kirkland/Dolan 2010, Rubinson/Rubinson 1998, Touchstone 1992) auf das Vorkommen der in Tab. 16 aufgeführten Substantive untersucht. Die Substantive *ring* und *adduct* kommen in keinem der drei vor. Darin zeigt sich, dass diese Wörter sehr themenspezifisch sind und bei den Textausschnitten zur Chromatografie nicht relevant sind. Im Vergleich dazu wurden für eine Auswahl von insgesamt fünf englischen Lehrbüchern

<sup>72</sup> That' ist hier nur als Relativpronomen gemeint.

<sup>73</sup> Okkurrenzen in 'because of' und anderen komplexen Präpositionen sind nicht berücksichtigt worden.

<sup>74</sup> Okkurrenzen in 'owing to' und anderen komplexen Präpositionen sind nicht berücksichtigt worden.

<sup>75</sup> Okkurrenzen in der komplexen Konjunktion 'inasmuch as' sind nicht berücksichtigt worden.

zur Chromatografie (das waren ausgewählte Kapitel aus den drei oben genannten sowie aus Skoog et al. 2000 und Wall 2005) die Häufigkeiten der 50 ranghöchsten Wörter (Substantive, Verben und Adjektive) bestimmt.<sup>76</sup> Mit ihnen erreicht man eine Textdeckung von 25 %. In Tab. 17 sind exemplarisch die 20 häufigsten mit einer Textdeckung von 16 % aufgeführt.

Tab. 17: Die 20 häufigsten Substantive, Verben und Adjektive zur Chromatografie und ihre Textdeckung in Prozent in ausgewählten Kapiteln von fünf englischen Lehrbüchern zur Chromatografie

| Rang | Wort                  | Häufigkeit | %    | Dokumente | Dokumente % |
|------|-----------------------|------------|------|-----------|-------------|
|      | alle Wörter           | 36716      |      |           |             |
| 1    | <b>column</b>         | 599        | 1,63 | 5         | 100,00      |
| 2    | <b>phase</b>          | 581        | 1,58 | 5         | 100,00      |
| 3    | <b>mobile</b>         | 436        | 1,19 | 5         | 100,00      |
| 4    | use                   | 396        | 1,08 | 5         | 100,00      |
| 5    | <b>solvent</b>        | 384        | 1,05 | 5         | 100,00      |
| 6    | <b>chromatography</b> | 381        | 1,04 | 5         | 100,00      |
| 7    | figure                | 365        | 0,99 | 5         | 100,00      |
| 8    | <b>separation</b>     | 280        | 0,76 | 5         | 100,00      |
| 9    | <b>sample</b>         | 266        | 0,72 | 5         | 100,00      |
| 10   | <b>solute</b>         | 238        | 0,65 | 5         | 100,00      |
| 11   | value                 | 226        | 0,62 | 5         | 100,00      |
| 12   | <b>stationary</b>     | 201        | 0,55 | 5         | 100,00      |
| 13   | <b>selectivity</b>    | 196        | 0,53 | 5         | 100,00      |
| 14   | <b>silica</b>         | 182        | 0,50 | 4         | 80,00       |
| 15   | <b>layer</b>          | 177        | 0,48 | 4         | 80,00       |
| 16   | <b>retention</b>      | 174        | 0,47 | 4         | 80,00       |
| 17   | <b>interaction</b>    | 172        | 0,47 | 4         | 80,00       |
| 18   | method                | 171        | 0,47 | 5         | 100,00      |
| 19   | time                  | 164        | 0,45 | 5         | 100,00      |
| 20   | section               | 144        | 0,39 | 5         | 100,00      |

<sup>76</sup> Für die Bestimmung der Worthäufigkeiten wurde die Software MAXQDA 2018 (VERBI Software 2018) verwendet.

*Das Verständnis der meisten Fachwörter im chemietechnischen Bereich* ist allerdings dadurch erleichtert, dass viele Lexeme lateinischen bzw. griechischen Ursprungs sind. D.h., die englische Fachterminologie, insbesondere die der chemischen Stoffbezeichnungen, unterscheidet sich graphologisch kaum von der deutschen und ist somit beim verstehenden Lesen leicht rezipierbar. Zum Vergleich zeigt Tab. 18 die 20 häufigsten Substantive, Verben und Adjektive aus Snyder et al. (2010), der Quelle, die auch später in der Hauptuntersuchung verwendet wird. Die fett ***hervorgehobenen Wörter sind wichtige Fachbegriffe in der Chromatografie.***

Tab. 18: Die 20 häufigsten Substantive, Verben und Adjektive zur Chromatografie in Snyder et al. (2010) und ihre Textdeckung in Prozent

| Rang | Wort                  | Häufigkeit | %    |
|------|-----------------------|------------|------|
|      | alle Wörter           | 15117      |      |
| 1    | <b>column</b>         | 496        | 3,28 |
| 2    | figure                | 238        | 1,57 |
| 3    | <b>phase</b>          | 206        | 1,36 |
| 4    | <b>separation</b>     | 163        | 1,08 |
| 5    | <b>solute</b>         | 159        | 1,05 |
| 6    | <b>retention</b>      | 158        | 1,05 |
| 7    | <b>mobile</b>         | 153        | 1,01 |
| 8    | <b>selectivity</b>    | 152        | 1,01 |
| 9    | use                   | 146        | 0,97 |
| 10   | value                 | 137        | 0,91 |
| 11   | sample                | 132        | 0,87 |
| 12   | <b>peak</b>           | 116        | 0,77 |
| 13   | <b>RPC</b>            | 114        | 0,75 |
| 14   | <b>particle</b>       | 111        | 0,73 |
| 14   | section               | 111        | 0,73 |
| 16   | <b>interaction</b>    | 110        | 0,73 |
| 17   | <b>chromatography</b> | 104        | 0,69 |
| 18   | molecule              | 97         | 0,64 |
| 18   | <b>solvent</b>        | 97         | 0,64 |
| 20   | <b>stationary</b>     | 94         | 0,62 |

### 7.1.2.5 Möglichkeiten der Namensbildung in der naturwissenschaftlich-technischen Fachlexik

In Anlehnung an die Ausführungen von Fluck (1997: 46–72; vgl. Düwel 2003: 72) werden im Folgenden fünf produktive Bildungsmöglichkeiten der Fachsprachen unterschieden. Die von ihm gewählten Beispiele beziehen sich allerdings nur auf Bildungsmöglichkeiten der deutschen naturwissenschaftlich-technischen Fachterminologie, in welcher der chemietechnische Bereich kaum berücksichtigt wird. Die Beispiele wurden deshalb nicht vollständig von ihm übernommen, sondern noch um die englischen Entsprechungen ergänzt.

Tab. 19: Möglichkeiten der Benennungsbildung in der (naturwissenschaftlich-technischen) Fachlexik (Fluck 1997: 46–72); eigene Darstellung

| Bildungsmöglichkeit                               |                               | Beispiele                              |                          |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
|                                                   |                               | Deutsch                                | Englisch                 |
| Fachbezogene Verwendung gemeinsprachlicher Wörter | Metaphorik                    | <i>Treibhauseffekt</i>                 | <i>greenhouse effect</i> |
|                                                   | Metonymie                     | <i>Faraday-Effekt</i>                  | <i>Faraday effect</i>    |
|                                                   | definitorische Festlegung     | <i>elektrischer Strom</i>              | <i>current</i>           |
| Verwendung von Wortelementen aus anderen Sprachen | Entlehnung                    | <i>Atom</i>                            | <i>atom/oxygen</i>       |
|                                                   | Lehnübersetzung               | <i>Sauerstoff</i>                      |                          |
| Ableitung                                         | Art der Wortbildung           | <i>Löslichkeit</i>                     | <i>solubility</i>        |
|                                                   |                               | <i>Mischung</i>                        | <i>mixture</i>           |
| Bildung von Mehrwortbenennungen                   | Zusammensetzung <sup>77</sup> | <i>Gesicht/s/maske</i>                 | <i>face mask</i>         |
|                                                   | Wortgruppe                    | <i>spezifisches Gewicht</i>            | <i>specific weight</i>   |
| Kürzungsverfahren                                 | Mechanische Kürzung           | <i>Bus (Omnibus)</i><br><i>Aldehyd</i> | <i>aldehyde</i>          |
|                                                   | Semantische Kürzung           | <i>Rechner</i>                         |                          |

Entsprechend dieser Bildungsmöglichkeiten gibt es in beiden Sprachen viele Übereinstimmungen, die das Verstehen englischer Fachtexte erleichtern sollten. Im Englischen scheinen die Entlehnung, die Ableitung und die Mehrwortbenennungen den größten Teil des chemiebezogenen englischen Fachwortschatzes auszumachen<sup>78</sup>, durch die die hohe Flexibilität der Sprache in der Anreicherung des (Fach-)Wortschatzes zum Ausdruck kommt (vgl. Voss/Füchtner 2000: 345). Voss und Füchtner (ebd.: 345) sehen darin auch einen der Gründe für die weite Verbreitung des Englischen, was sich zunehmend auch in der Fachkommunikation in naturwissenschaftlich-technischen Bereichen bemerkbar macht.

<sup>77</sup> Nicht alle Zusammensetzungen sind im Deutschen auf dieselbe Weise gebildet worden wie im Englischen: z. B. *Schwerkraft* ist im Englische *gravity*.

<sup>78</sup> Diese Aussage ist empirisch nicht belegt und müsste demzufolge überprüft werden.

## 7.2 Gütekriterien aus berufs-/fachdidaktischer Sicht

Wie einleitend von Kap. 7 (S. 65) hervorgehoben wurde, spielen Fachtexte, insbesondere Lehrbuchtexte, bei der Wissensaneignung und -vermittlung eine wesentliche Rolle. Ausgangspunkt für die Auseinandersetzung und Erschließung fachlicher Sachverhalte sind die Problemstellung und die damit zu klärenden Inhalte. Diese Auseinandersetzung und Erschließung fachlicher Sachverhalte ist zunächst auf Lehrendenseite zu vollziehen, bei der in der Regel eine Auswahl von Fachbuch-/Lehrbuchtexten sowie bereits vorhandene Unterrichtsmaterialien genutzt werden. Da in Lehr-Lern-Settings oftmals Texte zur Wissensaneignung eingesetzt werden, ist für deren Auswahl auf der Grundlage der vorgestellten Merkmale (s. Kap. 7.1.2, S. 69–90) der Schwierigkeitsgrad und die Verständlichkeit von Fachtexten zu beurteilen, um sicherzustellen, dass die Texte an die fachlichen und sprachlichen Voraussetzung der Adressaten anknüpfen. Wie noch später im Kap. 8 (S. 97) gezeigt werden wird, sind die wenigsten deutschen Fachtexte als Lehrtext für Schülerinnen und Schüler zur Wissensaneignung geeignet, da ihre Argumentationslinien nur lückenhaft sind und z. T. Wissen voraussetzen, das Lernende nicht unbedingt haben. Aus berufs-/fachdidaktischer Perspektive sind folgende Aspekte von besonderer Bedeutung, die im Folgenden näher ausgeführt werden:

- Motivation/Zielorientierung durch Bezug zu alltäglichen und/oder beruflichen Problemstellungen (s. Kap. 7.2.1, S. 91)
- Art der Textgestaltung sowohl optisch als auch sprachlich (s. Kap. 7.2.2, S. 93)
- Adressatenorientierung und logischer Aufbau der zu erschließenden Begründungszusammenhänge (s. Kap. 7.2.3, S. 95)

### 7.2.1 Bezug zu alltäglichen und/oder beruflichen Problemstellungen

Zur Motivation/Zielorientierung gehört aus berufs-/fachdidaktischer Sicht, einen Bezug zur Lebens- und perspektivisch Arbeitswelt der Lernenden herzustellen. Ein solcher Bezug lässt Lernende die Relevanz eines Themas erkennen, was sich wiederum positiv auf ihren Lernprozess auswirkt. Diesen Sachverhalt bestätigen neben fachdidaktischen und kognitionspsychologischen Studien (vgl. Blömeke et al. 2006: 334; Heckhausen/Rheinberg 1980; Vollmeyer/Rheinberg 1998; Hofer 2004), insbesondere sprachübergreifende (cross-linguistic) und kognitiv-sprachliche (cognitive-linguistic) Studien. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass sich sprachliche Merkmale (language phenomena) anhand mentaler, wahrnehmbarer und physikalischer Eigenschaften, die sich zu einer „Gestalt“<sup>79</sup> vereinigen, erklären lassen. Diese „Gestalten“ liefern maximale Information mit geringstem kognitiven Aufwand (Langacker 2002; Langacker 1995; vgl. Hudson 1992; Gastão Saliés 2004: 301). Relevanz steht demnach in direkter Beziehung zum Verstehen in kürzest möglicher Zeit:

---

<sup>79</sup> Damit sind Strukturen und Ordnungsprinzipien in Form von Sinneseindrücken gemeint (vgl. Metzger 1968: 62–65).



Finally, it has demonstrated, from the perspective of communication studies (Sperber and Wilson 1995), that the accessibility of contextual assumptions relates to the cost of processing and is key to comprehension. In other words, relevance is directly related to comprehending in the least time possible.“ (ebd.: 302)

Eine solche Motivation und Zielorientierung in Texten ist in der Zweckbestimmung des Textes enthalten, die potenzielle Rezipienten zunächst identifizieren und mit ihren Erwartungen in Beziehung setzen. Entspricht ein Text nicht den Erwartungen eines Rezipienten, sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass sich der Rezipient mit den Inhalten des Textes auseinandersetzt (vgl. Sager 1991:245–246). In Lehr-Lernkontexten mag dem Lehrenden eine mediiierende und rezipierförderliche Rolle zukommen, sodass von Lernenden bei der Wissensaneignung die Relevanz der eingesetzten Texte erkannt wird, um dadurch die Auseinandersetzung mit den Inhalten des Textes zu motivieren.

Lehrbuchtexte zeichnen sich neben der deskriptiven durch die argumentative Textfunktion aus (s. Kap. 7.1.2.1a, S. 69). Die Tatsache, dass Lehrbuchtexte konsultiert werden, liegt in dem Informationsgefälle zwischen dem Sender (Textproduzent) und dem Empfänger (Textrezipient) begründet. Sie dienen also der Wissensaneignung und werden nicht nur für die fachliche und interfachliche Kommunikation, sondern auch die fachexterne Kommunikation verfasst (s. Kap. 7.1.2.1b, S. 70). Das Spektrum der potenziellen Rezipienten führt zu der Grundproblematik, dass Autoren von Lehrbüchern nicht das Vorwissen jedes einzelnen Rezipienten im Blick haben bzw. bedienen können. Die Textproduktion ist in der vom Textproduzenten getroffenen Annahme des vorhandenen Vorwissens der Rezipienten begründet. Dabei mag der Textproduzent diese Annahme hinsichtlich eines Individuums oder einer Gruppe von Rezipienten spezifizieren. Bei Lehrbüchern ist eher Letzteres der Fall. Die Gruppe der Rezipienten wird dabei nach den Kompetenzstufen des Bildungssystems klassifiziert (Lehrbücher für die Primarstufe, Sekundarstufe, den tertiären Bereich) und innerhalb dieser Klassifikation noch binnendifferenziert (vgl. ebd.: 247–248).

Trotz der hohen Qualitätsansprüche, die mit der Produktion von Lehrbüchern verbunden sind (s. Kap. 7.1.2.1d, S. 71), ist oftmals eine Überarbeitung oder Ergänzung dieser Texte für spezifische Lehr-Lern-Settings unumgänglich. Darüber hinaus ist die Inhaltsstruktur von Lehrbüchern, die einer eher fachsystematischen Logik folgt, ein weiterer Aspekt, der die Notwendigkeit, Lehrtexte speziell für den Anwendungskontext zu verfassen bzw. zu adaptieren, verdeutlicht. Die Inhaltsstruktur von Lehrbüchern einer fachsystematischen Logik folgen zu lassen, mag für den partiellen und wiederholten Gebrauch dieser geeignet sein (s. Kap. 7.1.2.1d, S. 71), muss aber nicht notwendigerweise der Logik der Erkenntnisgewinnung im Lernprozess des Unterrichts entsprechen. Natürlich sind auch Inkonsistenzen im Stil und in den Argumentationslinien innerhalb eines Lehrbuches, die auf die unterschiedlichen Verfasser zurückzuführen sind (s. Kap. 7.1.2.1b, S. 69), nicht zu vernachlässigen und ggf. für das spezielle Lehr-Lern-Setting zu bereinigen. Somit werden im Folgenden Aspekte der Lehrtextgestaltung betrachtet, die letztendlich auch Thema in der fachdidaktischen Ausbildung von Lehrkräften sind bzw. sein sollten.

### 7.2.2 Äußere und sprachliche Textgestaltung

Rezipienten, ob Lehrende oder Lernende, sind durch die Textdokumente, die sie über die Jahre rezipiert haben, konditioniert (vgl. Langer 1979:242 zum Teufelskreis der Schwerverständlichkeit von Texten<sup>80</sup>). Dabei hat sich jedes Individuum Lesegewohnheiten angeeignet, um den Umfang an Texten im Privat-, Schul- und Arbeitsleben möglichst gut zu bewältigen. So sondieren Textrezipienten, ob sie durch einen Text als Individuum, als Mitglied einer kleinen Gruppe oder der allgemeinen Öffentlichkeit adressiert werden. Jede Abweichung der gewohnten Kommunikationsformen erfordert mehr Aufmerksamkeit und Rezeptionsaufwand, der sicherlich nur dann aufgebracht wird, wenn der Inhalt eines Dokumentes den zusätzlichen Aufwand rechtfertigt (Sager 1991:248). Somit werden im Folgenden die zuvor dargestellten textinternen Kriterien hervorgehoben, die sich positiv auf die Textrezeption auswirken – positiv in dem Sinne, dass die Barriere, sich mit dem Inhalt des Textes auseinanderzusetzen, möglichst gering gehalten wird –, ungeachtet der kulturspezifischen Unterschiede zwischen deutschen und englischen Texten (zu kulturspezifischen Unterschieden s. Kap. 7.1.2.22, S. 71).

Die Makrostruktur hilft dem Leser, sich zu orientieren (s. Kap. 7.1.2.2a, S. 73). Bei der Zusammenstellung von Texten aus einem oder mehreren Lehrbüchern oder auch bei der Erstellung eigener Lehrtexte sollten Überschriften, Seitenzahlen, Verweise auf Abbildungen enthalten sein, dass Lernende leicht den inhaltlichen Aufbau des Textmaterials erfassen können. Genauso unterstützen syntaktische Fertigstücke (s. Kap. 7.1.2.2a, S. 74) und metasprachliche Elemente (s. Kap. 7.1.2.2d, S. 77–78) die Textrezeption.

Die Darstellung komplexer Begründungszusammenhänge korreliert mit der syntaktischen Komplexität von Texten, die sich in der Verwendung von Nominalisierungen und Adverbialsätzen widerspiegelt (s. Kap. 7.1.2.3b, S. 83–86). Adverbialsätze verweisen auf die logische Beziehung zwischen Sätzen und sind daher für die Darstellung von komplexen Zusammenhängen unverzichtbar. Dabei ist es wichtig, dass eine logische Struktur mit den Konjunktionen (Satzverbindungen) eingehalten wird (vgl. Anselm/Werani 2017).

„Bei allen Satzgefügen ist wichtig, dass eine logische Struktur mit den Konjunktionen (Satzverbindungen) eingehalten wird. Damit wird einerseits der rote Faden in kommunikativen Prozessen aufrechterhalten und andererseits wirkt sich diese Form der Sprachlogik auch auf die Denkllogik aus – bspw. bei sowohl/als auch, entweder/oder, einerseits/andererseits. Wichtig sind in diesem Zusammenhang auch Adverbialsätze.“ (ebd.: 133)

Wie bereits im Kap. 7.1.2.3c (S. 85) aufgezeigt wurde, steuert die kommunikative Funktion die syntaktische Komplexität und die Nebensatzverteilung in den verschiedenen Textsorten. So kommen bspw. nach Göpferichs (1995) Textsortenanalysenergebnissen in fortschrittsorientiert-aktualisierenden Textsorten und Lehrbüchern Adverbialsätze mit kausaler Funkti-

<sup>80</sup> „Die Schwerverständlichkeit von Texten dürfte sich ebenfalls über das Lernen am Vorbild verbreitet haben: Textautoren finden viele schlechte Textvorbilder vor, orientieren sich an den bisherigen sprachlichen Darstellungen und tragen so zum Teufelskreis der Schwerverständlichkeit bei.“ (ebd.: 242)

on besonders häufig vor (s. Kap. 7.1.2.3c, S. 86), was erwartungskonform mit der argumentativen Funktion dieser Textsorten ist. d.h. in diesen Textsorten steht die Darlegung von Begründungszusammenhängen im Mittelpunkt. Inwiefern diese Begründungszusammenhänge für den Rezipienten nachvollziehbar sind, wird im Kap. 7.2.3 (S. 95) ausgeführt.

Bei der inhaltlichen Verarbeitung von Sätzen sind u.a. Zusammenhänge zwischen grammatischen Strukturmerkmalen und den kognitiven Mechanismen zu betrachten, die im Rahmen dieser Arbeit nur kurz umrissen werden. Sprachwissenschaftliche Diskursanalysen und kommunikationswissenschaftliche Analysen liefern dazu wertvolle Einsichten. Da später im hochschuldidaktischen Lehr-Lernkonzept dieser Arbeit englisches Textmaterial eingesetzt wird, beziehen sich die Ausführungen dazu auf Studien englischer und kulturübergreifender Diskursanalysen (Chafe 1994, Givón 1995, Gastão Saliés 2004). Manche Aspekte sind allerdings genauso relevant für deutschsprachige Texte.

Ein Aspekt betrifft anaphorische Verweise, die sprachliche Mittel der Textkohäsion sind (s. S. 81) und auf dem Grundprinzip der Wiederholung oder der verweisenden Wiederaufnahme aufbauen. Sie tragen dazu bei, dass ein zusammenhängender Diskurs zeitsparender verarbeitet wird (vgl. Givón 1995: 105). Genauso kann über das Konzept der „Aktivierungskosten“ (activation costs) abgeleitet werden, wie aufwendig die Informationsverarbeitung für Beteiligte eines Diskurses ist (vgl. Gastão Saliés 2004: 302). Chafe (1994: 72–73) unterscheidet dazu vorhandene (given information), abrufbare bzw. zugängliche (accessible information) und neue (new or newly activated information) Informationen. Auch wenn Chafe (ebd.) sich dabei auf die mündliche Kommunikation bezieht, ist dieses Konzept auch auf die Verarbeitung schriftlicher Informationen übertragbar. Information ist nach Chafe (ebd.) vorhanden, wenn der zu kommunizierende Inhalt beim Sprecher/Produzenten bzw. Hörer/Rezipienten aktiviert ist und somit direkt verbalisierbar bzw. rezipierbar ist. Abrufbar bzw. zugänglich ist die Information, die beim Hörer/Rezipienten halbaktiv (semiactive) ist und aktiviert wird, wenn sie vom Sprecher/Produzenten verbalisiert wird. Ist die zu verarbeitende Information beim Hörer/Rezipienten inaktiv, wird sie vom Sprecher/Produzenten als neue Information verbalisiert, was für den Hörer/Rezipienten kognitiv am aufwendigsten ist.

„It is helpful to think of these three processes in terms of cognitive cost: given information is least costly in the transition from  $t_1$  to  $t_2$  because it was already active at  $t_1$ . Accessible information is somewhat more costly, and new information is the most costly of all, presumably because more mental effort is involved in converting an idea from the inactive to the active state.“ (ebd.: 73)

Dies ist auch bei der Textgestaltung zu berücksichtigen, wenn Argumentationslinien zur Klärung eines fachlichen Sachverhaltes konstruiert werden (s. Kap. 7.2.3, S. 95). Kohärenz von Texten, insbesondere schriftlichen, ist aus textlinguistischer Sicht eines ihrer wesentlichen Merkmale. Sie wird nicht nur durch offensichtliche Marker erzeugt wie anaphorische Verweise oder Konjunktionen, sondern entsteht im Kopf (mind) der Textverarbeitenden, die kontextgebundene Aussagen eines Textes mit ihrem Weltwissen in Zusammenhang bringen und damit die Einzelaussagen zu einem kohärenten Ganzen zusammenfügen (vgl. San-

ford/Moxey 1995:162–163). Dieses Kohärenzverständnis geht über die Position wie die von Reinhart (1980 in ebd.:164) hinaus, der drei Merkmale ideal kohärenter Texte formuliert:

- Kohäsion (connectedness): Sätze eines Textes sollten formal verbunden sein, indem benachbarte Satzpaare entweder miteinander in Beziehung gesetzt werden (referentially linked) oder durch semantische Konnektoren (semantic connectors) verbunden werden.
- Konsistenz (consistency): Jeder Satz muss logisch konsistent zum vorherigen Satz sein.
- Relevanz (relevance): Jeder Satz eines Diskurses muss für das Thema des Diskurses relevant sein.

Nach dem Kohärenzverständnis von Sanford und Moxey (ebd.: 164) ist ein Text kohärent, wenn er beim Rezipienten den Verstehensprozess fördert. In welcher Weise die Nachvollziehbarkeit fachlicher Begründungszusammenhänge gewährleistet werden kann, wird im Kap. 7.2.3 (S. 95) erörtert (vgl. Langer 1979: 232 zu innerer Folgerichtigkeit<sup>81</sup>). Dabei liegt der Fokus auf dem Aspekt Konsistenz (consistency). Weitere Textgestaltungsaspekte zur besseren Verständlichkeit von Texten werden in Kap. 18.3.3 (S. 365) im Zusammenhang mit der Aufbereitung des Textmaterials des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten hochschuldidaktischen Lehrkonzeptes ausgeführt.

### **7.2.3 Nachvollziehbarkeit der ausgeführten Begründungszusammenhänge fachlicher Sachverhalte**

Die Bedeutung von Argumentationen für Lernprozesse stellte bereits Habermas heraus (Habermas 1987: 38–39). Lernprozesse sind rationalen Sprach- und Denkhandlungen unterworfen, durch die Wissen angeeignet wird. Ein solcher Wissenserwerb, der durch die inhaltliche Auseinandersetzung mit Sachverhalten geprägt ist, setzt voraus, dass die jeweiligen Sachverhalte so dargelegt werden, dass durch die Rezipienten Geltungsansprüche (ggf. auch strittige) thematisiert und mit Argumenten eingelöst oder kritisiert werden können. Es ist die Begründbarkeit und damit Kritisierbarkeit von Handlungen, die Habermas solche Handlungen als rational einstufen lässt (ebd.: 25). Beides bedeutet, das eigene Denken und Handeln kritisch zu hinterfragen, um Handlungen und konzeptuelle Vorstellungen von Sachverhalten zu optimieren. Letzteres ist mit höherem fachlichem Tiefenverständnis verbunden, das Voraussetzung dafür ist, dass solche Art Reflexionsprozesse im Unterricht initiiert und erkenntnisgewinnend geführt werden (vgl. Shulman 1986: 13).

„The teacher is not only a master of procedure but also of content and rationale, and capable of explaining why something is done. The teacher is capable of reflection leading to self-knowledge, the metacognitive

---

<sup>81</sup> Damit ist gemeint, dass „die Sätze nicht beziehungslos nebeneinander stehen, sondern folgerichtig aufeinander bezogen sind und daß [sic] die Informationen in einer sinnvollen Reihenfolge dargeboten werden“ (ebd.: 232).

awareness that distinguishes draftsman from architect, bookkeeper from auditor. A professional is capable not only of practicing and understanding his or her craft, but of communicating the reasons for professional decisions and actions to others (see Shulman, 1983). Reinforcement and conditioning guarantee behavior, and training produces predictable outcomes; knowledge guarantees only freedom, only the flexibility to judge, to weigh alternatives, to reason about both ends and means, and then to act while reflecting upon one's actions. Knowledge guarantees only grounded unpredictability, the exercise of reasoned judgment rather than the display of correct behavior.“ (ebd.: 13)

Die inhaltliche Auseinandersetzung mit Sachverhalten, ob als Lehrender oder Lernender, erfolgt in der Regel über Texte unterschiedlicher Art. Mündliche sowie schriftliche Fachtexte dienen im Wesentlichen der Repräsentation von Wissen oder Informationen im Speziellen (vgl. Hennings 1991: 5) zum Zweck der Aneignung durch Andere. Vor diesem Hintergrund wird die Inhaltsstruktur von Lehrbuchtexten analysiert und aus fach-/berufsdidaktischer Sicht bewertet. Die Analyse der Lehrbücher zur Chromatografie sind dann auch die Grundlage für die Textauswahl des entwickelten hochschuldidaktischen Lehr-Lernkonzeptes, das der Fallstudie dieser Arbeit zugrunde liegt.

## **8 Analyse von Lehrbuchtexten anhand der Inhaltsstruktur**

Die Adressatenbezogenheit englischer Fachtexte ist ein wesentlicher Grund, sie im Rahmen der Fallstudie dieser Arbeit für die Erschließung fachlicher Zusammenhänge einzusetzen, wie bereits einleitend herausgestellt wurde. Die bessere Adressatenorientierung englischer Texte gegenüber deutschen besteht z.B. in einer stärkeren Verwendung metasprachlicher Elemente (advance organisers), einer besseren Ausgewogenheit in der Ausführung einzelner Propositionen und einer eher linearen Diskursstruktur (vgl. Göpferich 1995:446–447). Der zuletzt genannte Aspekt ist von besonderer Relevanz für die Betrachtung fachlicher Begründungszusammenhänge. Daher liegt der Schwerpunkt der weiteren Ausführungen auf den Argumentationslinien, die in ausgewählten deutschen und englischen Lehrbuchtexten vorliegen. Dazu werden zunächst die Grundlagen der Argumentationstheorie umrissen und mit den im Kap.6.4.1 (S.40) dargestellten Ansätzen zur sachlogischen Strukturierung von Fachinhalten in Zusammenhang gebracht, um auf dieser Basis die Vollständigkeit der Argumentationslinien in naturwissenschaftlich-technischen Texten zu analysieren und zu bewerten.

### **8.1 Beurteilung von Argumentationslinien in naturwissenschaftlich-technischen Texten**

Bei der Wissensaneignung durch Texte werden Rezipienten durch die Inhaltsstruktur des Textes in ihren Denkprozessen bei der Verarbeitung der rezipierten Informationen geleitet. Dabei spielen deduktive, induktive und abduktive Prozesse (s. Kap.6.4.2, S.47) eine Rolle. In Anlehnung an die Ausführungen im Kap.6.4.2 zum Zusammenspiel dieser drei Schließverfahren werden Grundlagen aus der Argumentationstheorie zusammengefasst, um klarzustellen, was unter Güte und Vollständigkeit von Argumentationslinien zu verstehen ist. Danach werden konkret Analysenergebnisse aus Textvergleichen zu den Themen „Wasser“ unter dem Stoffaspekt (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck), „Erdölraffination“ unter dem Verfahrensaspekt (vgl. Düwel 2019) und „Chromatografie“ unter dem Verfahrens- und Analysenaspekt (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019) diskutiert.

#### **8.1.1 Concept Maps als Hilfsmittel für die berufs- und fachdidaktische Textanalyse**

Grundlage der Inhaltsaufbereitung und Inhaltsanalyse für den Chemieunterricht sind sachlogische Strukturierungsansätze für Stoff- und Prozessaspekte im Kontext naturwissenschaftlicher und technischer Betrachtungen, wie bereits im Kap.6.4.1 (S.40) ausgeführt wurde. Die logischen Zusammenhänge, die zu einem Sachverhalt hergestellt werden können, werden in allgemeinen Schemata dargestellt. Eine Möglichkeit der schematischen Darstellung, über die propositionale Inhaltseinheiten gewonnen werden, die für die Analyse von Argumentationslinien benötigt werden, sind Begriffsnetze (Concept Maps). In Concept Maps sind Begriffe in ihrer Relation zu anderen dargestellt. Dazu werden miteinander in Beziehung stehende Begriffe durch beschriftete Pfeile verbunden. Verknüpfungswörter sind häufig Verben (möglichst im Aktiv), es können aber auch Adjektive, Adverbien oder Konjunktionen enthalten sein. Auf diese Weise entsteht ein Netzwerk von Propositionen (Aus-

sagen), die nach Inhaltsaspekten kategorisiert werden können, um so aufeinanderaufbauende Propositionen zu gruppieren<sup>82</sup> (s. Kap. 12.3.2.1, S. 192–193). Argumentationslinien beschränken sich allerdings nicht nur auf Propositionen einer kategorialen Einheit. Je nach zu klärender Fragestellung kann sich eine Argumentationslinie auch aus Propositionen verschiedener kategorialer Einheiten zusammensetzen.<sup>83</sup> Die so entstehenden Argumentationslinien sind vergleichbar mit dem Baumdiagramm in Abb. 10 (S. 100).

Die zweidimensionale Strukturdarstellung eines Inhaltsbereiches in Form eines Netzwerkes (Concept Maps) bietet verschiedene Einsatzfelder. Concept Maps werden eingesetzt, um bspw. den Wissensstand von Lernenden vor und nach einer Lerneinheit zu ermitteln<sup>84</sup>, in Lernprozessen Wissensstrukturen der Lernenden zu erfassen (Fischler/Peuckert 2000: 2–8), den Lernprozess bei der Erarbeitung komplexer Problemstellungen zu unterstützen<sup>85</sup> oder Texte zu einem Thema inhaltlich miteinander zu vergleichen<sup>86</sup>. Denkbar wäre auch Erwartungsbilder zu Anwendungsaufgaben zu erstellen, in denen Begründungszusammenhänge darzulegen sind.

Ein Concept Map unterscheidet sich von einer Mind Map dadurch, dass die Beziehung zwischen zwei miteinander verbundenen Begriffen genau bezeichnet werden muss (vgl. Fürstenau 2011: 46). Um Concept Maps für die oben genannten Zwecke nutzen zu können, sind Konstruktionsprinzipien zu beachten (vgl. Düwel 2018a: 43; Fürstenau 2018: 11–16), deren Anwendung bei sehr komplexen Themen nicht unproblematisch ist. Im Zuge der Erstellung der Experten-Concept Maps, die für die oben genannten Textvergleiche (s. S. 97) zugrunde gelegt wurden, konnten diese Konstruktionsprinzipien zunehmend präzisiert werden. Da bspw. im naturwissenschaftlichen Bereich Zustände oder Vorgänge an Bedingungen geknüpft sind, müssen diese in den Relationen berücksichtigt werden, da Propositionen sonst nicht widerspruchsfrei interpretierbar sind. Die Konstruktionsprinzipien, nach denen die Concept Maps auch in der Fallstudie dieser Arbeit zu erstellen waren, sind ausführlich im Anhang (s. Kap. 18.4, S. 368) beschrieben.

Auf dieser Grundlage wurden Experten-Concept Maps zu den Themen „Wasser“ unter dem Stoffaspekt (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck, s. Kap. 16.1, S. 349), „Erdölraffination“ unter dem Verfahrensaspekt (vgl. Düwel 2019; s. Kap. 16.2, S. 354) und „Chromatografie“ unter dem Verfahrens- und Analysenaspekt (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019; s. Kap. 16.3, S. 355) erstellt, die Grundlage für die berufs-/fachdidaktische Analyse der Argumentationslinien in den Lehrbuchtexten war.

---

<sup>82</sup> vgl. Düwel (2019: 25); Düwel/Eichhorn/Niethammer (2019: 7–8)

<sup>83</sup> vgl. ebd.: 10–15; Düwel/Eichhorn/Niethammer (im Druck)

<sup>84</sup> vgl. Novak/Gowin (1984: 15, 94–95); Ruiz-Primo and Shavelson (1996: 573)

<sup>85</sup> vgl. Fürstenau/Ryssel (2019); Fürstenau/Kneppers/Dekker (2012); Fürstenau/Kneppers (2014); Fürstenau/Kneppers (2010); Hilbert et al. (2008)

<sup>86</sup> vgl. Düwel (2019); Düwel/Eichhorn/Niethammer (2019); Düwel/Eichhorn/Niethammer (im Druck)

### 8.1.2 Kriterien zur Beurteilung der Güte und Vollständigkeit von Argumentationslinien

Bereits das Bohnenbeispiel zur Veranschaulichung der drei Schließverfahren in Tab.4 (S.49) folgt dem Schema der Normalform eines Argumentes, die wie folgt aussieht (vgl. Beckermann 2003: 7–12):

(P1) erste Prämisse

(Pn) n-te Prämisse

(K) Konklusion

Charakteristisch für die Normalform ist:

1. Alle Prämissen und die Konklusion sind ausformuliert.
2. Alles, was weder Prämisse noch Konklusion ist, entfällt.
3. Die Prämissen stehen getrennt voneinander und nummeriert am Anfang des Arguments.
4. Die Konklusion am Ende des Arguments wird gekennzeichnet durch ein ‘Also‘.

Die Güte eines Argumentes wird nach den Kriterien Gültigkeit und Schlüssigkeit beurteilt. Argumente sind gültig, wenn die Konklusion logisch aus den Prämissen folgt. Damit wäre auch die Argumentationslinie in Bezug auf das betrachtete Argument vollständig. Im nächsten Schritt ist die Validität der Prämissen und der Konklusion zu prüfen. Sind die Prämissen wahr, spricht das dafür, dass auch die Konklusion wahr sein muss. Ist eine der Prämissen nicht wahr, dann kann das Argument zwar gültig sein, aber nicht schlüssig. Schlüssig ist ein Argument genau dann, wenn es gültig ist und alle Prämissen wahr sind (vgl. ebd.:27).

In Bezug auf die in Kap.6.4.2 (S.47) dargelegten Schließverfahren können entsprechend der Normalform eines Argumentes die den Theorien zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten (auch abduktiv gewonnenen Hypothesen) als Konklusionen betrachtet werden, die auf Prämissen (Aussagen/Regeln) beruhen, die sich u.a. auf empirische Befunde von Einzelfällen stützen (induktive Prüfung). Die somit zu betrachtenden Argumente sind daher überwiegend als induktive bzw. nicht-deduktive Argumente einzuordnen. Im Unterschied zu deduktiv schlüssigen Argumenten, ist ein nicht-deduktives Argument nicht deduktiv gültig, aber schlüssig, wenn alle seine Prämissen wahr sind (vgl. ebd.:33). „Wesentliches Merkmal induktiver Argumente ist, dass die Güte des empirischen Befundes entscheidend für den Wahrheitsgehalt der Prämissen und damit für die Schlüssigkeit des Argumentes ist. Die Themen im Fach Chemie beziehen sich auf sehr gut erforschte Sachverhalte, sodass der Wahrheitsgehalt der Prämissen als sehr hoch einzustufen ist“ (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019:4; vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck).

Da es bei den später zu diskutierenden Analysenergebnissen aus den oben genannten Textvergleichen (s. S.97) um naturwissenschaftlich-technische Themen geht, beschränken sich die Ausführungen zu Funktion, Struktur und Güte von Argumentationen im Rahmen dieser Arbeit auf relevante Aspekte in naturwissenschaftlichen Kontexten. Wie in Düwel/Eichhorn/Niethammer (2019:4) ausgeführt wurde, geht es in diesen Kontexten primär



darum, beobachtbare Phänomene (Quaestio) mit Hilfe von Gesetzmäßigkeiten (Prämissen und Schließregeln, auch Argument) zu erklären, die entweder bekannt sind oder gefunden bzw. erschlossen werden müssen. Diese Herangehensweise ist analog zur Definition des Begriffes „Argumentation“ nach Klein (1980:19; vgl. Habermas 1987:38–39), wonach eine Argumentation der Versuch ist, etwas kollektiv Fragliches (die Konklusion oder Quaestio) mit Hilfe des kollektiv Geltenden (Prämissen und Schließregeln, auch Argument) in kollektiv Geltendes (Antwort auf Quaestio) zu überführen. Diese Definition ist, obwohl sie sich auf eine sprachwissenschaftliche Betrachtung von Argumentationen bezieht, wie sie in Alltagskontexten vorkommen können, genauso auf Argumentationen in naturwissenschaftlichen Kontexten übertragbar (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019:4).

Geht man davon aus, dass Rezipienten eines Argumentes unterschiedliches Vorwissen haben, müssen Argumentationen in der Darstellung eines Baumgraphen (vgl. Klein 1980) an unterschiedlichen Knotenpunkten ansetzen. Die Kanten bzw. Teilbäume eines solchen Baumgraphen bezeichnen legitime Übergänge, während die Wurzel des Baumgraphen die Antwort auf die Quaestio ist.

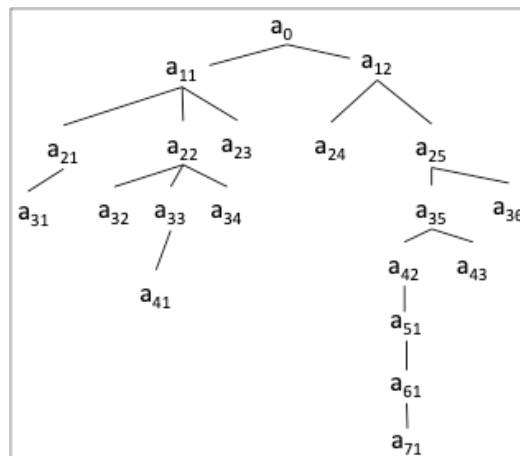


Abb. 10: Darstellung eines Arguments als Baumgraph (Klein 1980:15)

Der Verzweigungsgrad einer als Baumgraph dargestellten Argumentation kann je nach Komplexität der Quaestio variieren. Dabei kann jeder Knotenpunkt für sich zur Quaestio werden und der Linie folgend vom nächsten Knotenpunkt gestützt werden. „Der Begriff ‚Argumentationslinie‘ ist daher nicht immer als linear verlaufend zu verstehen, sondern in der kaskadenähnlichen Folge aufeinander aufbauender Prämissen zur Stützung der Antwort auf die jeweilige Quaestio“ (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019:4).

## 8.2 Textvergleiche und Ergebnisse

Ausgewählt wurden aufeinanderfolgende Absätze aus deutschen und englischen Lehrbüchern, die im Bereich der Sekundarstufe oder auch im tertiären Bereich eingesetzt werden. Die Textauswahl und die gewonnenen Ergebnisse der Textanalysen werden für die jeweiligen Themen in den Kapiteln 8.2.1 bis 8.2.3 kurz zusammengefasst. Um die Vollständigkeit

von Argumentationslinien in den ausgewählten Texten zu vergleichen, wurde auf der Grundlage des zu dem jeweiligen Thema erstellten Experten-Concept Maps das Vorkommen von Propositionen in den jeweiligen Texten, die zur Begründung eines zu erklärenden Sachverhaltes erforderlich sind, untersucht. Dieses Analysenverfahren ist so aufwendig, dass die Analyse zunächst nur auf wenige Textbeispiele gestützt wird. Die Ergebnisse beziehen sich somit nur auf die gewählte Stichprobe<sup>87</sup> und lassen keine Verallgemeinerungen auf alle der zu den jeweiligen Themen gehörenden Texte der Grundgesamtheit zu. Von den ausgewählten Texten eines Lehrbuches wurden auch nur wenige aufeinanderfolgende Absätze ausgewählt, da der Fokus der Analyse vor dem Hintergrund der Forschungsfragen im Rahmen dieser Arbeit darauf liegt, wie nah relevante Aussagen zur Klärung eines Sachverhaltes in einem Lehrbuch angeordnet sind und nicht darauf, ob sie überhaupt vorkommen.<sup>88</sup>

### 8.2.1 Textvergleich zum Thema „Wasser“ unter dem Stoffaspekt

Verglichen wurden fünf bzw. vier aufeinanderfolgende Absätze aus je einem englischen und deutschen Fachbuch zum Thema „Wasser“. Beide Fachbücher finden im Bereich der Sekundarstufe II und im Hochschulbereich Anwendung. Daraus folgt, dass sie für einen vergleichbaren Adressatenkreis verfasst wurden. Zunächst wurden zu den Textausschnitten der jeweiligen Fachbücher Concept Maps (s. Abb. A 3, S. 353, Abb. A 4, S. 353) erstellt. Bereits die Gegenüberstellung der Concept Maps verdeutlichte, dass in den Texten trotz inhaltlicher Parallelen Argumentationslinien unterschiedlich aufgebaut und untersetzt sind. Zum Vergleich der Argumentationslinien der Textausschnitte der beiden Fachbücher wurde ein Experten-Concept Map (s. Abb. A 2, S. 352) erstellt. Dazu wurden die Concept Maps zu den Textausschnitten der beiden Fachbücher zusammengeführt. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass die Aussagen, die in den Texten der beiden Lehrbücher vorkommen, auch in dem Experten-Concept Map abgedeckt sind. Da beide Texte die Begründungszusammenhänge zum Thema nur unvollständig ausführen, war es erforderlich, Propositionen zu verändern und zu ergänzen.

Aus dem konzipierten Experten-Concept Map entstand eine Propositionsliste mit 55 Propositionen (s. Tab. A 1, S. 350), die Grundlage für die qualitative Inhaltsanalyse der Texte war. Die Propositionen wurden nach Aspekten der sachlogischen Strukturierung der Inhalte unter dem Stoffaspekt geordnet.

Wie Düwel/Eichhorn/Niethammer (im Druck) zeigen konnten, „sind die Argumentationen im englischen Text kleinschrittiger ausgeführt, sodass Konklusionen ausreichend durch Aussagen gestützt werden [...]. Der deutsche Text dagegen lässt Aussagen aus, die für die zu treffende Konklusion erforderlich wären. Solche Argumentationen sind aus logischer Sicht nicht gültig“ (ebd.). Dieser Sachverhalt wird an einem Beispiel aus Düwel/Eichhorn/Niethammer (ebd.) veranschaulicht.

<sup>87</sup> Die Auswahl erfolgte nicht zufällig, sondern nach Inhaltskriterien und Adressatenkreis (Schülerinnen und Schüler im Bereich Sek. I/II oder Studierende des Faches Chemie).

<sup>88</sup> Für Letzteres müsste mindestens ein vollständiges Kapitel analysiert werden.

Die Begründung für die Konklusion, dass reines Wasser kaum leitfähig ist, wird zunächst in der Normalform eines Argumentes dargestellt. Damit kann die Argumentation leichter auf ihre Gültigkeit überprüft werden:

1. Prämisse: Ionen und Elektronen sind Ladungsträger und können frei beweglich sein.
2. Prämisse: Frei bewegliche Ladungsträger werden benötigt, um den elektrischen Strom zu leiten.
3. Prämisse: Geringe Leitfähigkeit ist gegeben, wenn nur geringe Zahl an frei beweglichen Ladungsträgern vorhanden ist.
4. Prämisse: Reines Wasser enthält eine nur sehr geringe Konzentration von frei beweglichen  $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen und  $\text{OH}^-$ -Ionen (nur  $10^{-7}$  mol/L) und alle Elektronen des reinen Wassers sind gebunden und nur eingeschränkt beweglich.

K: Also hat reines Wasser eine sehr geringe Leitfähigkeit des elektrischen Stromes.

Es zeigt sich, dass in den Texten nur Aussagen zur dritten und vierten Prämisse zu finden sind. Für eine aus logischer Sicht deduktiv gültige Argumentation, wie sie in Unterrichtskontexten erforderlich sein könnte<sup>89</sup>, müssten Aussagen zur ersten und zweiten Prämisse entsprechend ergänzt werden. Wie unterschiedlich die dritte und vierte Prämisse in den jeweiligen Lehrbüchern untersetzt werden, wird anhand von Tab. 20 und Tab. 21 deutlich.

Um die Leitfähigkeit<sup>90</sup> eines Mediums, ob gering oder hoch, zu begründen, müssen Strukturmerkmale der Teilchen des Mediums herausgestellt werden, die maßgeblich den Ladungsfluss bewirken, aus dem letztendlich die Leitfähigkeit als bestimmbare physikalische Größe resultiert. Das sind Elektronen und Ionen, wobei Ionen als geladene Teilchen nur mittelbar am Leiten des Stromes beteiligt sind. Frei bewegliche Ionen „transportieren“ Elektronen, indem sie Redoxreaktionen an den jeweiligen Polen eines Stromkreises eingehen. Negativ geladene Ionen (Anionen) wandern zum positiven Pol einer elektrischen Quelle und werden durch Abgabe von Elektronen oxidiert. Positiv geladene Ionen (Kationen) wandern zum negativen Pol einer elektrischen Quelle und werden durch Aufnahme von Elektronen reduziert. Auf diese Weise werden Elektronen durch ionenhaltige wässrige Lösungen, wie sie bspw. in galvanischen Elementen (Batterien) vorliegen, durch Ionen transportiert. Voraussetzung dafür, dass ein Strom fließt, ist nicht nur das Vorhandensein geladener Teilchen, sondern auch eine von außen wirkende elektrische Quelle oder ein von außen wirkender elektrischer Verbraucher (z. B. Leuchtmittel), der die Elektronen in Bewegung versetzt.

<sup>89</sup> Hier wurde bewusst „könnte“ gewählt. Vergleichbar mit dem Baumgraph in Abb. 10 (S. 100) muss nicht jeder Knotenpunkt untersetzt werden. Nur müssen Lehrende darauf vorbereitet sein, dass die Antwort auf eine Quaestio, die hinter einem solchen Knotenpunkt steht, hinterfragt werden kann und dann zu begründen wäre.

<sup>90</sup> Die Leitfähigkeit entspricht dem Kehrwert des spezifischen Widerstandes eines elektrischen Leiters. Je geringer der spezifische Widerstand ist, desto ungehinderter können sich Elektronen durch den Leiter bewegen, desto höher ist die Leitfähigkeit.

Der Schwerpunkt der dritten Prämisse (Tab. 20) liegt auf dem Zusammenhang zwischen der Konzentration der frei beweglichen Ladungsträger und der daraus resultierenden Leitfähigkeit. Im Gegensatz zum englischen Text enthält der deutsche **nicht eine Aussage zur dritten Prämisse**, die zur Begründung des Phänomens der geringen Leitfähigkeit des Wasser getroffen werden müsste. Die Aussagen der dritten Prämisse wären allerdings für eine vollständige Darlegung der Begründungszusammenhänge notwendig. Die Tatsache, dass sie im deutschen Text nicht expliziert werden, zeigt, dass sie vom Autor des deutschen Textes als Vorwissen beim Adressaten bzw. Rezipienten vorausgesetzt werden.

Tab. 20: Propositionen zur 3. Prämisse, dass geringe Leitfähigkeit gegeben ist, wenn nur geringe Zahl an frei beweglichen Ladungsträgern vorhanden ist (Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck)

| Proposition                                                        | engl. Text<br>(Liptrot 1990) | dt. Text<br>(Christen 1985) |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| P1: Hydroxidion ist Ion                                            | 1                            | 0                           |
| P2: Hydroniumion ist Ion                                           | 1                            | 0                           |
| P3: Ion ist in wässriger Lösung frei bewegl. Ladungsträger         | 0                            | 0                           |
| P4: Wasser als Substanz hat gebunden Elektron                      | 0                            | 0                           |
| P5: Wasser als Substanz hat sehr gering Konzentration Hydroxidion  | 1                            | 0                           |
| P6: Wasser als Substanz hat sehr gering Konzentration Hydroniumion | 1                            | 0                           |
| K: Wasser als Substanz hat sehr gering Leitfähigkeit               | 1                            | 0                           |
| <b>SUMME</b>                                                       | <b>5</b>                     | <b>0</b>                    |

P: Prämisse; K: Konklusion; 1: Aussage kommt vor; 0: Aussage kommt nicht vor

Mit Blick auf die Aussagen, die der vierten Prämisse zugeordnet werden können (Tab. 21), werden zwar relevante Strukturmerkmale im deutschen Text benannt, aber nicht in Zusammenhang gebracht mit den einander bedingenden Begründungszusammenhängen (s. S. 102 in diesem Kapitel). Der englische Text hingegen liefert sie mehrheitlich.

Tab. 21: Propositionen zur 4. Prämisse, dass reines Wasser sehr geringe Konzentration  $H_3O^+$ -Ionen und  $OH^-$ -Ionen enthält und alle Elektronen des reinen Wassers gebunden und nur eingeschränkt beweglich sind (Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck)

| Proposition                                                                                                | engl. Text<br>(Liptrot 1990) | dt. Text<br>(Christen 1985) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| P1: Wasser rein ist Wasser als Substanz                                                                    | 1                            | 1                           |
| P2: Wasser als Substanz hat Strukturmerkmal                                                                | 1                            | 1                           |
| P3: Strukturmerkmal begründet Eigenschaft                                                                  | 1                            | 1                           |
| P4: Wasser als Substanz hat gewinkelt Molekül                                                              | 1                            | 1                           |
| P5: Molekül gewinkelt ist Strukturmerkmal.                                                                 | 1                            | 1                           |
| P6: Molekül gewinkelt hat zwei Wasserstoffatom                                                             | 1                            | 1                           |
| P7: Molekül gewinkelt hat ein Sauerstoffatom                                                               | 1                            | 1                           |
| P8: Sauerstoffatom hat zwei frei Elektronenpaar                                                            | 1                            | 1                           |
| P9: Sauerstoffatom hat zwei gebunden Elektronenpaar                                                        | 1                            | 1                           |
| P10: Wasserstoffatom zwei hat je ein gebunden Elektronenpaar                                               | 1                            | 1                           |
| P11: Anordnung EP tetraedrisch begründet gewinkelt Molekül                                                 | 0                            | 0                           |
| P12: Elektronenpaar hat gebunden Elektron                                                                  | 1                            | 0                           |
| P13: Elektronenpaar frei hat Platzbedarf                                                                   | 0                            | 0                           |
| P14: Elektronenpaar gebunden hat Platzbedarf                                                               | 0                            | 0                           |
| P15: Platzbedarf begründet tetraedrisch Anordnung Elektronenpaar                                           | 0                            | 0                           |
| P16: Anordnung Elektronenpaar tetraedrisch minimiert zwischen Elektronen Abstoßung.                        | 1                            | 0                           |
| P17: Elektronegativität ist relatives Maß für Anziehungskraft auf Bindungselektronen                       | 0                            | 0                           |
| P18: Sauerstoffatom hat hoch Elektronegativität                                                            | 1                            | 0                           |
| P19: Wasserstoffatom hat gering Elektronegativität                                                         | 0                            | 0                           |
| P20: Anziehungskraft auf Elektronen hoch am Sauerstoffatom begründet am Sauerstoffatom neg. Partialladung  | 1                            | 0                           |
| P21: Anziehungskraft auf Elektronen hoch am Sauerstoffatom begründet am Wasserstoffatom pos. Partialladung | 0                            | 0                           |
| P22: Sauerstoffatom hat negative Partialladung                                                             | 1                            | 0                           |
| P23: Wasserstoffatom hat positive Partialladung                                                            | 1                            | 0                           |
| P24: Molekül gewinkelt hat hoch Polarität                                                                  | 1                            | 1                           |
| P25: Protolyse ist zw. zwei Reaktanten Übertragung von Proton                                              | 0                            | 0                           |
| P26: Autoprotolyse ist Protolyse                                                                           | 0                            | 0                           |
| P27: Wasser als Substanz hat sehr gering Autoprotolyse                                                     | 0                            | 0                           |
| P28: Elektronenpaar frei am Sauerstoffatom mit neg. Partialladung begründet Protolyse                      | 1                            | 0                           |
| P29: Proton hat positive Ladung                                                                            | 0                            | 0                           |
| P30: Elektronenpaar frei am Sauerstoffatom bindet Proton                                                   | 1                            | 0                           |
| P31: Hydroxidion entsteht bei Autoprotolyse                                                                | 0                            | 0                           |
| P32: Hydroniumion entsteht bei Autoprotolyse                                                               | 0                            | 0                           |

| Proposition                                                          | engl. Text<br>(Liptrot 1990) | dt. Text<br>(Christen 1985) |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| K1: Wasser als Substanz hat sehr gering Konzentration Hydroxidionen  | 1                            | 0                           |
| K2: Wasser als Substanz hat sehr gering Konzentration Hydroniumionen | 1                            | 0                           |
| K3: Wasser als Substanz hat gebunden Elektron                        | 1                            | 0                           |
| <b>SUMME</b>                                                         | <b>22</b>                    | <b>11</b>                   |

P: Prämisse; K: Konklusion; 1: Aussage kommt vor; 0: Aussage kommt nicht vor

Es bestehen also nicht nur quantitative (Textausschnitt aus Liptrot 1990 deckt 64%, aus Christen 1985 26% der insgesamt 42 Propositionen ab), sondern vor allem auch qualitative Unterschiede zwischen den Ausführungen der analysierten Texte. Die so über das Experten-Concept Map (s. Abb. A 2, S. 352) identifizierten Lücken verdeutlichen, welche Aussagen nicht expliziert werden und je nach Vorkenntnissen nicht unbedingt als implizites Wissen vorausgesetzt werden können. Das herauszuarbeiten ist Bestandteil der Inhaltsanalyse und -aufbereitung für den Unterricht.

### 8.2.2 Textvergleich zum Thema „Erdölraffination“ unter dem Verfahrensaspekt

Die Ergebnisse des Textvergleichs zum Thema „Erdölraffination“ bestätigen die Befunde des Textvergleichs zum Thema „Wasser“. Verglichen wurden ein englischer und ein deutscher Lehrbuchtextabschnitt für die Sekundarstufe I sowie zwei deutsche Lehrbuchtextabschnitte für die Berufsbildung zur Erdölfraktionierung, die unmittelbar mit dem Verfahren der Erdölaufbereitung zu tun haben. Grundlage für den Textvergleich war wieder ein Experten-Concept Map (s. Abb. A 6, S. 354), aus dem eine Propositionsliste mit 37 Propositionen generiert wurde (s. Tab. 22), die Grundlage für die qualitative Inhaltsanalyse der Texte war. Die Propositionen wurden nach Aspekten der sachlogischen Strukturierung der Inhalte unter dem Verfahrensaspekt geordnet.

Wie in Düwel (2019: 23-26) ausführlich dargestellt wurde, treffen alle vier Texte Aussagen über den Prozess zur Änderung des Arbeitsgegenstandes (Erdöl) und die Prozesserscheinung (getrennte Erdölfraktionen), aber nur der englische Text thematisiert sachlogische Bezüge zu den Prozessparametern (Temperatur, Druck), die Voraussetzung für die Prozesserscheinung sind (vgl. Düwel/Niethammer 2017: 421). In den drei deutschen Texten werden die Prozessparameter in ihrem Zusammenwirken mit den anderen Aspekten nicht oder nur ansatzweise untersetzt. Sie sind damit weniger konsistent verfasst und vernachlässigen das Wirkprinzip des Verfahrens (s. Tab. 22; vgl. Düwel 2018a: 50).

Tab. 22: Abdeckungsgrad (rel.  $H$ ) der Propositionen ( $H_{\max} = 39$ ) zum Thema Erdölraffination (Düwel 2019: 25)

|                                                                 | Sekundarstufe I |              | Berufsbildung |              | rel. $H$ |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|----------|
|                                                                 | E1              | D1           | D2            | D3           | je Code  |
| <b>K01V Verfahrensbeschreibung Apparative Seite</b>             |                 |              |               |              |          |
| K01V_01 fraktionierte Destillation ist Trennverfahren           | 1               | 1            | 1             | 1            | 100,0%   |
| K01V_02 Trennverfahren für Stoffgemisch KW                      | 1               | 1            | 1             | 1            | 100,0%   |
| K01V_03 Fraktionierkolonne ist Apparat                          | 1               | 1            | 0             | 0            | 50,0%    |
| K01V_04 Apparat für fraktionierte Destillation                  | 1               | 1            | 0             | 0            | 50,0%    |
| K01V_05 Fraktionierkolonne besteht aus Boden                    | 1               | 1            | 0             | 1            | 75,0%    |
| K01V_06 Boden hat Durchlassrohr                                 | 1               | 0            | 0             | 1            | 50,0%    |
| K01V_07 Durchlassrohr für Gas/Gasgemisch                        | 1               | 0            | 0             | 1            | 50,0%    |
| K01V_08 Boden hat Überlaufrohr                                  | 1               | 1            | 0             | 1            | 75,0%    |
| K01V_09 Überlaufrohr für Kondensat                              | 1               | 1            | 0             | 1            | 75,0%    |
| <b>K02V Verfahrensbeschreibung stoffliche Seite</b>             |                 |              |               |              |          |
| K02V_01 Rohöl ist Stoffgemisch KW                               | 1               | 1            | 1             | 1            | 100,0%   |
| K02V_02 Rohöl enthält verschieden KW                            | 1               | 0            | 1             | 1            | 75,0%    |
| K02V_03a Alkan ist KW                                           | 0               | 0            | 1             | 1            | 50,0%    |
| K02V_03b Alken ist KW                                           | 0               | 0            | 1             | 0            | 25,0%    |
| K02V_04 Aromat ist KW                                           | 0               | 0            | 1             | 1            | 50,0%    |
| K02V_05 Cycloalkan ist KW                                       | 0               | 0            | 1             | 1            | 50,0%    |
| K02V_06 KW hat Sdp                                              | 1               | 1            | 1             | 1            | 100,0%   |
| K02V_07 Sdp ist stoffspezifische Eig                            | 0               | 0            | 0             | 0            | 0,0%     |
| K02V_08 Sdp KW hängt ab von Molekülgröße                        | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K02V_09 Molekülgröße KW hoch führt zu hoch Sdp                  | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K02V_10 Molekülgröße KW gering führt zu gering Sdp              | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K02V_11 zwWW zw. Molekülen hoch führt zu hoch Sdp               | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K02V_12 frakt. Destillation trennt nach Sdp Fraktionen v. KW    | 1               | 0            | 0             | 1            | 50,0%    |
| <b>K03 Wirkprinzip</b>                                          |                 |              |               |              |          |
| K03W_01 Rohöl wird durch Erhitzen zum Gas/Gasgemisch            | 1               | 1            | 1             | 1            | 100,0%   |
| K03W_02 Gas/Gasgemisch enthält versch. KW                       | 0               | 0            | 1             | 0            | 25,0%    |
| K03W_03 Gas/Gasgemisch wird überführt in Fraktionierkolonne     | 1               | 1            | 1             | 1            | 100,0%   |
| K03W_04 Fraktionierkolonne hat gering Temp in obere Etage       | 1               | 0            | 0             | 1            | 50,0%    |
| K03W_05 Fraktionierkolonne hat hoch Temp in untere Etage        | 1               | 0            | 0             | 1            | 50,0%    |
| K03W_06 KW mit gering Sdp kondensiert in obere Etage            | 1               | 0            | 1             | 0            | 50,0%    |
| K03W_07 KW mit hoch Sdp kondensiert in untere Etage             | 1               | 0            | 1             | 0            | 50,0%    |
| K03W_08 obere Etage hat Boden                                   | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K03W_09 untere Etage hat Boden                                  | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K03W_10 Gas/-gemisch steigt auf in Fraktionierkolonne           | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K03W_11 Gas/-gem. kühlt ab beim Aufsteigen in Fraktionierkolonn | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K03W_12a Gas/-g kondensiert in versch. Höhen d. Fraktionierk.   | 0               | 1            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K03W_12b Gas/-g kondensiert beim Abkühlen in Fraktionierkolonne | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K03W_13 Kondensat enthält Fraktion von KW                       | 1               | 1            | 0             | 0            | 50,0%    |
| K03W_14 KW einer Fraktion hat ähnlich hoch Molekülgröße         | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| K03W_15 KW einer Fraktion hat ähnlich hoch Sdp                  | 0               | 1            | 1             | 1            | 75,0%    |
| K03W_16 KW einer Fraktion hat ähnlich stoffspez. Eigenschaft    | 1               | 0            | 0             | 0            | 25,0%    |
| <b>abs. H</b>                                                   | <b>31</b>       | <b>14</b>    | <b>15</b>     | <b>19</b>    |          |
| <b>rel. H</b>                                                   | <b>79,5%</b>    | <b>35,9%</b> | <b>38,5%</b>  | <b>48,7%</b> |          |

KW: Kohlenwasserstoff; Sdp: Siedepunkt; H: Häufigkeit

E1: Brand, Iain; Grime, Richard (2002): Chemistry. 11-16, Harlow: Pearson Education; S. 119-121

D1: Ernst, Christine; Wehser, Adria (Hrsg.) (2006): Chemie. Klasse 9, Berlin: Duden Paetec; S. 82-83

D2: Ignatowitz, Eckhard (2003): Chemietechnik, 7. Aufl., Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel.

D3: Katzer, Gisela/Katzer, Franz (2006): Fachtheorie nach Lernfeldern für Chemielaboranten 1, 1. Aufl., Stuttgart: Holland + Josenhans.

 $H_{\max}$ : maximale Anzahl Propositionen; abs.  $H$ : absolute Häufigkeit; rel.  $H$ : relative Häufigkeit

### 8.2.3 Textvergleich zum Thema „Chromatografie“ unter dem Verfahrens- und Analysenaspekt

Die Unterschiede in den Argumentationslinien, die in Düwel/Eichhorn/Niethammer (im Druck) und in Düwel (2019) zwischen englischen und deutschen Texten aufgezeigt werden konnten und in Kap. 8.2.1 (S. 101) und Kap. 8.2.2 (S. 105) dargelegt wurden, bestätigen sich auch beim Textvergleich zum Thema „Chromatografie“. Der Textvergleich von Textausschnitten „zum Thema ‚Chromatografie‘ aus fünf fachwissenschaftlichen Lehrbüchern aus je einem englischen und deutschen Fachbuch zum Thema Chromatografie, vier aus dem Bereich Studium und Wissenschaft (darunter ein englisches Lehrbuch) und ein Lehrbuch aus dem berufsbildenden Bereich, wird im Folgenden ausgeführt“ (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019: 8).

Analysiert wurden inhaltlich zusammenhängende Segmente. Die Segmente beziehen sich auf die Aspekte der fünf Hauptkategorien zur sachlogischen Strukturierung der Thematik (s. Tab. 62, S. 193 im Kap. 12.3.2.1). Grundlage für die qualitative Inhaltsanalyse der Texte war eine Propositionsliste mit 114 Propositionen, die wie bei den zuvor dargelegten Textanalysen zu den Themen „Wasser“ und „Erdölraffination“ aus einem Experten-Concept-Map zum Thema Chromatografie (s. Abb. A 7, S. 355) abgeleitet und nach Aspekten der sachlogischen Strukturierung der Inhalte zur Trennung und Analyse eines Stoffgemisches geordnet wurden (s. Abb. 45, S. 192 und Tab. 62, S. 193).

Tab. 23: Anzahl der analysierten Segmente sowie Anzahl der in den Quellen vorkommenden Codes und deren Abdeckungsgrad ( $H_{\max}$ , Codes = 114) (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019: 9)<sup>91</sup>

|               | <b>E17</b> | <b>D06</b> | <b>D14</b> | <b>D16</b> | <b>D13</b> |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Anz. Segmente | 63         | 68         | 62         | 55         | 50         |
| abs. $H$      | 90         | 52         | 51         | 44         | 37         |
| rel. $H$      | 79 %       | 46 %       | 45 %       | 39 %       | 32 %       |

E17: Snyder, Lloyd R./Kirkland, Joseph J./Dolan, John W. (2010): Introduction to Modern Liquid Chromatography, 3. Aufl., Hoboken: Wiley & Sons.

D06: Schwedt, Georg (1986): Chromatografische Trennmethode. Theoretische Grundlagen, Techniken und analytische Anwendungen., 2. Aufl., Stuttgart: Thieme.

D14: Cammann, Karl (Hrsg.) (2001): Instrumentelle Analytische Chemie. Verfahren, Anwendungen, Qualitätssicherung, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

D16: Otto, Matthias (2006): Analytische Chemie (German Edition), 3. Aufl., Weinheim: Wiley-VCH.

D13: Katzer, Gisela/Katzer, Franz (2006): Fachtheorie nach Lernfeldern für Chemielaboranten 1, 1. Aufl., Stuttgart: Holland + Josenhans.

$H_{\max, \text{Codes}}$ : maximale Anzahl Codes; abs.  $H$ : absolute Häufigkeit (binarisiert); rel.  $H$ : relative Häufigkeit

<sup>91</sup> Jede Proposition stellt einen Code dar.



In Tab.23 sind die Anzahl der analysierten Segmente sowie die in den Segmenten der jeweiligen fachwissenschaftlichen Lehrbücher vorkommenden Codes (absolute Häufigkeit) und deren Abdeckungsgrad (relative Häufigkeit) dargestellt. „Die ausgezählten Häufigkeiten wurden binarisiert, d.h. dass nur das Vorkommen der Codes gezählt wurde“ (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019: 8).

Aus Tab.23 wird deutlich, dass das englische fachwissenschaftliche Lehrbuch (E17) gegenüber den deutschen nahezu den doppelten Abdeckungsgrad der 114 Propositionen aufweist (E17: 79 %; D06: 46 %; D14: 45 % ; D16: 39 % und D13: 32 % ). Aus der detaillierten Analyse konnten Düwel/Eichhorn/Niethammer (ebd.: 19) zusammenfassend feststellen, dass die Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse in allen Quellen ausreichend ausgeführt werden. Der große Unterschied im Abdeckungsgrad kommt am stärksten bei den Inhaltsbereichen „Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten“ (s. Tab.24) und „Erklärung der Elutionswirkung von Laufmitteln“ zum Tragen (s. Tab.25). „Während im englischen Text sehr viel Wert darauf gelegt wird, das Wirkprinzip in kleinen aufeinander aufbauenden Denkschritten herzuleiten, werden viele Aussagen (Prämissen) zur Erklärung des Wirkprinzips in den deutschen Texten als Vorwissen vorausgesetzt. Für didaktische Überlegungen zur Erklärung der Begründungszusammenhänge des Trennvorgangs eines Stoffgemisches durch Chromatografie ist dieser Sachverhalt allerdings zentral“ (ebd.: 19). Diese werden im Kap.9.2.2 (S. 118) noch ausführlich betrachtet und daher an dieser Stelle nicht näher ausgeführt.

Tab. 24: Anzahl der in den Quellen vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten ( $H_{max}$  Codes = 15) (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019: 13)

| Struktur-Eigenschaftsbeziehungen                                 | Studium u. Wissenschaft |            |            |           |           | BB | rel. H<br>je Code |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------|------------|-----------|-----------|----|-------------------|
|                                                                  | E17                     | D06        | D14        | D16       | D13       |    |                   |
| <b>05 Wirkprinzip\K36W_Dipol-Dipol-WW</b>                        |                         |            |            |           |           |    |                   |
| K36W_01 Dipol-Dipol-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung     | 1                       | 1          | 0          | 0         | 0         |    | 40%               |
| K36W_02 Dipol-Dipol-Kräfte ist hoch Wechselwirkung               | 1                       | 0          | 0          | 0         | 0         |    | 20%               |
| K36W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte   | 1                       | 0          | 0          | 0         | 0         |    | 20%               |
| K36W_04 Hydroxylgruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte             | 1                       | 0          | 1          | 0         | 0         |    | 40%               |
| <b>05 Wirkprinzip\K37W_H-Brückenbindung</b>                      |                         |            |            |           |           |    |                   |
| K37W_01 H-Brueckenbindung ist zwischenmolek. Wechselwirkung      | 1                       | 1          | 0          | 0         | 0         |    | 40%               |
| K37W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brueckenbindung    | 1                       | 1          | 0          | 0         | 0         |    | 40%               |
| K37W_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brueckenbindung              | 1                       | 1          | 1          | 0         | 0         |    | 60%               |
| <b>05 Wirkprinzip\K38W_Pi-Pi-Transfer-Kräfte</b>                 |                         |            |            |           |           |    |                   |
| K38W_01 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkun   | 1                       | 1          | 0          | 0         | 0         |    | 40%               |
| K38W_02 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist ind-Dipol Wechselwirkung       | 1                       | 0          | 0          | 0         | 0         |    | 20%               |
| K38W_04 StrM mit Pi-Elekt. bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte      | 1                       | 0          | 0          | 0         | 0         |    | 20%               |
| K38W_05 Benzolring bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte              | 1                       | 0          | 0          | 0         | 0         |    | 20%               |
| <b>05 Wirkprinzip\K39W_van der Waals-Kräfte</b>                  |                         |            |            |           |           |    |                   |
| K39W_01 van der Waals-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung   | 1                       | 1          | 0          | 0         | 0         |    | 40%               |
| K39W_02 van der Waals-Kräfte ist ind-Dipol Wechselwirkung        | 1                       | 0          | 0          | 0         | 0         |    | 20%               |
| K39W_04 fkt. Gruppe gering polar bildet aus van der Waals-Kräfte | 1                       | 0          | 0          | 0         | 0         |    | 20%               |
| K39W_06 Benzolring bildet aus van der Waals-Kräfte               | 1                       | 0          | 0          | 0         | 0         |    | 20%               |
| <b>abs. H</b>                                                    | <b>15</b>               | <b>6</b>   | <b>2</b>   | <b>0</b>  | <b>0</b>  |    |                   |
| <b>rel. H</b>                                                    | <b>100%</b>             | <b>40%</b> | <b>13%</b> | <b>0%</b> | <b>0%</b> |    |                   |

Tab. 25: Anzahl der in den Quellen vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zur Erklärung der Elutionswirkung von Laufmitteln in NPC ( $H_{max} = 17$ ) (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019: 14)

| Elutionswirkung von Laufmitteln in NPC                                | Studium u. Wissenschaft |     |     |     | BB  | rel. H  |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|---------|
| 05 Wirkprinzip                                                        | E17                     | D06 | D14 | D16 | D13 | je Code |
| <b>K20W_Adsorption Def. u. Adsorbens allg. Str-Eig-WW-Beziehungen</b> |                         |     |     |     |     |         |
| K20W_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens                                     | 1                       | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| K20W_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)                   | 1                       | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| <b>K21W_Laufmittel allg. Str-Eig-WW-Beziehungen</b>                   |                         |     |     |     |     |         |
| K21W_02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität                       | 1                       | 0   | 1   | 1   | 1   | 80%     |
| <b>K22W_Laufmittel WW mit Analyt</b>                                  |                         |     |     |     |     |         |
| K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt                                  | 1                       | 1   | 1   | 0   | 1   | 80%     |
| <b>K23W_Laufmittel Desorption Analyt</b>                              |                         |     |     |     |     |         |
| K23W_01 Laufmittel desorbiert Analyt                                  | 1                       | 1   | 1   | 0   | 1   | 80%     |
| <b>K25W_Laufmittel WW mit (Ad)Sorbens</b>                             |                         |     |     |     |     |         |
| K25W_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens                             | 1                       | 1   | 1   | 1   | 0   | 80%     |
| K25W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens           | 1                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 20%     |
| K25W_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens                    | 1                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 20%     |
| <b>K27W_Laufmittel Konkurrieren um Adsorptionsplätze</b>              |                         |     |     |     |     |         |
| K27W_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplaetze                  | 1                       | 1   | 1   | 1   | 0   | 80%     |
| K27W_02 LM gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Ads.-pl.          | 1                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 20%     |
| K27W_03 LM hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Ads.-pl             | 1                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 20%     |
| <b>K29W_Analyt allg. Str-Eig-WW-Beziehungen</b>                       |                         |     |     |     |     |         |
| K29W_08 Analyt hat in NPC gering Polarität                            | 1                       | 0   | 0   | 1   | 0   | 40%     |
| <b>K31W_Analyt Konkurrieren um Adsorptionsplätze</b>                  |                         |     |     |     |     |         |
| K31W_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplaetze                      | 1                       | 1   | 1   | 1   | 0   | 80%     |
| <b>K33W_Eluotrope Reihe</b>                                           |                         |     |     |     |     |         |
| K33W_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft        | 1                       | 0   | 1   | 1   | 0   | 60%     |
| K33W_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft          | 1                       | 0   | 1   | 1   | 0   | 60%     |
| <b>K37W_H-Brückenbindung</b>                                          |                         |     |     |     |     |         |
| K37W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brueckenbindung         | 1                       | 1   | 0   | 0   | 0   | 40%     |
| K37W_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brueckenbindung                   | 1                       | 1   | 1   | 0   | 0   | 60%     |
| abs. H                                                                | 17                      | 9   | 11  | 9   | 5   |         |
| rel. H                                                                | 100%                    | 53% | 65% | 53% | 29% |         |

LM: Laufmittel; NPC: Normalphasenchromatographie; hopo: hoch polar; gepo: gering polar; stPh: stationäre Phase

Auf die Ergebnisse wird im Kap. 9.2.3 (S. 121) noch einmal Bezug genommen, wenn es um die Textauswahl für das Lehr-Lernkonzept der Fallstudie in dieser Arbeit geht.

### 8.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Textvergleiche

Mit den Textanalysen zu den drei Themen „Wasser“, „Erdölraffination“ und „Chromatografie“ konnte gezeigt werden, dass die Vollständigkeit der Argumentationslinien fachwissenschaftlicher Texte (Lehrbuchtexte) auf der Grundlage der dargestellten Kategoriensysteme, die mithilfe von Experten-Concept Maps erstellt wurden, beurteilt werden kann. „Je nachdem wie vollständig inhaltliche Zusammenhänge in den Lehrbüchern untersetzt werden, wird die berufs-/fachdidaktische Funktionalisierung der in diesen Fachtexten dargestellten Sachverhalte erleichtert bzw. erschwert“ (ebd.:19). Auffällig ist, dass die analysierten Lehrbuchtexte (insbesondere die untersuchten deutschen Lehrbuchtexte) aus didaktischer

Sicht das notwendige Zusammenhangswissen zur Lösung von Problemstellungen/Aufgaben nicht vollständig abbilden. „Lehrende und Lehramtsstudierende müssen sich dessen bewusst sein und in den Texten inhaltliche Lücken erkennen und beheben, um Inhalte und deren Zusammenhänge möglichst vollständig abbilden zu können. Hierfür ist die sachlogische Strukturierung der Inhalte, wie sie der Textanalyse zugrunde gelegt wurde, eine notwendige Voraussetzung. Sie ist somit nicht nur für die strukturierte Inhaltsanalyse von Textquellen, sondern auch für die Vervollständigung der durch die Texte nicht gelieferten Zusammenhänge ein nützliches Instrument.“ (ebd.: 20).

Eine möglichst vollständige Abbildung der inhaltlichen Zusammenhänge ist für die berufs- bzw. fachdidaktische Funktionalisierung der Fachinhalte entscheidend, um Varianten möglicher Denkschritte zu antizipieren, die je nach Ausgangsproblemstellung zu vollziehen sind. Die bisher untersuchten englischsprachigen fachwissenschaftlichen Lehrbuchtexte zeichnen zu vollziehende Denkschritte detailliert nach, womit sie einen wesentlichen Teil der Inhaltsaufbereitung liefern, durch die Impulse für eine lernerorientierte Unterrichtsgestaltung gegeben werden.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, „wie Experten-Concept Maps genutzt werden können, um Texte unterschiedlicher Art zu standardisieren und gezielt nach Inhaltsaspekten zu analysieren. Die propositionale Struktur von Concept Maps ist eine gute Grundlage, um Argumentationen in die Normalform zu überführen und bezüglich ihrer Gültigkeit zu beurteilen. Letzteres ist für didaktische Überlegungen zur Gestaltung von Erkenntnisprozessen im Unterricht wichtig“ (Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck). Dieser Ansatz wird daher auch bei der Auswertung der Daten der Vpn genutzt (s. Kap. 12.3.2.1, S. 187).

**TEIL III:**  
**HOCHSCHULDIDAKTISCHE EINBINDUNG ENGLISCHER**  
**FACHTEXTE**



## **9 Forschungsmethodisches Vorgehen**

### **9.1 Allgemeine Betrachtungen zum Gegenstand, Fragestellungen und Auswahl der Methoden**

Bei den Betrachtungen zu Leistungstests, die darauf ausgelegt sind, die handlungsbezogenen Kompetenzen von Lehrkräften zu erfassen, sind drei Aspekte für das methodische Design besonders wichtig. Dazu zählen die Praxisrelevanz, die Interaktivität und die Authentizität der Fallsituation (vgl. Bartels/Geelan/Kulgemeyer 2019: 2032–2033). Da in der vorliegenden Studie nur der Prozess der Inhaltsanalyse und die daraus resultierenden didaktischen Überlegungen von Lehramtsstudierenden untersucht werden, wird der zweite Aspekt, die Interaktivität, nicht berücksichtigt.

Die Fragestellungen dieser Arbeit (s. Forschungsfragen in Kap.4, S.23) haben eher einen explorativen Charakter, sodass das Untersuchungsdesign im Kern qualitativ ausgerichtet ist. Die verschiedenen Wissenschaftsgebiete (Chemie/Physik, Fachdidaktik, Philosophie, Sprachwissenschaft und Psychologie), die mit der Fragestellung in Beziehung stehen, erforderten die umfassende Auseinandersetzung mit deren Theorien und Erkenntnissen, wie sie in den Teilen I und II dieser Arbeit dargestellt wurden.

In der Diskussion, welche Funktion qualitative Forschung in der Erziehungswissenschaft erfüllen sollte, wird nicht nur die theoriegenerierende Funktion in den Blick genommen, sondern auch eine theorieausfüllende und eine theoriendifferenzierende Funktion. Der Zugewinn, der durch den qualitativen Ansatz dieser Arbeit erreicht wird, ist eher den letzten beiden Punkten zuzuordnen. Die Konzeption des Untersuchungsdesigns erfolgte unter Berücksichtigung folgender Fragen (vgl. Helsper/Herwartz-Emden/Terhart 2001: 256):

- welche methodische Vorgehensweise dem Gegenstand und der Fragestellung angemessen ist
- wie sich Verknüpfungen zwischen unterschiedlichen Gegenständen bzw. Ebenen in der Kombination von Methoden herstellen (Triangulation) lassen
- in welchem Verhältnis die Triangulation unterschiedlicher Verfahren zu einer konstruktivistischen Perspektive steht
- wie das Verhältnis in dem gewählten empirischen Zugang zwischen einer Theorie-Triangulation und einer Methoden-Triangulation zu bestimmen ist.

Wie den Anforderungen für qualitative Forschungsprojekte in dieser Arbeit Rechnung getragen wird, ist zusammenfassend in Tab.26 dargestellt. Dazu wird in der linken Spalte die Anforderung genannt und in der rechten Spalte auf das jeweilige Kapitel verwiesen, in dem der Aspekt umgesetzt bzw. ausgehandelt wurde.

Die handwerklichen Dimensionen unter „Elementare Anforderungen“ sind nicht nur wesentliche Voraussetzung für die Geltungsbegründung, sondern selbst Bestandteil der methodologischen Gültigkeits- und Qualitätssicherung (vgl. ebd.:259). Dazu gehört auch die Frage nach der dialogischen Validierung.

„Werden in einem Projekt zwei Textsorten erzeugt, die jeweils auch durch verschiedene methodische Zugänge hergestellt werden, so ergibt sich die Frage, wie diese beiden methodischen Zugänge und die beiden

Textsorten aufeinander zu beziehen sind. [...] Dialogische Validierung wirft schließlich die Frage auf, wie die Ebene der hermeneutischen Fallrekonstruktion im Verhältnis zu übergreifenden kommunikativen Validierungen anzusetzen ist. [...]“ (ebd.: 260)

Tab. 26: *Elementare Anforderungen für qualitative Forschungsprojekte (vgl. Qualitätskriterien nach ebd. 2001: 258)*

| Elementare Anforderungen                                                                             | Bezug zur Umsetzung in dieser Arbeit                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Klare Abgrenzung der Problemstellung                                                                 | s. Kap. 3 (S. 21) bis Kap. 4 (S. 23) Kap. 4; Eingrenzung auf englisches Fachtextmaterial als Wissensquelle zur Inhaltsanalyse und -reflexion |
| Umfassende Aufarbeitung des Forschungsstandes                                                        | s. Teil I (Kap. 1, S. 1 und Kap. 2, S. 5) und Teil II (Kap. 6, S. 31 bis Kap. 8, S. 97)                                                      |
| Adäquate Auswahl von Feldzugängen                                                                    | s. Kap. 9.2.4 (S. 122) und Kap. 10 (S. 125); Lehramtsstudierende der BFR LPT und Didaktik der Chemie der TU Dresden                          |
| Begründung für die ausgewählten Formen der Materialerstellung/„Datenbildung“                         | s. Kap. 9.2, S. 116                                                                                                                          |
| Materialaufbereitung/-dokumentation                                                                  | s. Kap. 11 (S. 133)                                                                                                                          |
| Schritte/Verfahren der Materialauswertung                                                            | s. Kap. 12 (S. 175)                                                                                                                          |
| Klärung und Kontrolle der Relationen zwischen verwendeten Konzepten (untereinander und zum Material) | s. Kap. 9.2 (S. 116)                                                                                                                         |
| Durchführung von Rück-Kopplungen zwischen Materialauswertung/Materialgewinnung (ggf. mehrfach)       | s. Kap. 11 (S. 133) bis Kap. 12 (S. 175)                                                                                                     |
| Geeignete Darstellungsformen der Ergebnisse                                                          | s. Kap. 13 (S. 233)                                                                                                                          |

Hier sind Helsper et al. (ebd.) zufolge verschiedene Ebenen zu unterscheiden:

1. kommunikative Selbstkontrolle (z. B. durch unterschiedliche Typen von Memos und deren systematische Reflexion); dabei geht es um die projektinterne Institutionalisierung und Methodisierung systematisch angeleiteter Kontrolle von Interpretationsprozessen durch kommunikative Validierung innerhalb der Forschergruppen
2. diese projektinterne methodisierte und validierte Interpretation durch andere Forschergruppen einer dialogischen Außenvalidierung unterziehen
3. dialogische Außenvalidierung durch scientific community (setzt voraus, dass intersubjektive Überprüfbarkeit des qualitativen Erkenntnisbildungsweges gewährleistet ist)

In welcher Form die in diesen drei Punkten angeschnittenen Themen methodischer Reflexion in dieser Arbeit berücksichtigt werden, wird in den in Tab. 27 ausgewiesenen Kapiteln ausführlich erklärt.

Tab. 27: Themen methodischer Reflexion für qualitative Forschungsprojekte (vgl. Qualitätskriterien nach ebd. 2001: 258)

| Themen methodischer Reflexionen                                                                                          | Bezug zur Umsetzung in dieser Arbeit |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Adäquatheit (von Fragestellung, Methode, Gegenstand)                                                                     | s. Kap. 13 (S. 233)                  |
| Abstraktion (Verhältnis von Material, Materialdeutung und Erkenntnis)                                                    | s. Kap. 13 (S. 233)                  |
| Selbstkontrolle (Interaktion in der Forschungsgruppe/Interaktion mit Erforschten)                                        | s. Kap. 12 (S. 175)                  |
| Geltungsbegründung (Durchsichtigkeit des Verfahrens, Prüfbarkeit, Glaubwürdigkeit, Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse) | s. Kap. 13 (S. 233)                  |

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein „Embedded Mixed Methods-Ansatz“ ausgewählt, der in Abb. 11 dargestellt ist (vgl. Creswell 2013: 221; Kuckartz 2014: 93).

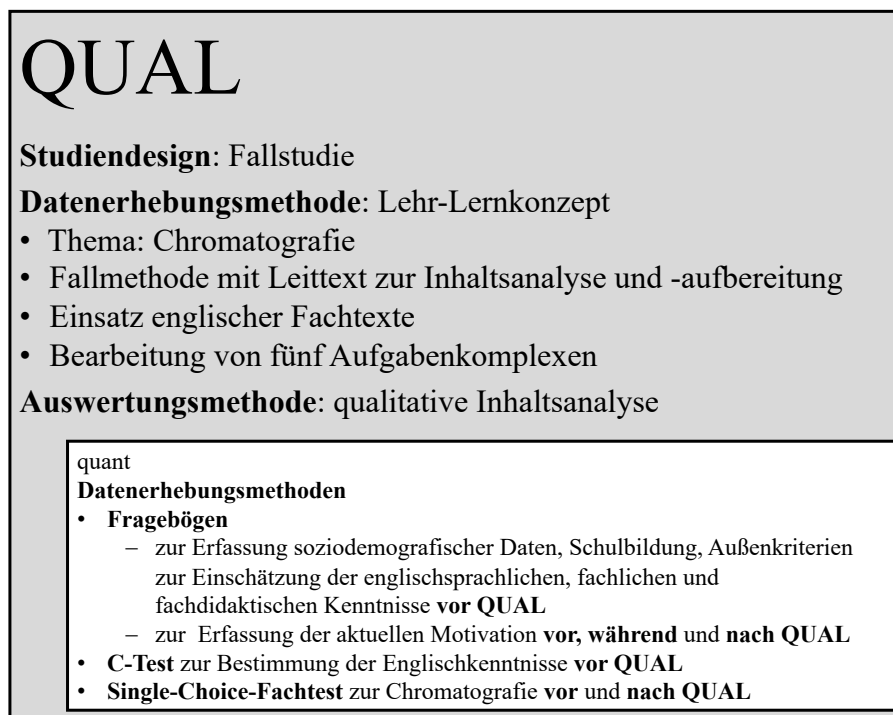


Abb. 11: Mixed-Methods-Ansatz zur Untersuchung der Verstehensprozesse von Lehramtsstudierenden

Es wird eine qualitative Studie (QUAL) durchgeführt, in die eine quantitative Teilstudie (quant) eingebettet ist. Die Groß- oder Kleinschreibung der Akronyme für qualitativ und quantitativ indiziert die Priorität des Forschungsansatzes. Der quantitative Teil des Untersuchungsdesigns spielt eine nur untergeordnete Rolle und umfasst die Erfassung der personenbezogenen Merkmale wie soziodemografische Faktoren (Fragebogen), englischsprachliche (C-Test) und fachliche Vorkenntnisse (Single-Choice-Fachtest) sowie die Motivation (Fragebogen) der Versuchspersonen (Vpn) vor, während und/oder nach der Bearbeitung der



Aufgabenkomplexe in der qualitativen Studie. Die qualitative Studie ist der Hauptteil des Untersuchungsdesigns und basiert auf einem Lehr-Lernkonzept, über das die Forschungsfragen operationalisiert werden. Die in der Studie gewonnenen qualitativen Daten werden durch qualitative Inhaltsanalyse in quantitative Daten überführt, um so die sich aus den Forschungsfragen ergebenden Zusammenhänge betrachten und bewerten zu können. Die Vorüberlegungen zur Konzeption des Lehr-Lernkonzepts erfolgen in Kap. 9.2, die Beschreibung der quantitativen und qualitativen Datenerhebungsverfahren in Kap. 11 (S. 133), der Auswertungsmethoden in Kap. 12 (S. 175) und der Ergebnisse in Kap. 13 (S. 233).

## 9.2 Entwicklung des Lehr-Lernkonzepts für Lehramtsstudierende

Das Design des qualitativen Teils der Studie dieser Arbeit ist wie in Kap. 9.1 (S. 115) ausgeführt eine Fallstudie. In dem Lehr-Lernkonzept dieser Fallstudie werden Studierende mit einer komplexen Problemstellung konfrontiert (Fallmethode), die sie bearbeiten müssen. Zur Bearbeitung dieser komplexen Problemstellung werden fünf Aufgabenkomplexe entwickelt (s. Kap. 11.5, S. 152), die bis zum vierten Aufgabenkomplex zunehmend leitfragengestützt sind. Der fünfte Aufgabenkomplex umfasst eine Anwendungsaufgabe, über die erfasst werden kann, wie gut die Inhalte zur Chromatografie durchdrungen wurden. Als Wissensquelle wird englisches Textmaterial zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden einige Vorüberlegungen ausgeführt, die die Themenwahl, die Lernpotenziale der ausgewählten Thematik, die Auswahl des Textmaterials und die Festlegung des zeitlich organisatorischen Rahmens betreffen.

### 9.2.1 Themenauswahl

Thematisch wurde ein Unterrichtsthema aus dem Wahlpflichtbereich „Chromatografische Untersuchungen durchführen“ der Chemielaborantenausbildung ausgewählt, das Lernenden besonders große Schwierigkeiten bereitet und zu dem bereits Schülerarbeiten mehrerer Jahrgänge vorliegen, über die auf Originalschülerantworten zurückgegriffen werden kann, in denen Fehlkonzepte offenbar werden. Da viele der für diese Studie gewonnenen Versuchspersonen (Vpn) für den gymnasialen Bereich in der Fachdidaktik Chemie ausgebildet werden, sollte das Thema ebenfalls einen Bezugspunkt zum Lehrplan an Gymnasien aufweisen. Für den inhaltlichen Rahmen der im Lehr-Lernkonzept ausgeführten Fallsituation wurde nur der sächsische Lehrplan berücksichtigt, da für die Lehramtsstudierenden, die an der Fallstudie teilgenommen haben, nur der sächsische Lehrplan relevant ist.

Thematischer Schwerpunkt für die Fallstudie ist die Betrachtung der Elutionswirkung unterschiedlicher Laufmittel. Das Thema ordnet sich in der Chemielaborantenausbildung in das Lernfeld „Chromatografische Untersuchungen durchführen“ ein. Im gymnasialen Bereich spielt das Thema eine eher untergeordnete Rolle, aber bietet die Möglichkeit zwischenmolekulare Wechselwirkungen zu thematisieren. Laut sächsischem Lehrplan für Gymnasien (SMK 2011) kommt Chromatografie in Klassenstufe 7 im Wahlpflichtlernbereich vor. Allerdings sind in der 7. Klassenstufe noch keine grundlegenden Strukturkennt-

nisse der Schülerinnen und Schüler vorhanden. Wie die Tab. 28 zeigt, geht es lt. Lehrplan nur darum, den Lernenden das Prinzip der Chromatografie als Trennverfahren näher zu bringen. Für das Thema sind auch nur zwei Unterrichtsstunden vorgesehen.

Tab. 28: Lehrplanausschnitt, Klassenstufe 7, Wahlpflichtlernbereich 1 (SMK 2011:8)

| Wahlpflicht 1: Chromatographie                                                          |                                                 | 2 Ustd.                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kennen des Prinzips der Chromatographie als Trennverfahren                              | experimentelles Ausführen einer Chromatographie | ausgewählte Chromatographiearten, Trennungsgrund<br>SE<br>Papier- oder Kreidechromatographie von Farbstoffen |
| Einblick in die Anwendungsmöglichkeiten von chromatographischen Trennverfahren gewinnen |                                                 | Lebensmittelanalyse, Dopingkontrolle, Umweltanalytik                                                         |

Im Grundkurs der Jahrgangsstufen 11 und 12 spielt Chromatografie im Lernbereich 3 „Organische Stoffe“ eine geringe Rolle (s. Tab. 29). In diesem Lernbereich sind aber auch „zwischenmolekulare Kräfte zur Begründung der Eigenschaften von organischen Stoffen“ zu thematisieren. Die Grundlagen dafür werden im Lernbereich 1 „Stoffe – von der Vielfalt zur Ordnung – PSE“ gelegt. Im Chemie-Leistungskurs dagegen gibt es den Wahllernpflichtbereich 2 „Von Runge-Bildern bis zur Gaschromatografie“ (s. Tab. 30) im Umfang von 10 Unterrichtsstunden, in den sich die Thematik sehr gut einordnen lässt.

Tab. 29: Lehrplanausschnitt, Klassenstufe 11/12, Chemie-Grundkurs, Lernbereich 3 (SMK 2011:29)

| Lernbereich 3: Organische Stoffe                                                                                                   |                                                                                                              | 19 Ustd.                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anwenden des Wissens über den Zusammenhang zwischen Struktur und Eigenschaften von Stoffen zur Systematisierung organischer Stoffe | - experimentelles Untersuchen verschiedener organischer Stoffe auf ihre Eigenschaften                        | Basiskonzept: Struktur-Eigenschafts-Konzept<br>⇒ Methodenbewusstsein<br>⇒ Arbeitsorganisation<br>SE<br>Löslichkeit, Siede- und Schmelztemperatur, Leitfähigkeit<br>projektorientiertes Arbeiten |
|                                                                                                                                    | - chemische Bindungen und zwischenmolekulare Kräfte zur Begründung der Eigenschaften von organischen Stoffen | Elektronenpaarabstoßungsmodell<br>→ GK 11, LB 1                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                                    | - experimentelles Untersuchen von Strukturmerkmalen organischer Stoffe, Nachweisreaktionen                   | SE<br>Hydroxyl-, Aldehyd-, Carboxylgruppe, Mehrfachbindungen                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                    | - reduzierende Wirkung der Aldehydgruppe                                                                     | Oxidationszahlen in organischen Verbindungen, Reaktionsgleichung<br>→ LBW 3: Grundlagen der qualitativen und quantitativen Elementaranalyse                                                     |
| Einblick in ein modernes Analyseverfahren gewinnen                                                                                 |                                                                                                              | Massenspektrometrie, Chromatographie, IR-, NMR-Spektroskopie                                                                                                                                    |

Tab. 30: Lehrplanausschnitt, Klassenstufe 11/12, Chemie-Leistungskurs, Wahlpflichtbereich 2 (SMK 2011:37)

| Wahlpflicht 2: Von Runge-Bildern bis zur Gaschromatographie                                        |                                                                                  | 10 Ustd.                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Einblick in die Klassifizierung der chromatographischen Verfahren nach der Art der Phasen gewinnen | experimentelles Herstellen von Runge-Bildern                                     | Verteilungs- Adsorptions-, Ionenaustausch-, Gelchromatographie, Elektrophorese                                                          |
| Kennen der theoretischen Grundlagen der Chromatographie                                            | - mobile und stationäre Phase                                                    | SE                                                                                                                                      |
| - Wechselwirkung zwischen Substanz und mobiler Phase                                               | - Bedeutung für Identifizierung, Reinigung und Strukturaufklärung von Substanzen | Basiskonzept: Struktur-Eigenschafts-Konzept                                                                                             |
| - experimentelles Durchführen einer Chromatographie                                                | Einblick in moderne Verfahren der Chromatographie gewinnen                       | Lösungsmittel, Polarität, Laufgeschwindigkeit                                                                                           |
|                                                                                                    |                                                                                  | Adsorption, Verteilung, Löslichkeit                                                                                                     |
|                                                                                                    |                                                                                  | klinische Diagnostik, Lebensmittelanalytik, Analyse von Pflanzeninhaltsstoffen, Nachweis von Spurenelementen bei der Wasseraufbereitung |
|                                                                                                    |                                                                                  | SE                                                                                                                                      |
|                                                                                                    |                                                                                  | Dünnschicht-, Gel-, Säulenchromatographie                                                                                               |
|                                                                                                    |                                                                                  | Exkursion                                                                                                                               |

Die Thematik ist daher nicht nur für den berufsbildenden, sondern auch den gymnasialen Bereich relevant.

### 9.2.2 Inhaltliche Einführung in die Chromatografie und mit der Thematik verbundene Lernpotenziale

Chromatografie ist eine physikalisch-chemische Methode zur Trennung von Stoffgemischen. Das Stoffgemisch passiert dabei eine Trennstrecke. Das Substanzgemisch wird von einer mobilen (sich bewegenden/strömenden) Gas- oder Solvens-Phase (Fließmittel) an einer stationären (ruhenden) Phase vorbeigeführt. Dabei findet laufend ein Stoffaustausch der zu trennenden Substanzen zwischen der stationären und der mobilen Phase statt (multiplikative Verteilung). In Abhängigkeit von ihrem Verteilungsverhältnis wandern die Komponenten der Mischung mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in Strömungsrichtung der mobilen Phase und trennen sich auf. Mögliche Trennprinzipien sind: Adsorption, Verteilung, Ionenaustausch und Ionenpaarverteilung, Größenausschluss, Affinität<sup>92</sup>. Die Bezeichnung chromatografischer Verfahren erfolgt nach folgenden Einteilungskriterien unterschieden:

- nach physikalisch-chemischen Trennprinzipien

| Bezeichnung                    | Trennprinzip     |
|--------------------------------|------------------|
| Adsorptionschromatografie      | Adsorption       |
| Verteilungschromatografie      | Verteilung       |
| Ionenaustauschchromatografie   | Ionenaustausch   |
| Größenausschlusschromatografie | Größenausschluss |
| Affinitätschromatografie       | Affinität        |

<sup>92</sup> Im Lehr-Lernkonzept spielt nur die Adsorption eine Rolle, dass die weiteren Ausführungen sich darauf beschränken.

- nach Aggregatzustand der mobilen und stationären Phase

| Bezeichnung                           | mobile Phase | stationäre Phase |
|---------------------------------------|--------------|------------------|
| Flüssig-Fest-Chromatografie (LSC)     | flüssig      | fest             |
| Flüssig-Flüssig- Chromatografie (LLC) | flüssig      | flüssig          |
| Gas-Fest- Chromatografie (GSC)        | gasförmig    | fest             |
| Gas-Flüssig- Chromatografie (GLC)     | gasförmig    | flüssig          |

- nach Art der technischen Durchführung

| Bezeichnung                    |                                                            | apparate-technische Besonderheit                                              |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Dünnschichtchromatografie (DC) |                                                            | DC-Platte mit Sorbens als stationäre Phase                                    |
| Papierchromatografie (PC)      |                                                            | Papierstreifen als stationäre Phase                                           |
| Säulenchromatografie (SC)      | Gaschromatografie (GC)                                     | Trennsäule und gasförmige mobile Phase                                        |
|                                | NPLC <sup>93</sup>                                         | Glassäule mit Hahn unter Atmosphärendruck                                     |
|                                | Ionenchromatografie (IC)                                   | Trennsäule und flüssige mobile Phase<br>→ Trennprinzip: Ionenaustausch        |
|                                | Hochdruck-/Hochleistungs-Flüssigkeitschromatografie (HPLC) | Trennsäule und flüssige mobile Phase<br>→ Trennprinzip: Adsorption/Verteilung |
|                                | Gelpermeationschromatografie (GPC)                         | Trennsäule und flüssige mobile Phase<br>→ Trennprinzip: Größenausschluss      |

Elutionswirkung verschiedener Laufmittel ist ein zentrales Thema in der Flüssigkeitschromatografie (LC). Eine der einfacheren Ausführungsformen ist die Dünnschichtchromatografie (DC), bei der die stationäre Phase als Dünnschicht auf einer Trägerplatte/-folie aufgetragen ist. Für den Trennvorgang wird das aufzutrennende Stoffgemisch auf die stationäre Phase aufgetragen und in einer mit Laufmittel gefüllten Trennkammer<sup>94</sup> entwickelt. Das Laufmittel wandert durch Kapillarkräfte über die Oberfläche der stationären Phase und führt im Idealfall die einzelnen Komponenten des Stoffgemisches unterschiedlich stark mit, sodass diese am Ende des Entwicklungsvorganges voneinander getrennt sind.

<sup>93</sup> Niederdruck-Flüssigkeitschromatografie, Säulen- $\varnothing \geq 1\text{cm}$ ; Teichen- $\varnothing = 100\text{-}200\ \mu\text{m}$

<sup>94</sup> Sie wird auch Entwicklungskammer genannt. Es gibt verschiedene Ausführungsformen: Normalkammer (Flachbodenkammer, Standardtrennkammer), Doppeltrogkammer, Sandwichkammer etc.

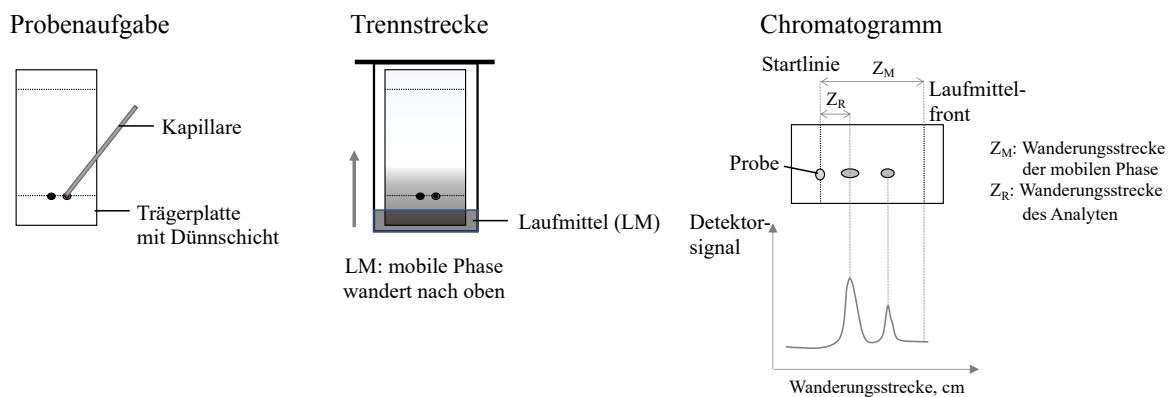


Abb. 12: Ablauf einer dünnschichtchromatografischen Trennung (vgl. Otto 2006: 507, 509)

Je nachdem wie gut oder schlecht ein Laufmittel Komponenten von der stationären Phase zu lösen vermag, hat es eine hohe oder niedrige Elutionswirkung. Wie sich die Elutionswirkung verschiedener Laufmittel voneinander unterscheidet und von welchen Faktoren sie abhängt, lässt sich experimentell erkunden. Über das Experiment können stoffliche Zusammenhänge unter dem Substanz- und Materialaspekt (Struktur-Eigenschaftsbeziehungen bzw. Struktur-Verhaltensbeziehungen) zugänglich gemacht werden, über die sich die Elutionswirkung verschiedener Laufmittel begründen lassen.

Ausgewählt wird ein Experiment, bei dem es um die dünnschichtchromatografische Trennung eines lipophilen<sup>95</sup> Farbstoffgemisches geht. Dazu werden verschiedene Laufmittel eingesetzt, die sich in ihrer Elutionswirkung unterscheiden. Die Versuchsergebnisse bieten vielfältige Möglichkeiten Struktur-Eigenschaftsbeziehungen bzw. Struktur-Verhaltensbeziehungen im Zusammenwirken mit den Analysenbedingungen zu vertiefen. Anspruchsvoll ist die Berücksichtigung dreier Wechselwirkungsbeziehungen, nämlich „mobile Phase – Analyt“, „stationäre Phase – Analyt“ sowie „mobile Phase – stationäre Phase“. Somit stellt diese Thematik besondere Anforderungen an didaktische Überlegungen des Lehrenden, damit sich Lernende diese vielfältigen Begründungszusammenhänge erschließen können.

Abb. 13 stellt schematisch den Trennvorgang dar. Vordergründig ist die stationäre Phase (auch (Ad)Sorbens genannt) dafür verantwortlich, die zu trennenden Komponenten (Analyten) zurückzuhalten, während die mobile Phase (auch Lauf- oder Fließmittel genannt) die stationäre Phase durchdringt und Analyten je nach Stärke der zwischenmolekularen Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt bzw. zwischen (Ad)Sorbens und Analyt aus der stationären Phase herauslöst und in Laufrichtung mitführt. Wie gut das Laufmittel vermag, Analyten aus der stationären Phase zu lösen und mitzuführen, hängt von seiner Elutionswirkung ab.

<sup>95</sup> Lipophil bedeutet fettliebend. Lipophile Substanzen sind kaum oder gar nicht in Wasser löslich und somit als eher unpolar zu charakterisieren.

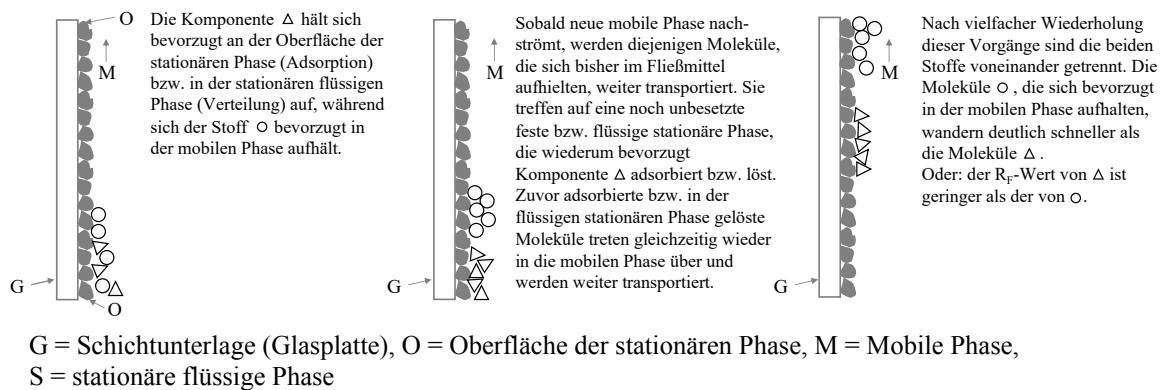


Abb. 13: Schematische Darstellung der Gleichgewichtsvorgänge bei einem adsorptionschromatografischen Trennvorgang (Bauer 1989: 10)

Ein häufig vernachlässigter Aspekt ist, dass die Elutionswirkung eines Laufmittels (insbesondere bei der Adsorptionschromatografie) davon abhängt, wie sehr das Laufmittel mit der stationären Phase in Wechselwirkung treten kann und somit Analyten, die von der stationären Phase zurückgehalten werden, verdrängen kann. Ist die Elutionswirkung des Laufmittels zu hoch, dann spielen die unterschiedlichen Eigenschaften der Analyten (Probenbestandteile) keine Rolle mehr, da das Laufmittel die Oberfläche des (Ad)Sorbens vollständig einnimmt und die zwischenmolekularen Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und stationärer Phase zu stark sind, als dass sie von den Analyten überwunden werden könnten, um Laufmittelmoleküle von der Oberfläche der stationären Phase zu verdrängen. Die Probenbestandteile werden dann vollständig durch das Laufmittel von der stationären Phase verdrängt und mit dem Laufmittel bis zur Laufmittelfront mitgerissen. Das betrifft auch die Komponenten, die strukturell betrachtet stärkere Wechselwirkungen mit der stationären als mit der mobilen Phase eingehen müssten.

Das Abwägen zwischen den Wechselwirkungspotenzialen, die nicht nur die Probenkomponenten (Analyten) mit den beiden Phasen eines chromatografischen Systems haben können, sondern auch die Phasen untereinander, fällt Lernenden sehr schwer. Es ist davon auszugehen, dass Studierende auch Schwierigkeiten haben könnten, diese mehrdimensionalen Wechselwirkungsbeziehungen zu durchdringen und geneigt sein könnten, die Wechselwirkungsbeziehungen zwischen stationärer und mobiler Phase außer Acht zu lassen und somit zu falschen Schlussfolgerungen zu gelangen. An dieser Stelle wird entscheidend sein, wie gut die Passagen des Textmaterials (s. Tab. 24 und Tab. 25, S. 109) wahrgenommen und in der Tiefe verstanden werden, in denen die Elutionswirkung von Laufmitteln in ihrem Zusammenwirken mit stationärer Phase und Analyt erklärt wird.

### 9.2.3 Auswahl des Textmaterials zur Chromatografie

Wie Düwel/Eichhorn/Niethammer (2019) zeigen konnten, ergab der Textvergleich von Textausschnitten zum Thema „Chromatografie“ aus fünf fachwissenschaftlichen Lehrbüchern (s. Kap. 8.2.3, S. 107), dass die Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse in allen Quellen ausreichend ausgeführt werden,

aber Struktur-Eigenschaftsbeziehungen und Struktur-Verhaltensbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten (s. Tab. 24, S. 108) und Erklärungen zur Elutionswirkung von Laufmitteln (s. Tab. 25, S. 109) am ausführlichsten in Snyder/Kirkland/Dolan (2010) dargelegt werden. Die zuletzt genannte Quelle liefert alle Zusammenhänge, die für die Interpretation der Ergebnisse der dünnschichtchromatografischen Untersuchung eines lipophilen Farbstoffgemisches (s. S. 120) benötigt werden. Daher wurden aus dieser Quelle relevante Kapitel als Textmaterial zusammengestellt, das ab dem zweiten Aufgabenkomplex des Lehr-Lernkonzeptes als unterstützende Information (s. 4C/ID-Modell) zur Verfügung gestellt wurde.

## **9.2.4 Festlegung des zeitlich organisatorischen Rahmens der Fallstudie**

Zu den zeitlich und organisatorischen Rahmenbedingungen zählen die Akquise der Versuchspersonen, der Umfang der im Rahmen des Lehr-Lernkonzeptes zu bearbeitenden Aufgaben und der zeitliche Ablauf der Testphasen, auf die im Folgenden eingegangen wird.

### **9.2.4.1 Akquise von Lehramtsstudierenden für die Fallstudie**

Die Akquise erfolgte durch Vorstellen des Forschungsanliegens in den fach- bzw. berufsdiaktischen Lehrveranstaltungen. Dazu erhielten die Studierenden ein Informationsblatt (s. Abb. A 8, S. 357) zur Fallstudie. Zusätzlich wurde auf der Internetseite der Beruflichen Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik; Didaktik der Chemie der TU Dresden geworben (s. Abb. A 9, S. 358). Es wurde mit einer Aufwandsentschädigung in Form von Verpflegung während der Teilnahme und einem USB-Stick nach Abschluss des zweiten Teils der Hauptuntersuchung geworben. Insgesamt haben sich 14 Studierende bereit erklärt, an der Fallstudie teilzunehmen. Da die Teilnahme der Studierenden freiwillig war, kann nicht ausgeschlossen werden, dass es sich um eine Positivauswahl handelt, da leistungsschwächere Studierende evtl. die Teilnahme an der Fallstudie gescheut haben könnten.

Um sicherzustellen, dass sich die englischsprachlichen und fachlichen Voraussetzungen ausreichend unterscheiden, wurden mit der quantitativen Teilstudie die Voraussetzungen der Versuchspersonen durch schriftliche Befragung und Tests zu den englischsprachlichen und fachlichen Kenntnissen erfasst (s. Kap. 10, S. 125 und s. Kap. 13.1, S. 233). Anhand der Unterschiede in den englischsprachlichen und fachlichen Voraussetzungen mögen sich später Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Voraussetzungen und dem Wissenszuwachs im Zuge der Bearbeitung der ersten vier Aufgabenkomplexe erkennen lassen (s. Kap. 13.3.4, S. 264).

Da nicht mehr als 14 Studierende für die Teilnahme gewonnen werden konnten, wurde keine weitere Auswahl der Vpn vorgenommen. Inwiefern die Sättigung der Daten ausreicht, kann bzw. konnte aufgrund der zeitintensiven Auswertung der Daten im qualitativen Teil der Fallstudie nicht im Verlauf ihrer Durchführung bestimmt werden. Somit wurde die Fallstudie mit allen 14 Vpn durchgeführt, wobei eine Vp nach dem C-Test und eine andere Vp nach der Bearbeitung des dritten Aufgabenkomplexes die Teilnahme abgebrochen hat.

#### 9.2.4.2 Rahmenbedingungen und zeitlicher Ablauf der Fallstudie

Für die Akquise der Studierenden und die Koordinierung der Termine für die Durchführung der einzelnen Test- und Erarbeitungsphasen der Fallstudie wurde ein Kurs im Lernmanagementsystem (LMS) „OPAL“ der TU Dresden angelegt. Die Vpn, die bereit waren, an der Fallstudie teilzunehmen, konnten sich im Kurs einschreiben und wurden darüber über die weiteren Termine zur Vorbereitung und Durchführung der Studie informiert. Auch konnte die Terminabstimmung über den Online-Kurs realisiert werden. Nachdem feststand, welche Vpn an welchen Terminen Zeit für die Teilnahme an der Fallstudie hatten, konnten sich die Vpn für die jeweiligen Termine verbindlich einschreiben. Die sich verbindlich in den Kurs eingeschrieben haben, mussten ihre Teilnahme und ihr Einverständnis für die Verwendung der erhobenen Daten mit ihrer Unterschrift auf einer dafür vorbereiteten Liste (s. Abb. A 10, S. 359) bestätigen.

Da es schwierig war, Termine für die Test- und Erarbeitungsphasen der Fallstudie zu finden, an denen alle Versuchspersonen Zeit gehabt hätten, wurden sechs Durchgänge für Teil 1 (T1) und sieben Durchgänge für Teil 2 (T2) der Hauptuntersuchung (HU) durchgeführt. Um zu vermeiden, dass Vpn früherer Durchgänge Vpn späterer Durchgänge über Inhalte und Ablauf der Fallstudie informieren, wurden die Vpn eindringlich gebeten, sich nicht mit anderen Vpn auszutauschen, um die Ergebnisse der Fallstudie nicht zu verfälschen. Teil 1 bestand nur aus der Durchführung des C-Tests zur Bestimmung der Englischkenntnisse. Die Termine für den Teil 1 der Hauptuntersuchung waren wie folgt verteilt:

Tab. 31: Terminverteilung für die Durchführung des C-Tests im ersten Teils der Hauptuntersuchung

| Nr. Durchgang T1 | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Datum            | 06.02.17 | 17.02.17 | 20.02.17 | 07.04.17 | 19.04.17 | 10.05.17 |
| Anzahl Vpn       | 6        | 4        | 1        | 1        | 1        | 1        |

Teil 2 bestand aus der Durchführung des Single-Choice-Fachtests (SC-Fachtest) und der Bearbeitung der fünf Aufgabenkomplexe des Lehr-Lernkonzeptes, mit einer weiteren Durchführung des SC-Fachtests nach der Bearbeitung des vierten Aufgabenkomplexes. Letzteres war den Vpn nicht bekannt, sofern sich Vpn früherer Durchgänge an die Vorgabe, sich nicht mit anderen Vpn späterer Durchgänge über Inhalte und Ablauf der Fallstudie auszutauschen, gehalten haben.

Der SC-Fachtest zur Chromatografie wurde bewusst am selben Tag unmittelbar vor der Bearbeitung der Aufgabenkomplexe durchgeführt, um zu vermeiden, dass sich die Vpn im Vorfeld zur Thematik belesen. Sie wussten im Vorfeld nicht, welches Thema sie sich anhand englischer Fachtexte erarbeiten sollten, sofern sich auch hier Vpn früherer Durchgänge an die Vorgabe, sich nicht mit anderen Vpn späterer Durchgänge über Inhalte und Ablauf der Fallstudie auszutauschen, gehalten haben. Leider konnte außer bei den ersten vier Vpn nicht vermieden werden, die Bearbeitung der Aufgabenkomplexe auf mehr als einen



Tag zu verteilen. 10 der 13 Vpn die am Teil 2 der Hauptuntersuchung teilgenommen haben, haben die Aufgabenbearbeitung innerhalb von 2 Tagen abgeschlossen. Jeweils eine Vp hat die Bearbeitung der Aufgaben an einem Tag, an drei bzw. an vier Tagen abgeschlossen.

Die Vpn wurden zwar eindringlich gebeten, sich in der Zeit der Unterbrechung nicht über andere Wissensquellen mit der Chromatografie zu beschäftigen oder mit anderen Vpn darüber auszutauschen, aber dennoch kann nicht mit absoluter Sicherheit garantiert werden, dass diese Anweisung befolgt wurde. Die Termine für den Teil 2 der Hauptuntersuchung waren wie folgt verteilt:

*Tab. 32: Terminverteilung für die Durchführung des zweiten Teils der Hauptuntersuchung mit SC-Fachtest und den Aufgabenkomplexen des Lehr-Lernkonzeptes*

| Nr. Durchgang T2  | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Datum Starttermin | 10.04.17 | 28.04.17 | 29.04.17 | 12.05.17 | 16.05.17 | 20.05.17 | 06.06.17 |
| Anzahl Vpn        | 4        | 1        | 2        | 1        | 1        | 3        | 1        |

Der genaue Versuchsablauf wird in Kap. 11.6 (S. 166) beschrieben. Im ersten Teil der Hauptuntersuchung beim C-Test mussten die Aufgaben in einer definierten Zeit bearbeitet werden, da es hier um die Erfassung der Leistungsunterschiede ging. Bei dem zweiten Teil der Hauptuntersuchung ging es darum, dass die Aufgaben vollständig bearbeitet wurden, was für Niveautests angemessen ist (vgl. Lienert/Raatz 1998: 34 zu Testzeiten). Daher erhielt jede Versuchsperson so viel Zeit, wie sie benötigte, um die Aufgaben der SC-Fachtests und der fünf Aufgabenkomplexe vollständig zu bearbeiten. Die Bearbeitungs- und Pausenzeiten waren genau zu dokumentieren. Auch zur Kontrolle der Motivation hatten die Vpn Items zur Lernmotivation (s. Kap. 11.4, S. 151 und Kap. 18.1, S. 361) zu beantworten.

In den nächsten beiden Kapiteln werden die Vpn (Kap. 10) und die Datenerhebungsverfahren (Kap. 11) der Fallstudie ausführlich beschrieben.

## 10 Beschreibung der Versuchspersonen (Vpn) der Fallstudie

Ausgewählt wurden Studierende des fünften bis zehnten Fachsemesters in den Studiengängen Lehramt für Mittelschulen und Gymnasien im Fach Chemie sowie Lehramt an berufsbildenden Schulen in der Beruflichen Fachrichtung (BFR) Labor- und Prozesstechnik (LPT). Sie verfügen über die nötigen fachdidaktischen Grundlagen und sollten über den Erwerb des Abiturs auch ausreichend gute Englischkenntnisse aufweisen.<sup>96</sup>

Zur genaueren Charakterisierung der Voraussetzungen der Versuchspersonen wurden folgende personenbezogenen Daten über einen Fragebogen, einen Single-Choice-Fachtest und einen C-Test erhoben (vgl. Kauertz 2008: 79; Grotjahn 2014, Frank/Bernholt/Parchmann 2016):

1. Soziodemografische, fachliche, fachdidaktische, englischsprachliche Aspekte (Fragebogen)
  - a. Alter, Geschlecht, Nationalität und Muttersprache
  - b. Schulabschluss sowie weitere berufsqualifizierende Abschlüsse
  - c. Abiturnoten in Englisch, Mathematik, Chemie, Biologie, Physik
  - d. Noten in den fachspezifischen und fachdidaktischen Modulen des Lehramtsstudiums
  - e. Sprachreisen, Auslandsaufenthalte, Sprachzertifikate
  - f. Vorkenntnisse zur Chromatografie durch Schule, Beruf und/oder Studium
2. Englischsprachliche und fachliche Vorkenntnisse (Tests)<sup>97</sup> – s. Kap. 13.1, S. 233
  - a. allgemeine und diskurspezifische<sup>98</sup> Englischkenntnisse (C-Test)
  - b. Fachkenntnisse zum Inhaltsbereich Chromatografie (Single-Choice-Test)
3. Aktuelle Motivation während der Bearbeitung der Tests (Rheinberg/Vollmeyer/Burns 2001, Vollmeyer/Rheinberg 2003) – s. Kap. 12.1, S. 175

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Fragebogens dargestellt.

### 10.1 Soziodemografische Daten und Schulbildung der Vpn der HU

Bei den vierzehn Versuchspersonen (Vpn) sieht die Häufigkeitsverteilung der im Fragebogen erhobenen Persönlichkeitsmerkmale wie folgt aus (s. Abb. 14 bis Abb. 18):

---

<sup>96</sup> Da alle mit Abschluss des Abiturs mindestens sieben Jahre Englischunterricht absolviert haben, wird als englisches Ausgangsniveau mindestens B1 des Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmens (GER) vorausgesetzt. Für die genauere Einschätzung der Englischkenntnisse der Vpn wurden die Rohdaten eines selbst entwickelten C-Tests verwendet.

<sup>97</sup> C-Test und SC-Fachtest wurden pilotiert. Der SC-Fachtest ist zwar ein bereits standardisiertes Instrumentarium, da aber zwei Items fachlich präzisiert wurden und ein weiteres Item hinzugefügt wurde, das gezielt einen Inhaltsaspekt zur Elutionswirkung von Laufmitteln abprüft, der in der Hauptuntersuchung von zentraler Bedeutung ist, mussten für das Instrumentarium durch eine Pilotierung noch einmal die Gütekriterien (Reliabilität, Trennschärfe und Schwierigkeit) bestimmt werden. Die Ergebnisse der Pilotierung und der vier Vpn werden im Ergebnisteil beschrieben.

<sup>98</sup> Bezieht sich auf Textabsätze aus englischen Chemiebüchern von der Sekundarstufe bis zum tertiären Bereich.

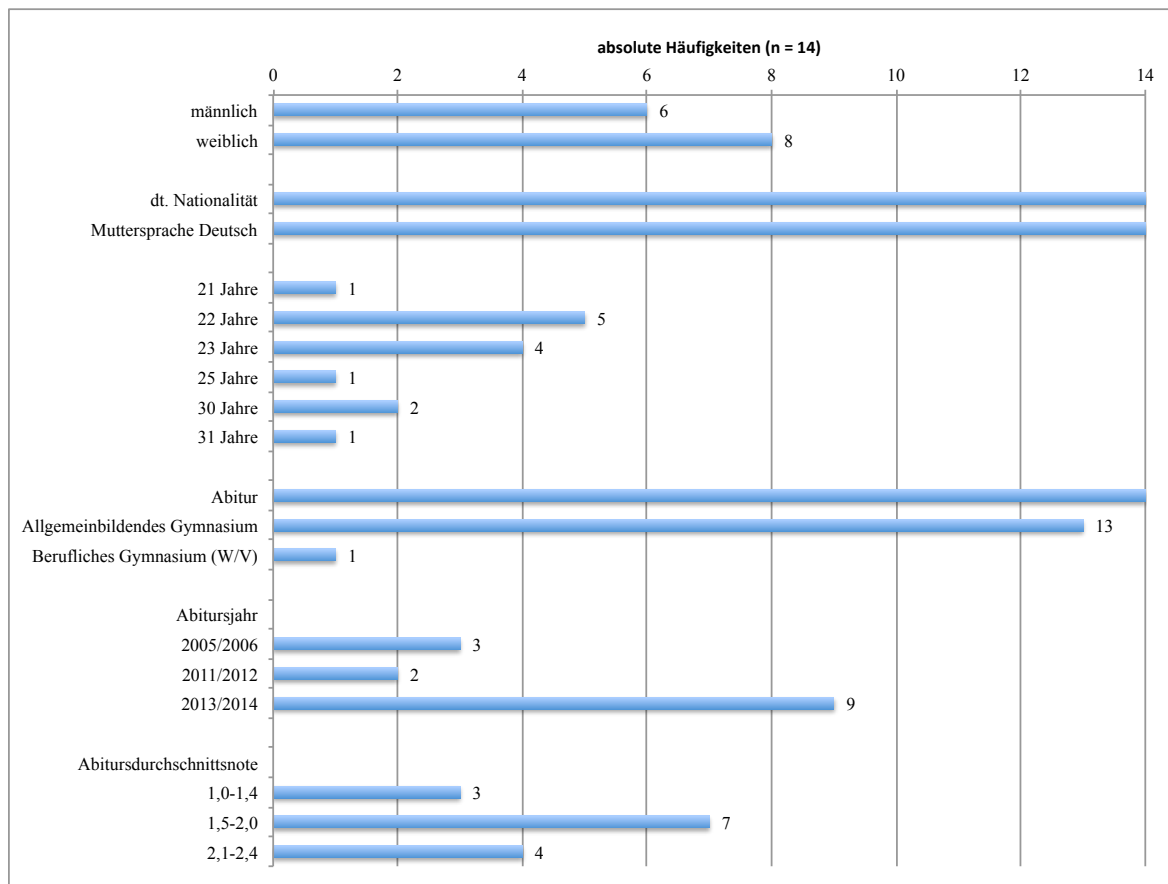


Abb. 14: Häufigkeitsverteilungen zu soziodemographischen Faktoren und Schulbildung der Vpn der Hauptuntersuchung (n = 14)

Sechs der 14 befragten Vpn sind männlich, acht weiblich. Alle Vpn haben Deutsch als Muttersprache. Mehr als die Hälfte der Vpn (n=11) sind zwischen 21 und 25 Jahren alt. Sie haben ihr Abitur zwischen 2011 und 2014 erworben. Die Vpn, die 30 und 31 Jahre alt sind, haben ihr Abitur 2005 bzw. 2006 abgeschlossen. 13 der Befragten haben ihr Abitur an einem allgemeinbildenden Gymnasium absolviert, nur eine Vp am Beruflichen Gymnasium im Bereich Wirtschaft und Verwaltung. Drei Vpn haben einen Abiturdurchschnitt zwischen 1,0 und 1,4, sieben Vpn zwischen 1,5 und 2,0, drei Vpn zwischen 2,1 und 2,4. Nur eine der 14 Vpn hatte in der Oberstufe Chemie weder als Grundkurs noch als Leistungskurs belegt. Alle Anderen, die Chemie belegt hatten, waren in dem Fach gut bis sehr gut. Davon hatten acht Vpn Chemie als Leistungskurs und fünf als Grundkurs. Genauso gut waren auch die Vpn, die Mathe (n=10), Physik (n=3) und Englisch (n=3) als Leistungskurs belegt hatten. Nur eine Vp hatte im Matheleistungskurs Punkte im Notenbereich befriedigend. Physikgrundkurs hatten sieben Vpn (davon waren fünf Vpn gut bis sehr gut und zwei Vpn befriedigend bzw. ausreichend). Drei Vpn hatten Mathegrundkurs mit Punkten im Notenbereich sehr gut bzw. befriedigend und 10 Vpn hatten Englischgrundkurs (davon waren acht Vpn gut bis sehr gut und zwei Vpn befriedigend).

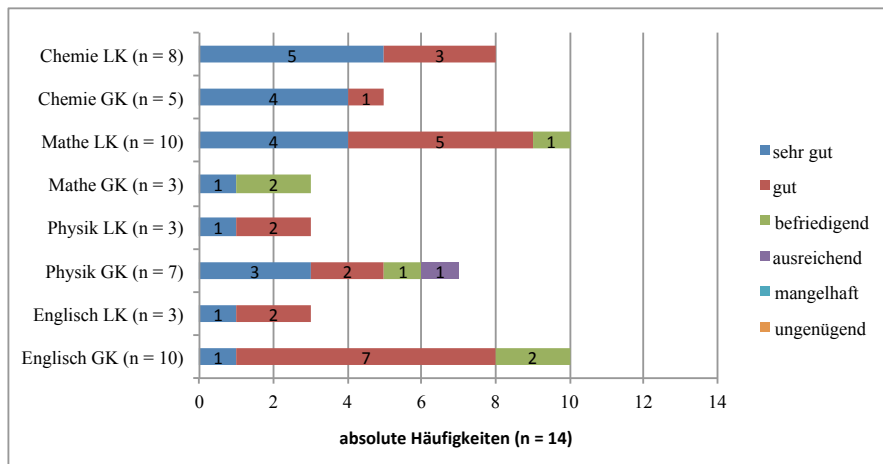


Abb. 15: Abiturnotenverteilung in den gewählten Grund- und Leistungskursen der Vpn der Hauptuntersuchung

In Abb. 16 sind die gewählten Leistungs- und Grundkurskombinationen der 13 Vpn dargestellt, die Chemie als Leistungskurs oder Grundkurs gewählt hatten. Sechs der acht Vpn mit Chemieleistungskurs hatten als weiteren Leistungskurs Mathematik, eine andere Vp hatte Englisch. Darüber hinaus hatten fünf Vpn zusätzlich zu ihrem Chemieleistungskurs Physik als Grundkurs. Die drei Vpn, die Physikleistungskurs hatten, hatten Chemie zumindest als Grundkurs belegt.

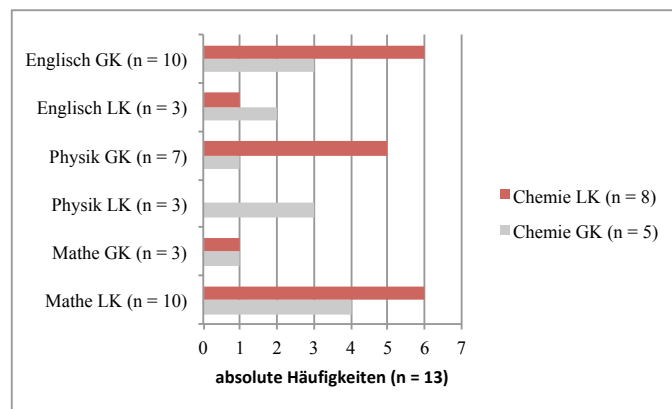


Abb. 16: Gewählte Leistungskurs- und Grundkurskombinationen der Vpn der Hauptuntersuchung im Abitur

Vier der 14 Versuchspersonen verfügen bereits über einen berufsqualifizierenden Abschluss (s. Abb. 18), davon haben zwei Vpn einen Berufsabschluss als Chemielaborant/-in bzw. Chemisch-technische(r) Assistent/-in und zwei einen Hochschulabschluss (Chemiediplom

bzw. Master in einer Geisteswissenschaft). Die meisten der Vpn haben die Fächerkombination Mathe/Chemie ( $n=6$ ), gefolgt von Englisch/Chemie ( $n=4$ ), Geographie/Chemie ( $n=2$ ), LEH/LPT<sup>99</sup> ( $n=1$ ) und LPT/GRW<sup>100</sup> ( $n=1$ ).

## 10.2 Genutzte Möglichkeiten der Vpn der HU zur Erweiterung der Englischkenntnisse

Insgesamt haben acht der 14 Befragten Möglichkeiten genutzt, um über den Englischunterricht hinaus Englisch zu lernen. Abb. 17 zeigt, welche Möglichkeiten genutzt wurden.

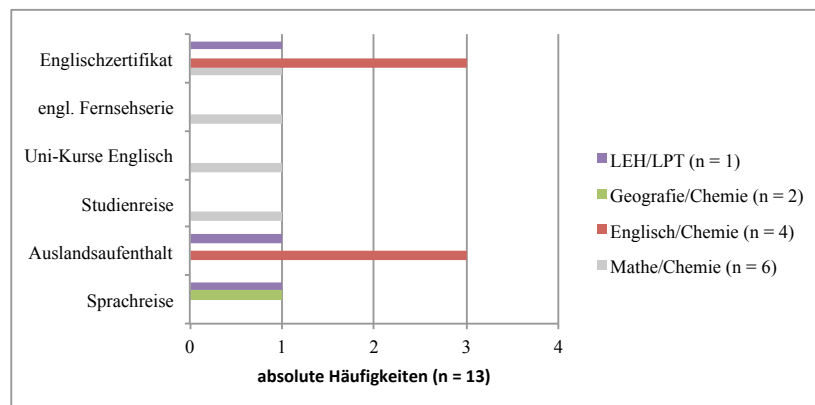


Abb. 17: Genutzte Möglichkeiten der Vpn der Hauptuntersuchung, um Englisch zu lernen

Drei der vier Vpn mit der Fächerkombination Englisch/Chemie haben vor dem Studium ein Englischzertifikat<sup>101</sup> erworben (je eine Vp hat Cambridge Niveau B1, TOEFL Niveau C1 und keine näheren Angaben gemacht). Die anderen beiden Vpn mit Englischzertifikat (jeweils Niveau C1) haben die Fächerkombination Mathe/Chemie bzw. LEH/LPT. Erstere hat Englischkurse an der Universität belegt und schaut auch englische Fernsehserien. Auslandsaufenthalte der drei Vpn mit Englisch als Erstfach waren in englischsprachigen Ländern für eine Dauer von 7–12 Monaten. Die Vp mit der Fächerkombination LEH/LPT war ebenfalls im englischsprachigen Land, allerdings nur für drei Monate. Eine andere Vp von den insgesamt sechs Vpn mit Mathe als Erstfach hat eine 5-tägige Studienreise über die Schule in ein englischsprachiges Land gemacht.

<sup>99</sup> LEH: Lebensmittel-, Ernährungs- und Hauswirtschaftslehre; LPT: Labor- und Prozesstechnik

<sup>100</sup> GRW: Gemeinschaftskunde/Recht/Wirtschaft

<sup>101</sup> Nach dem Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmen (GER) sind sechs Niveaustufen definiert: A1 und A2 (elementare Sprachverwendung), B1 und B2 (selbstständige Sprachverwendung), C1 und C2 (kompetente Sprachverwendung), online verfügbar unter: <http://www.europaeischer-referenzrahmen.de> [05.02.2016].

### 10.3 Berufsqualifizierende Abschlüsse und Angaben zum Lehramtsstudium der Vpn der HU

Die meisten der Befragten studieren Lehramt an Gymnasien (n=10), gefolgt gleichauf von Lehramt an Mittelschulen (n=2) und Lehramt an berufsbildenden Schulen (n=2). Sechs Vpn haben die Kombination Mathe/Chemie, vier Vpn Englisch/Chemie, zwei Vpn Geographie/Chemie und jeweils eine Vp LPT/GRW bzw. LEH/LPT. Mehr als die Hälfte (n=8) sind im vierten bis fünften Fachsemester, vier im sechsten bis siebten und zwei im neunten bis zehnten Fachsemester. Dadurch erklären sich auch die Unterschiede in der Anzahl abgeschlossener fachspezifischer und fachdidaktischer Module des Lehramtsstudiums. „Grundlagen der Chemie und Chemie der Elemente“<sup>102</sup> und „Reaktionen in der Anorganischen Chemie“ haben alle abgeschlossen. Die Unterschiede in den für die Chromatografie relevanten Modulen sind dagegen sehr groß. Elf Vpn haben die Grundlagen der organischen Chemie abgeschlossen, aber nur zwei Vpn auch die Vertiefung dazu. Die „Vertiefung: Analytische Chemie“ haben nur vier Vpn absolviert. Da mehr als die Hälfte erst im vierten bis fünften Fachsemester ist, haben jeweils nur neun Vpn die Grundlagen der Fachdidaktik bzw. Berufsdidaktik und die Experimentallehre abgeschlossen, nur drei Vpn „Technische Aspekte“, vier Vpn „Schulpraktische Übungen (SPÜ)“ und nur drei Vpn „Blockpraktikum B“. Abb. 19 zeigt die Notenverteilung innerhalb der fachspezifischen Module und Abb. 20 innerhalb der berufs- bzw. fachdidaktischen Module. Die Notenverteilung in den berufs- bzw. fachdidaktischen Modulen fällt im Vergleich zu den fachspezifischen besser aus (s. Abb. 20), wobei die meisten Module erst von weniger als der Hälfte der Vpn abgeschlossen wurden und die Experimentallehre und die Technischen Aspekte nur bestanden werden müssen.

---

<sup>102</sup> Eine Vp hat hier keine Angabe gemacht, müsste aber das Modul abgeschlossen haben, da man sonst das Modul „Reaktionen in der Anorganischen Chemie“ nicht belegen kann.

## 10 Beschreibung der Versuchspersonen (Vpn) der Fallstudie

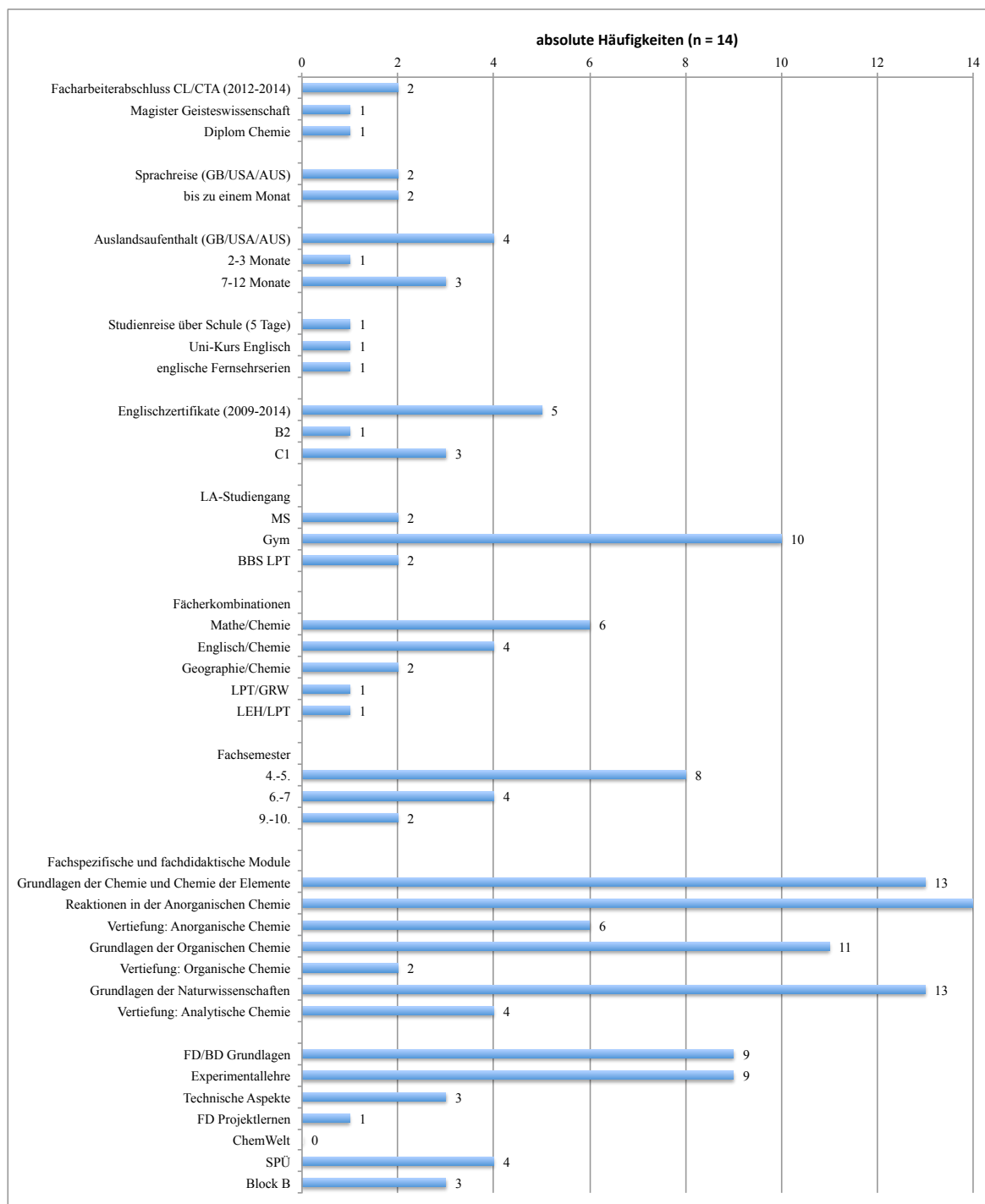


Abb. 18: Häufigkeitsverteilungen zu berufsbezogenen Qualifizierungen/Studienabschlüssen sowie zum aktuellen Stand im Lehramtsstudium und zu Vorkenntnissen zur Chromatografie durch Schule, Beruf und/oder Studium der Vpn der Hauptuntersuchung (n = 14)

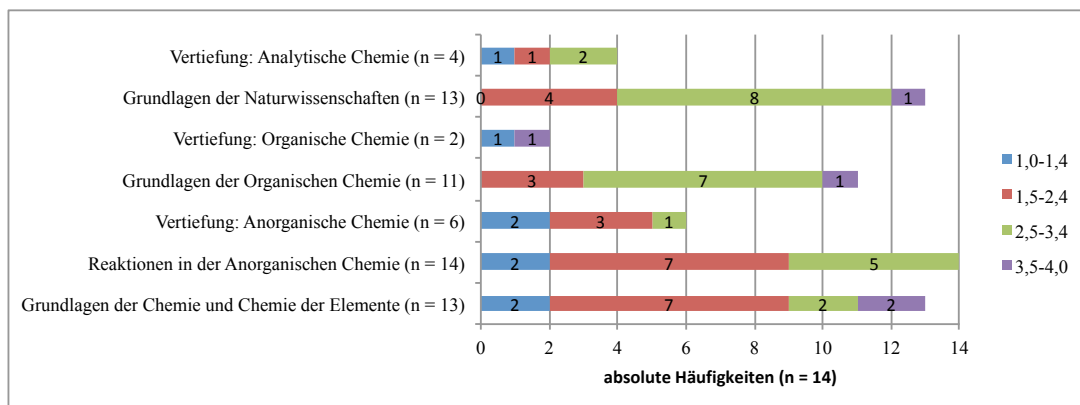


Abb. 19: Notenverteilung in den fachspezifischen Module (n = 14)

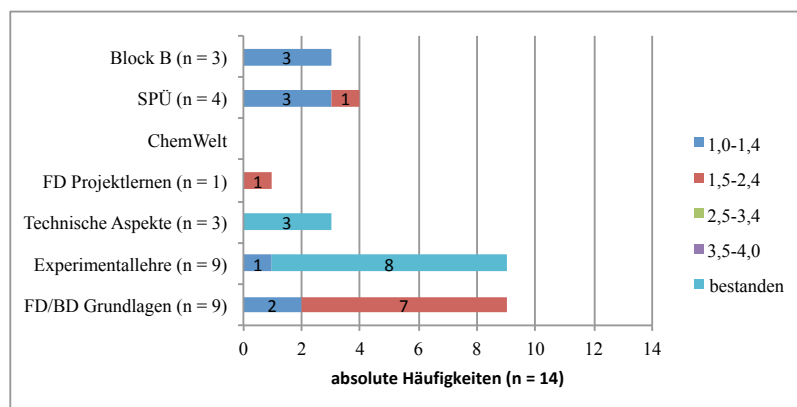


Abb. 20: Notenverteilung in den fachdidaktischen Module (n = 14)

### 10.4 Behandelte Themen zur Extraktion und Chromatografie der Vpn der HU

Abschließend wurden die Vpn befragt, ob Themen zur Extraktion und Chromatografie in der Schule, im Beruf, im Studium oder gar nicht behandelt wurden (s. Abb.21). Wenn theoretische Grundlagen zur Extraktion und Chromatografie vorliegen, dann sind sie meistens im Studium behandelt worden. Die beiden jeweils fehlenden Nennungen betreffen vier Vpn. Bei der Extraktion liegt die Vermutung nahe, dass die beiden Vpn das Thema in der Schule/im Studium zwar hatten, aber es nicht mehr abrufbar hatten. Bei der Chromatografie fehlte in einem Fall die Eintragung auf dem Fragebogen, in einem anderen Fall wurde angegeben, dass Grundlagen zur Chromatografie nie behandelt wurden. Nur die Vpn des siebten und höheren Fachsemesters haben im Rahmen der „Vertiefung: Analytische Chemie“ sich mit Chromatografie beschäftigt. Entsprechend der Angaben der Vpn wurden in dem Modul Trennprinzipien Adsorption und Verteilung, Problemstellungen wie die Trennung von Stoffgemischen von z.B. Alkanen (Benzin), Polymeren durch Größenaus-



schlusschromatografie, Grundlagen der Auswertung, GC, HPLC, Begriffe wie Retentionszeit und reduzierte Retentionszeit sowie der grundlegende Aufbau chromatografischer Systeme mit mobiler und stationärer Phase behandelt.

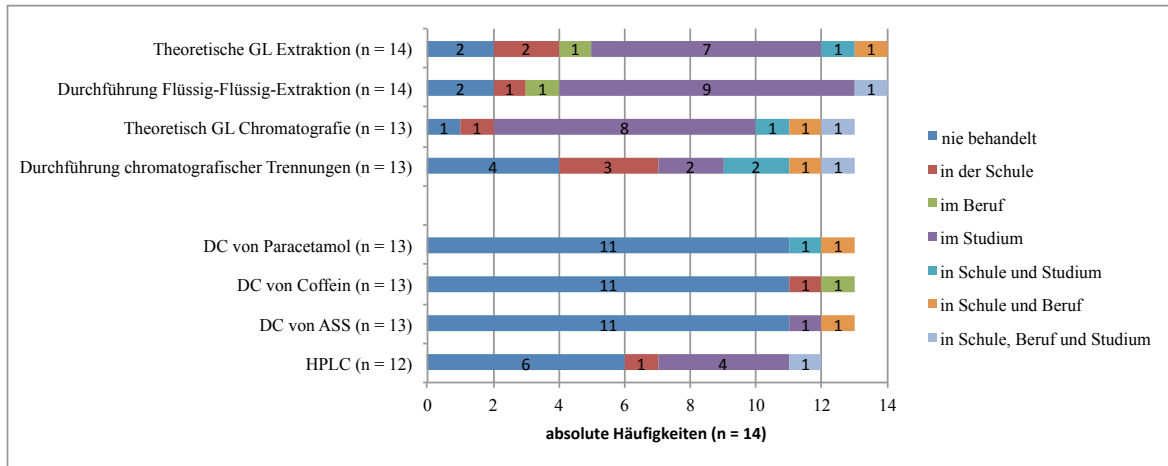


Abb. 21: Häufigkeitsverteilung der in Schule, Studium und/oder Beruf behandelten Themen zur Extraktion und Chromatografie (n = 14)

## 11 Beschreibung der Datenerhebungsverfahren und des Versuchsablaufes

Im Folgenden werden die Datenerhebungsverfahren zur Bestimmung der englischsprachlichen und fachlichen Vorkenntnisse sowie die Aufgabenkomplexe des Lehr-Lernkonzeptes der Fallstudie (zweiter Teil der Hauptuntersuchung) beschrieben. Im Anschluss daran wird der Versuchsablauf dargelegt.

Die Datenerhebungsverfahren zur Bestimmung der englischsprachlichen und fachlichen Vorkenntnisse wurden selbst entwickelt bzw. angepasst. Dementsprechend war eine Pilotierung erforderlich, um die Gütekriterien der Instrumente (C-Test und SC-Fachtest) zu bestimmen. Dazu wurden Vpn ausgewählt, deren Vorkenntnisse vergleichbar mit denen von Lehramtsstudierenden waren, für die die Fallstudie ausgelegt ist. Für die Pilotierung wurden Teilnehmer/-innen mit folgenden Voraussetzungen ausgewählt:

1. Abitur /Realschulabschluss<sup>103</sup>
2. Ausbildung als Chemielaborant\*in (vorwiegend 2. bis 4. Lehrjahr)

Zur genauen Erfassung der Voraussetzungen der Versuchspersonen (Vpn) der Pilotierung wurden personenbezogene Daten in Form einer schriftlichen Befragung erhoben, deren Ergebnisse im Folgenden zusammengefasst werden.

### 11.1 Beschreibung der Versuchspersonen der Pilotierungen von C-Test und SC-Fachtest

Für die Pilotierung konnten 31 Auszubildende der ASG in Nünchritz gewonnen werden. Über einen Fragebogen<sup>104</sup> wurden folgende personenbezogene Daten (soziodemografische, fachliche und englischsprachliche Aspekte) zur Charakterisierung der Versuchspersonen erhoben:

- a. Alter, Geschlecht, Lehrjahr
- b. Schulabschluss sowie weitere berufsqualifizierende Abschlüsse
- c. Abschlussnoten in Englisch, Mathematik, Chemie, Physik
- d. Sprachreisen, Auslandsaufenthalte, Sprachzertifikate
- e. Vorkenntnisse zur Chromatografie durch Schule und Betrieb/ÜBS<sup>105</sup>

---

<sup>103</sup> In der Chemielaborantenausbildung wählen Betriebe in der Regel nur solche Realschulabsolvent(inn)en aus, die in den Naturwissenschaften mindestens die Note 2 haben. Die Realschulabsolvent(inn)en (weniger als die Hälfte der Testteilnehmerinnen und -teilnehmer), die an der Pilotierung teilgenommen haben, waren mindestens im 2. Lehrjahr und haben somit schon ein halbes Jahr das Lernfeld 8 „Chromatografische Untersuchungen durchführen“ gehabt.

<sup>104</sup> Der Fragebogen wurde im Rahmen der Längsschnittstudie ManKobE („Mathematisch-naturwissenschaftliche Kompetenzen in der beruflichen Erstausbildung“) entwickelt und ist ein durch Frank/Bernolt/Parchmann (2016) validiertes Instrument.

<sup>105</sup> Überbetriebliche Bildungsstätte (hier: ASG Sachsen mbH, Niederlassung Nordsachsen, Bildungsstätte Nünchritz)

Von den 31 Versuchspersonen (Vpn), die an der Pilotierung teilgenommen haben, haben 30 Vpn den Fragebogen ausgefüllt. Die Häufigkeitsverteilungen der im Fragebogen erhobenen Persönlichkeitsmerkmale werden im Folgenden ausgeführt und sind in den Abbildungen 22 bis 31 dargestellt.

### 11.1.1 Soziodemografische Daten und Schulbildung der Vpn der Pilotierungen von SC-Fachtest und C-Test (n = 30)

Die Geschlechterverteilung ist nahezu ausgewogen mit 43 % männlichen Vpn und 57 % weiblichen Vpn. Die Vpn sind nahezu gleichmäßig über alle vier Lehrjahre verteilt, wobei die meisten Vpn im zweiten Lehrjahr (30 %) sind, gefolgt vom 1. und 4. Lehrjahr (jeweils 23 %) und dem 3. Lehrjahr (20 %). Eine Vp hat diese Frage nicht beantwortet. Deutlich mehr als die Hälfte der Vpn (67 %) hat die Allgemeine Hochschulreife (Abitur), drei Vpn (10 %) die Fachhochschulreife und sieben Vpn (23 %) den Realschulabschluss erworben. Die Altersspanne liegt zwischen 17 und 31 Jahren. Mehr als die Hälfte (57 %) sind zwischen 17 und 22 Jahre alt. Unter den Vpn, die 20 Jahre und älter sind, hatten elf Vpn vor der aktuellen Ausbildung bereits ein Studium begonnen und zwei Vpn auch abgeschlossen (s. Abb. 23). Eine Vp mit Fachhochschulreife hatte eine vollzeitschulische Ausbildung abgeschlossen und eine Vp eine andere duale Ausbildung begonnen.

Anders als erwartet, haben vier Vpn einen Notendurchschnitt des zuletzt erworbenen allgemeinbildenden Abschlusses von 3,0 und schlechter (drei Vpn mit Abitur/FHR und eine Vp mit Realschulabschluss). Mehr als die Hälfte der Vpn mit Abitur hatte Englisch als Leistungskurs (LK) und das Fach mit guten bis befriedigenden Leistungen abgeschlossen (s. Abb. 24). Chemiegrund- und -leistungskurse wurden von jeweils 10 Vpn belegt und mit sehr guten bis guten Leistungen absolviert, in einem Fall mit befriedigenden Leistungen, wobei vier Vpn keine Angabe zur Note gemacht haben.<sup>106</sup> Die Leistungen in den Grundkursen Englisch und Physik streuen am meisten mit jeweils einer mangelhaften Leistung (s. Abb. 24).

Unter den Vpn mit Realschulabschluss liegen die Leistungen in den naturwissenschaftlichen-mathematischen Fächern bei mindestens der Hälfte zwischen sehr gut und gut. In Physik und Mathe haben zwei bzw. drei Vpn mit Realschulabschluss befriedigende Leistungen. In Englisch haben nur zwei Vpn mit Realschulabschluss sehr gute bzw. gute Leistungen. Die anderen fünf Vpn mit Realschulabschluss haben befriedigende (drei Vpn) und ausreichende (zwei Vpn) Leistungen (s. Abb. 25).

Abb. 26 zeigt noch einmal die Notenverteilung von allen Vpn der Pilotierung, wobei nicht alle Angaben zur Note gemacht haben bzw. machen konnten<sup>107</sup>. Daran wird deutlich, dass die Vpn die durchgängig besten Leistungen im Fach Chemie haben. Die Leistungen

<sup>106</sup> Während der Erhebung sagten einige Vpn, dass sie sich an ihre Note nicht mehr genau erinnern könnten.

<sup>107</sup> Dies betrifft die Abiturient(inn)en, die diese Fächer nicht als GK oder LK gewählt hatten und daher keine weiteren Angaben zur Note gemacht haben.

im Fach Englisch sind ähnlich verteilt wie die im Fach Mathe mit 13 bzw. 14 Vpn im Notenbereich sehr gut bis gut, 13 Vpn im Notenbereich befriedigend und zwei Vpn im Notenbereich ausreichend. In Englisch hat eine Vp mangelhafte Leistungen.

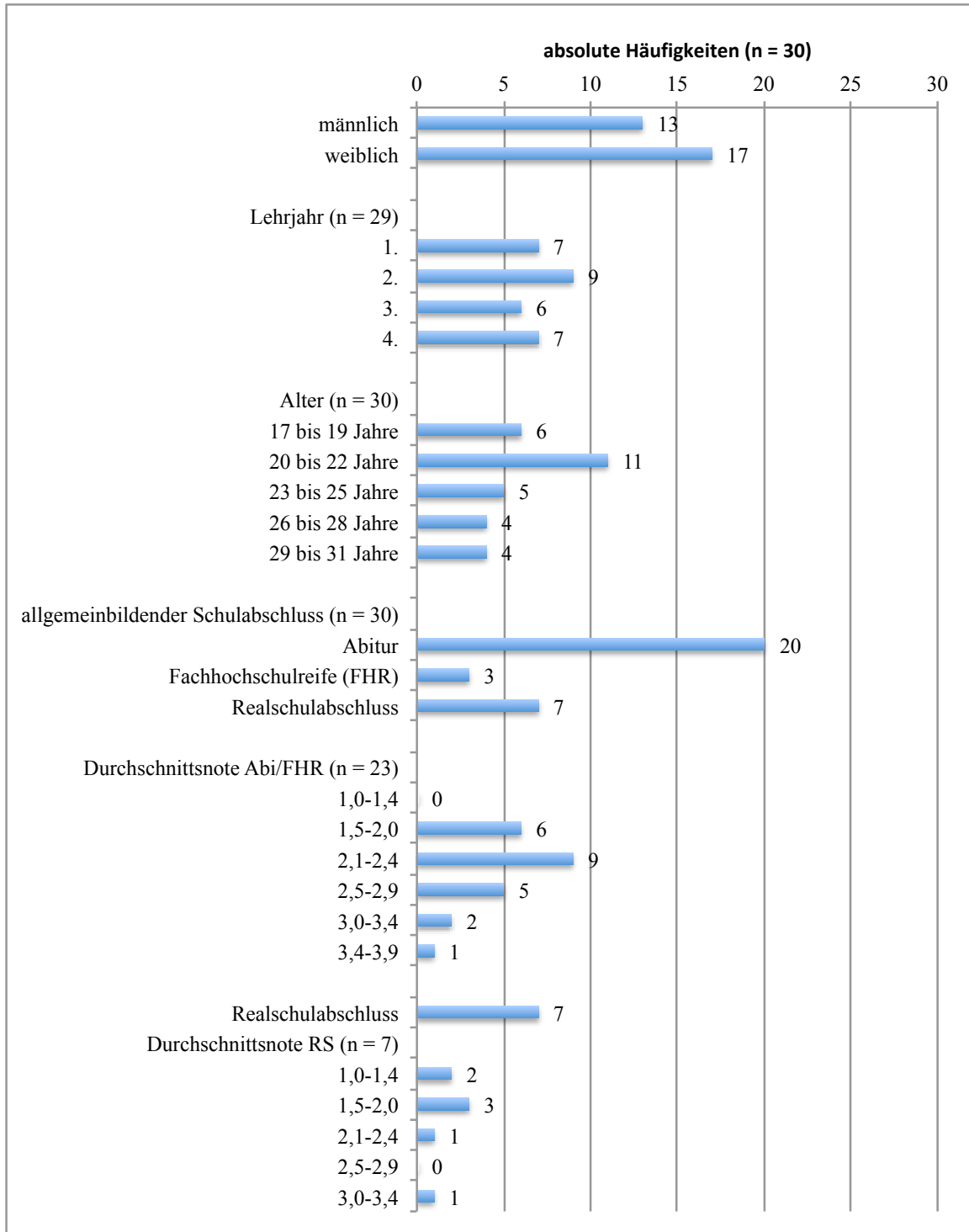


Abb. 22: Häufigkeitsverteilungen zu soziodemographischen Faktoren und Schulbildung der Vpn der Pilotierung (n = 30); Angabe der absoluten Häufigkeiten

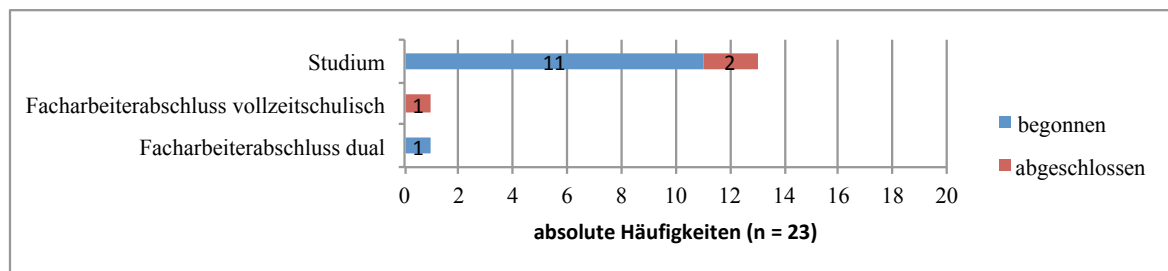
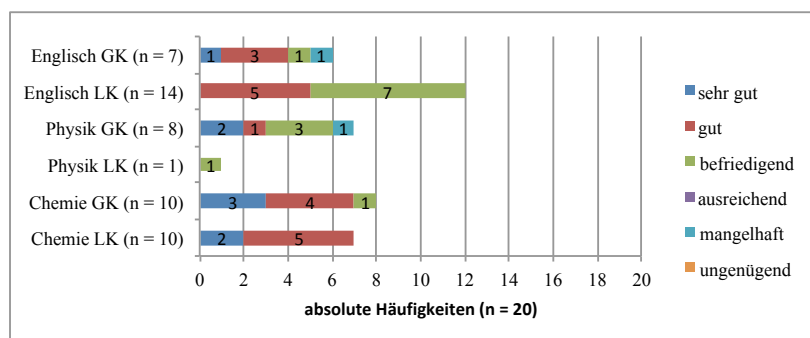


Abb. 23: Weitere berufliche Qualifizierungen der Vpn der Pilotierung mit Abitur oder Fachhochschulreife (n = 23), Angabe der absoluten Häufigkeiten



GK: Grundkurs; LK: Leistungskurs

Abb. 24: Notenverteilung in den gewählten Leistungskurs- und Grundkurskombinationen der Vpn der Pilotierung mit Abitur (n = 20), Angabe der absoluten Häufigkeiten

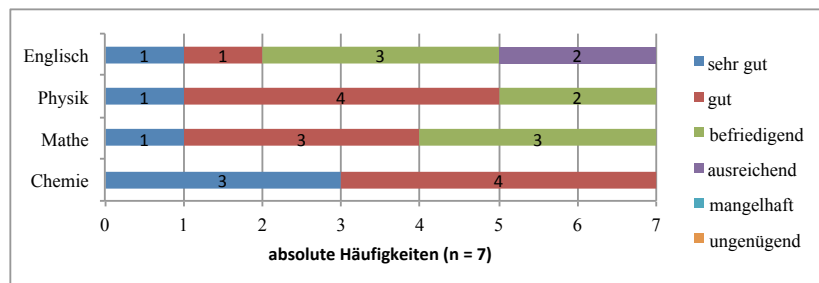


Abb. 25: Notenverteilung in den Fächern Englisch, Physik, Mathe und Chemie der Vpn der Pilotierung mit Realschulabschluss (n = 7), Angabe der absoluten Häufigkeiten

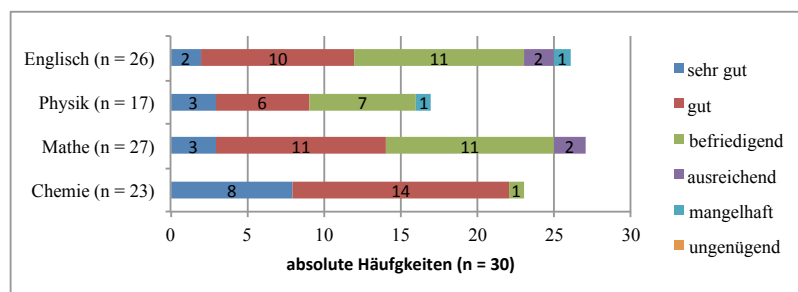


Abb. 26: Notenverteilung in den Fächern Englisch, Physik, Mathe und Chemie der Vpn der Pilotierung mit Abitur, Fachhochschulreife oder Realschulabschluss (n = 30), Angabe der absoluten Häufigkeiten

### 11.1.2 Genutzte Möglichkeiten der Vpn der Pilotierung zur Erweiterung der Englischkenntnisse

Insgesamt haben 18 von 30 Vpn (13 Vpn mit Abitur/FHR und fünf Vpn mit Realschulabschluss) zusätzliche Möglichkeiten zum Englisch lernen genutzt. Das sind unter den Vpn mit Abitur/FHR 56,5% und unter denen mit Realschulabschluss 71,4%. Vier Vpn (zwei mit Abitur und zwei mit Realschulabschluss) haben zwei Möglichkeiten genutzt. Die Kombinationen sind in Abb.27 dargestellt. Unter den insgesamt 23 Vpn mit Abitur haben fünf Vpn ein Englischzertifikat erworben (s. Abb.28), von denen eine Vp auch eine Sprachreise absolviert hat (s. Abb.27). Zwei von fünf Vpn, die einen Auslandsaufenthalt gemacht haben, schauen auch englische Fernsehserien (eine mit Abitur und eine mit Realschulabschluss). Eine Vp mit Realschulabschluss hat sowohl eine Studienreise im Rahmen einer Klassenfahrt als auch eine Sprachreise unternommen (s. Abb.27). Wenn Sprachreisen und Auslandsaufenthalte in englischsprachigen Ländern unternommen worden waren, dauerten sie bei fünf von sechs Vpn nicht länger als einen Monat (s. Abb.29). Es gab nur eine Sprachreise einer Vp, die länger war (zwei bis drei Monate).

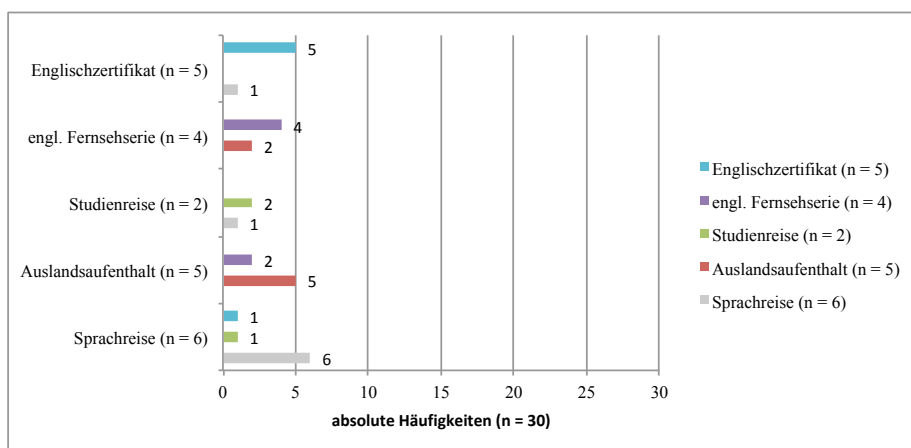


Abb. 27: Kombinationen der genutzten Möglichkeiten der Vpn der Pilotierung, um Englisch zu lernen (n = 30), Angabe der absoluten Häufigkeiten

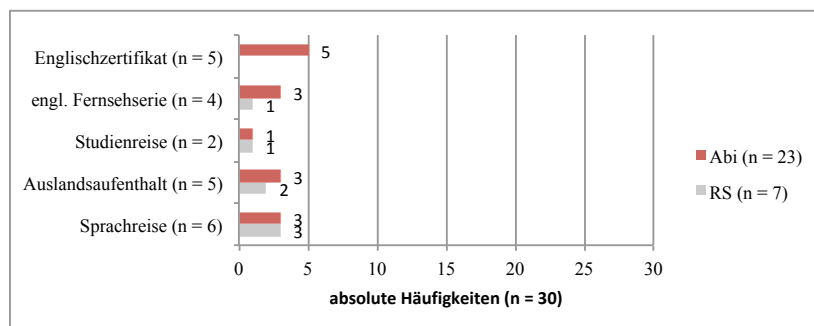


Abb. 28: Genutzte Möglichkeiten der Vpn der Pilotierung, um Englisch zu lernen (n = 30), Angabe der absoluten Häufigkeiten

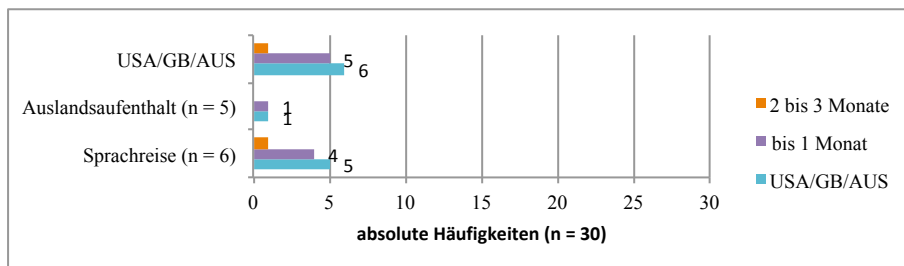


Abb. 29: Dauer der Auslandsaufenthalte in englischsprachigen Ländern der Vpn der Pilotierung (n = 30), Angabe der absoluten Häufigkeiten

### 11.1.3 Behandelte Themen zur Extraktion und Chromatografie an den Lernorten der Vpn der Pilotierung

Bei fast allen Vpn wurden bereits chromatografische Verfahren (s. Abb.30 und Abb.31) während der Ausbildung behandelt. Bei etwas mehr als der Hälfte der Vpn wurden sogar Paracetamol, ASS und Coffein im Zusammenhang mit Dünnschichtchromatografie an einem der drei Lernorte (Berufsschule, Betrieb, ÜBS) thematisiert. Das deckt sich auch mit den Erwartungen bzgl. der Lehrplanvorgaben, nach denen Chromatografie im ersten bzw. zweiten Lehrjahr in den Lernfeldern 4 und 8 der Chemielaborantenausbildung vorgesehen ist.

Wenn chromatografische Bestimmungen oder Dünnschichtchromatografie noch nie in der Ausbildung Thema war, betraf es das erste Lehrjahr. In bis zu zwei Fällen gaben Vpn aus dem 2. und 4. Lehrjahr an, im Betrieb/an der ÜBS chromatografische Bestimmungen oder Dünnschichtchromatografie nie behandelt zu haben (s. Abb. 32). Da Betriebe auswählen, welche Kurse sie an der ASG Nünchritz für ihre Auszubildenden buchen, ist es gut möglich, dass nicht alle Vpn an der ASG in Nünchritz (einer ÜBS), Kurse zu chromatografischen Bestimmungen belegt haben.

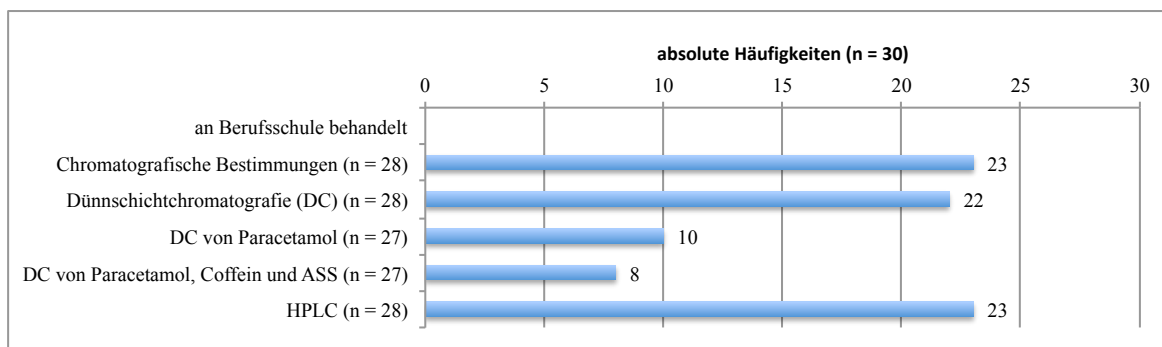


Abb. 30: Häufigkeitsverteilung der an der Berufsschule behandelten Inhalte zur Chromatografie bei den Vpn der Pilotierung (n = 30), Angabe der absoluten Häufigkeiten

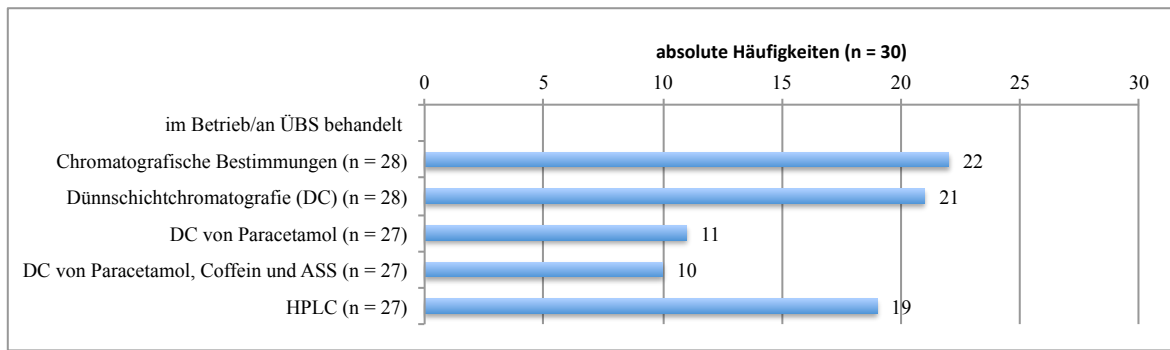


Abb. 31: Häufigkeitsverteilung der im Betrieb/an ÜBS behandelten Inhalte zur Chromatografie bei den Vpn der Pilotierung (n = 30), Angabe der absoluten Häufigkeiten

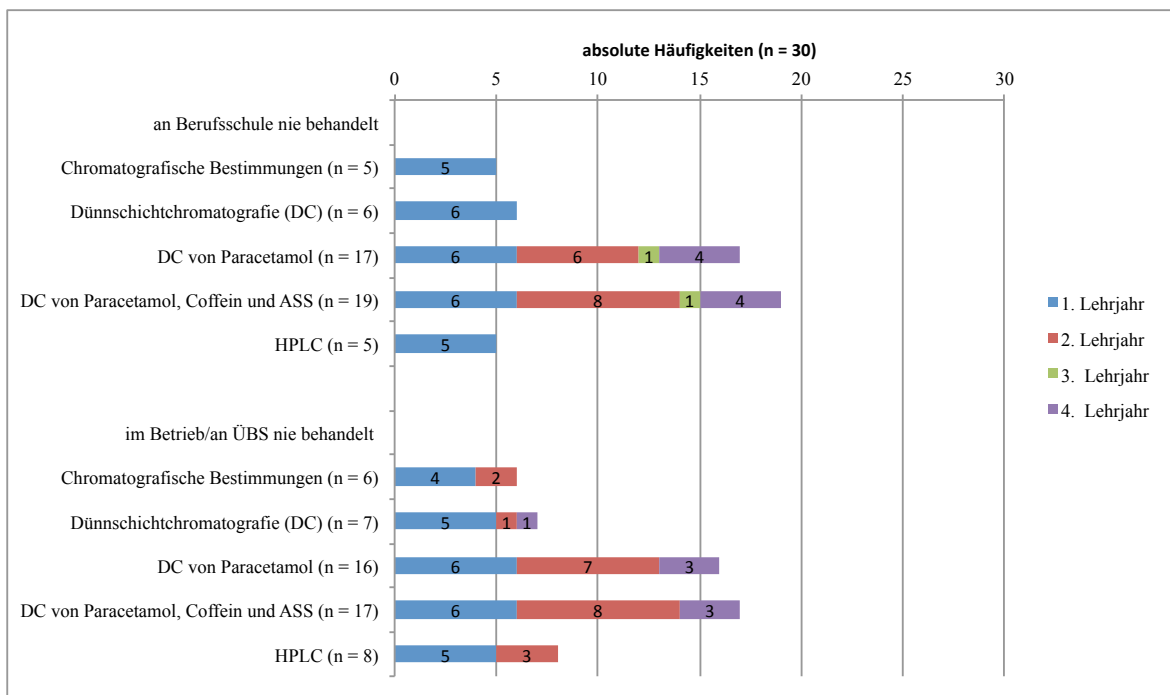


Abb. 32: Häufigkeitsverteilung der nie behandelten Inhalte zur Chromatografie bei den Vpn der Pilotierung (n = 30) nach Lehrjahr, Angabe der absoluten Häufigkeiten

Wenn Vpn angegeben haben, dass chromatografische Inhalte über einen längeren Zeitraum oder über einen längeren Zeitraum und wiederholend behandelt wurden, dann betrifft es die Vpn des zweiten und vierten Lehrjahres (s. Abb. 33).



## 11 Beschreibung der Datenerhebungsverfahren und des Versuchsablaufes

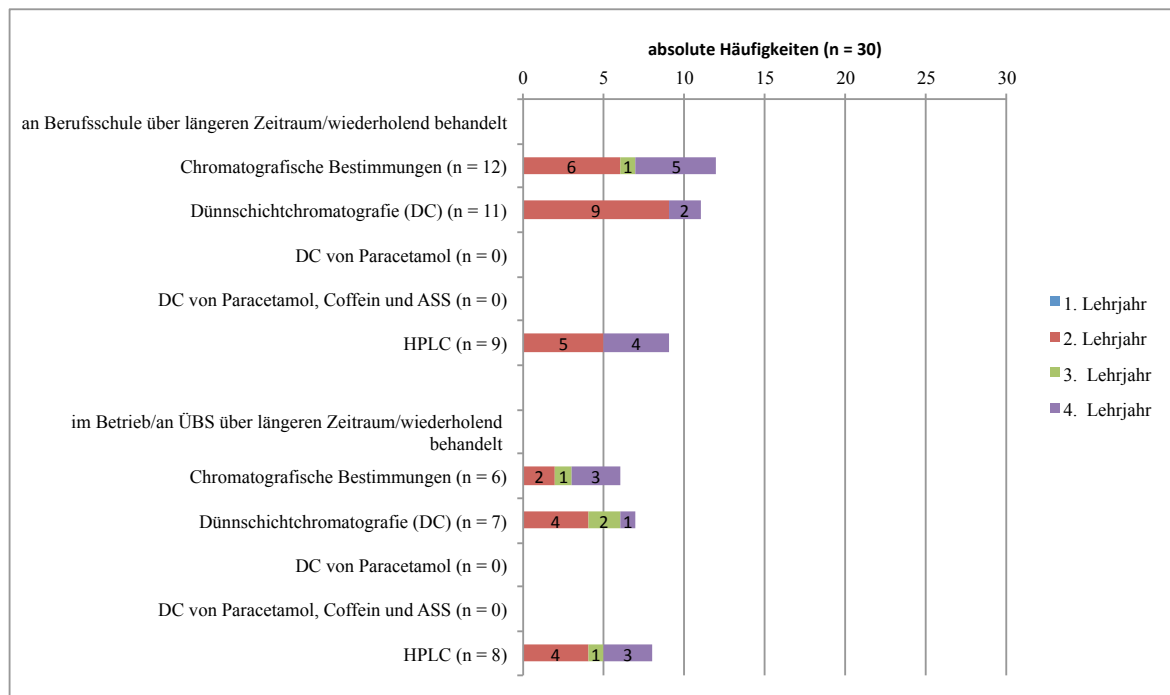


Abb. 33: Häufigkeitsverteilung der über längeren Zeitraum/wiederholend behandelten Inhalte zur Chromatografie bei den Vpn der Pilotierung (n = 30) nach Lehrjahr, Angabe der absoluten Häufigkeiten

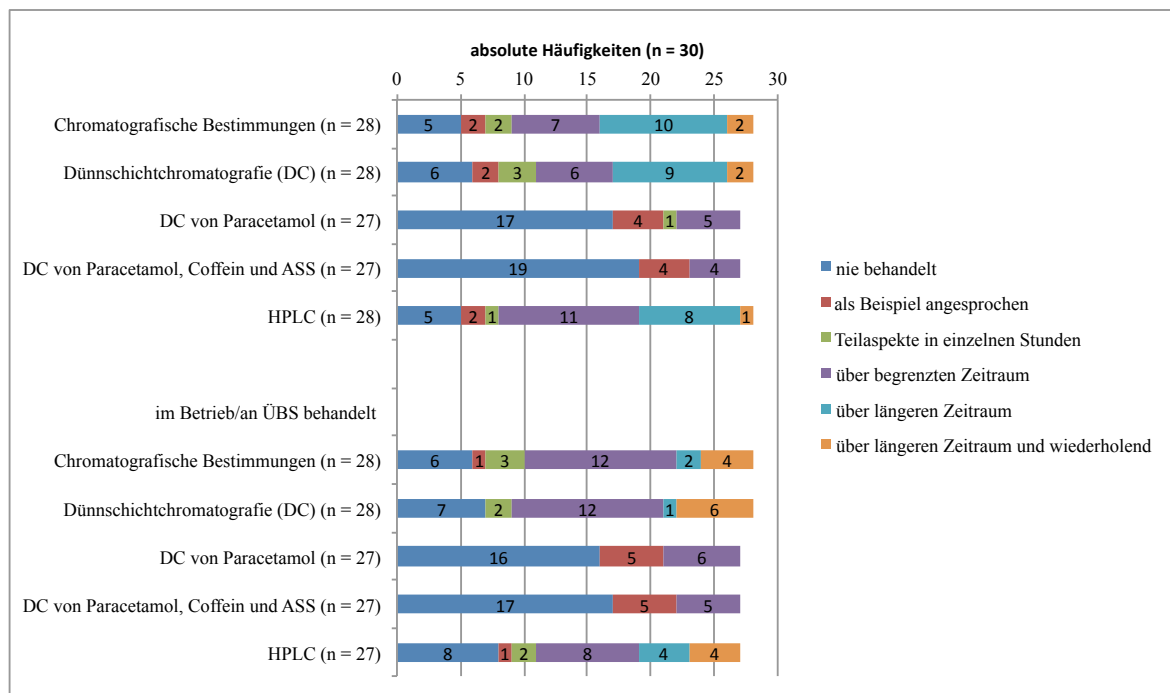


Abb. 34: Häufigkeitsverteilung der an den drei Lernorten behandelten Inhalte zur Chromatografie bei den Vpn der Pilotierung (n = 30) nach Intensität, Angabe der absoluten Häufigkeiten

Die Ergebnisse der schriftlichen Befragung zeigen, dass die englischsprachlichen und fachspezifischen Voraussetzungen der Vpn der Pilotierung vergleichbar sind mit denen, die bei den Vpn der Hauptuntersuchung zu erwarten sind.

Im Folgenden werden die Instrumente zur Bestimmung der fachlichen (Single-Choice-Fachtest, s. Kap. 11.2) und der englischsprachlichen Kenntnisse (C-Test, s. Kap. 11.3) beschrieben.

## **11.2 Single-Choice-Fachtest zur Bestimmung der Fachkenntnisse zur Chromatografie**

Zur Erfassung der fachlichen Vorkenntnisse der Vpn der Hauptuntersuchung (s. Kap. 10, S. 125) zum Inhaltsbereich der Chromatografie wird ein bereits vollständig validiertes Instrument eingesetzt. Es handelt sich um einen Single-Choice-Test (SC-Fachtest), den Frank/Bernolt/Parchmann (ebd.) entsprechend der Kompetenzmodellierung für die Domäne Chemie entwickelt haben.<sup>108</sup> Da zwei Items des SC-Fachtests fachlich präzisiert werden mussten und ein weiteres Item hinzugefügt wurde, das gezielt einen Inhaltsaspekt zur Elutionswirkung von Laufmitteln abprüft, der in der Hauptuntersuchung von zentraler Bedeutung ist, mussten für das Instrumentarium durch eine Pilotierung noch einmal die Gütekriterien (Reliabilität, Trennschärfe und Schwierigkeit) bestimmt werden.

### **11.2.1 Konzeption des Single-Choice-Fachtests**

Der gesamte Test ist in eine thematische Klammer eingebunden, in der Art wie es seit der Neuordnung der Chemieberufe bei den IHK-Abschlussprüfungen üblich ist. Die Beantwortung der gebundenen und ungebundenen Aufgaben ist in den Kontext einer beruflichen Problemstellung gestellt.

Der Anwendungskontext dieses SC-Fachtests (s. Anhang, Kap. 21.2, S. 555) ist ein Arbeitsauftrag, bei dem synthetisiertes Paracetamol (N-Acetyl-4-Aminophenol) mittels Dünnschichtchromatografie auf Verunreinigungen mit 4-Aminophenol untersucht werden soll. Vorgegeben sind:

- Reaktionsgleichung zur Synthese von Paracetamol mit Benennung der Edukte und Produkte
- Hinweis darauf, dass Probe in Tablettenform vorliegt und Geräte und Chemikalien bereitgestellt sind
- Datenblatt zu Paracetamol im Anhang

---

<sup>108</sup> Die Testentwicklung erfolgte im Rahmen der Längsschnittstudie ManKobE („Mathematisch-naturwissenschaftliche Kompetenzen in der beruflichen Erstausbildung“).

Der Test besteht aus insgesamt 21 Items mit 20 gebundenen Aufgaben und einer ungebundenen Aufgabe. Die Aufgaben 1, 3, 6 und 8 wurden fachlich präzisiert und weichen daher vom Originaltest ab. Aufgabe 7 ist die neu hinzugefügte Aufgabe, die auf den Inhaltsaspekt zur Elutionswirkung von Laufmitteln fokussiert. Die Inhaltsschwerpunkte der einzelnen Items und die vorgenommenen Änderungen sind in Tab. A 41 (S. 560) dokumentiert.

In den Aufgaben wird sowohl handlungsbezogenes Wissen<sup>109</sup> als auch theoriebezogenes Wissen abgefragt. Sie sind in der Reihenfolge entlang der Handlungsschritte zur Bearbeitung des Arbeitsauftrages angeordnet.

### 11.2.2 Pilotierung des Single-Choice-Fachtests

Der SC-Fachtest wurde aus den oben genannten Gründen (s. S. 141 und Tab. A 41, S. 560) pilotiert. Er wurde an 25 Vpn erprobt, die vergleichbare Vorkenntnisse wie die 14 Studierenden hatten, die an der Hauptuntersuchung teilgenommen haben. Tab. 33 gibt einen Überblick über die Datenerhebungs- und Analysemethoden der Pilotierung des SC-Fachtests.

Tab. 33: Pilotierung – Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden

| Pilotierung zur Validierung des C-Tests und des SC-/MC-Tests ( $N \approx 30$ bis 50) |                     |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ziel                                                                                  | Methode             | Auswertung                                                                                               | Ergebnisse                                                                                                                                                                                                  |
| Personenbezogene Daten zur Interpretation der Testergebnisse                          | quant (Fragebogen)  | deskriptiv                                                                                               | Häufigkeitsverteilungen bzgl. Geschlecht, Alter, Bildungsabschlüssen, Noten in ausgewählten Fächern                                                                                                         |
| Bestimmung der fachlichen Vorkenntnisse (fVK)                                         | quant (SC-/MC-Test) | deskriptiv/inferentiell<br>Bestimmung der Gütekriterien (Reliabilität, Trennschärfe, Schwierigkeitsgrad) | Prozent gelöster Aufgaben (Abschätzung fachliche Vorkenntnisse zum Inhaltsbereich Chromatografie: niedrig – mittel – hoch); nach Gütekriterien Auswahl geeigneter Aufgaben, um unterschiedl. fVK abzubilden |

### 11.2.3 Auswertung des Single-Choice-Fachtests

Jedes Test-Item wird mit den Punktwerten 0 (falsch) und 1 (richtig) bewertet. Anschließend wird ein Gesamtscore ermittelt, indem die Anzahl richtig beantworteter Testitems ins Verhältnis zur Gesamtzahl der Items (hier 21) gesetzt wird. Es wird eine Reliabilitätsanalyse vorgenommen, bei der Gütekriterien wie Cronbachs Alpha-Wert, Schwierigkeitsgrad und Trennschärfe bestimmt werden.

<sup>109</sup> Vgl. Kompetenzmodellierung Frank/Bernolt/Parchmann (ebd.); unter Handlungsbezug werden Aspekte der praktischen Umsetzung verstanden (hier: Durchführung einer chromatografischen Analyse). Items mit stärkerem Handlungsbezug sind 3, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19.

### 11.2.4 Ergebnisse der Pilotierung des Single-Choice-Fachtests zur Bestimmung der Gütekriterien

Die Auswertung zeigt die Ergebnisse von 25 Vpn. Die Gütekriterien sind bei dieser kleinen Stichprobe sehr gut und liefern vergleichbar gute Werte wie in der Erstpilotierung. Der Maximalwert pro Item ist 1.

Tab. 34: Reliabilität und Item-Mittelwerte für 21 Items ( $n = 25$ )

| $N$ | Anzahl Items | Cronbachs Alpha | $P (M * 100)$ | $P_{\text{Min}} (M_{\text{Min}} * 100)$ | $P_{\text{Max}} (M_{\text{Max}} * 100)$ |
|-----|--------------|-----------------|---------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 25  | 21           | 0,720           | 44,4          | 4,0                                     | 80,0                                    |

Die Reliabilität (Cronbachs Alpha) sollte einen Wert von über .8 aufweisen. Ab einem Wert von .9 aufwärts spricht man von einer hohen Reliabilität (Bortz/Döring 2006: 199; vgl. Kordts-Freudinger 2015). Alle Reliabilitätswerte unterhalb .7 erfordern eine Überarbeitung des Instrumentariums (vgl. ebd.). Manchmal verbessert sich dieser Wert schon, wenn man Items weglässt, die wenig dazu beitragen den Cronbachs Alpha-Wert zu erhöhen (s. Tab.A 42, S.563 und Tab.A 44, S.564, jeweils letzte Spalte; vgl. Bühner 2011). Das betrifft die Items, in deren Zeile der Cronbachs Alpha-Wert nahezu unverändert bleibt oder steigt, wenn das Item weggelassen wird. Der Schwierigkeitsindex ( $P$ ) ist wie folgt definiert:

„Der Schwierigkeitsindex einer Aufgabe ist gleich dem prozentualen Anteil  $P$  der auf diese Aufgaben entfallenden richtigen Antworten in einer Analysenstichprobe von der Größe  $N$ ; der Schwierigkeitsindex liegt also bei schwierigen Aufgaben niedrig, bei leichten hoch.“ (Lienert/Raatz 1998: 73)

Schwierigkeitsindizes sollten über den ganzen Bereich der Skala streuen, möglichst zwischen  $P = .20 * 100$  bis  $P = .80 * 100$  (vgl. ebd.: 115). Mit  $4,0 < P < 80$  streut die Skala nahezu über den ganzen Bereich, wobei der untere Wert verdeutlicht, dass der Test für einige Vpn zu schwer war.

Die Trennschärfe eines Items (hier: einer SC-Fachtest-Aufgabe) wird anhand des Trennschärfekoeffizienten vorgenommen. Der Trennschärfekoeffizient einer Aufgabe ist gleich der Korrelation zwischen dem Aufgabenpunktwert – meist 0 oder 1 – und dem Rohwert eines jeden von  $N$  Vpn der Analysenstichprobe (vgl. ebd.: 78). Hat also ein Item eine hohe Trennschärfe trennt es besonders gut schlechte von guten Vpn. Zur Beurteilung der Trennschärfe wird also der Korrelationswert jedes einzelnen Testitems mit dem Mittelwert des Testitems betrachtet. Bei hoher Korrelation ist das Item besonders trennscharf. Da ein Test insgesamt einen mittleren Schwierigkeitsgrad haben sollte, besteht er aus leichten, mittelschweren und schweren Items. Somit haben nicht alle Aufgaben eine hohe Trennschärfe.

In Tab. A 42 (S. 563) zeigt die erste Spalte die Itembezeichnungen, die zweite Spalte die Einordnung des Items in den Arbeitsablauf zur Bearbeitung des Arbeitsauftrages, die dritte Spalte die Kompetenzstufe, die vierte Spalte den Trennschärfekoeffizienten und die letzte Spalte die Änderung des Cronbachs Alpha-Wertes, wenn das Item aus der Berechnung ausgeschlossen wird. In der fünften Spalte sind die Trennschärfewerte aus der Erstpilotierung zum Vergleich aufgeführt. Die Trennschärfe sollte bei eindimensionalen Tests einen Wert von über .5 aufweisen (Döring/Bortz 2016:478; Bortz/Döring 2006:220; vgl. Kordts-Freudinger 2015). Alle Items mit Trennschärfewerten unterhalb .3 tragen kaum zur Unterscheidung guter und schlechter Vpn bei, sodass solche Items auch weggelassen werden können.<sup>110</sup> Das betrifft in diesem Test besonders die Items 1, 8, 10, 13 und 15, deren Trennschärfekoeffizienten deutlich unter .2 liegen. Werden diese Items ausgeschlossen, verbessert sich insgesamt die Reliabilität (Cronbachs Alpha). Der Item-Mittelwert erhöht sich um 8%, d.h. die Aufgabenschwierigkeit verringert sich damit etwas (s. Tab. A 43, S. 563). Die Werte für die Trennschärfe erhöhen sich für fast alle Items (Ausnahmen sind die Items 3, 6, 11, 14 und 20). Die Cronbachs Alpha-Werte hingegen verringern sich, wenn das jeweilige Item weggelassen wird, außer für die Items 3 und 14 (s. Tab. A 44, S. 564).

Die Gütekriterien sind insgesamt ausreichend, dass der Test in dieser Form für die Hauptuntersuchung eingesetzt werden kann. Vor allem das neu hinzugefügte Item 7 hat eine Trennschärfe größer .3. Die benötigte Zeit für die Bearbeitung des SC-Fachtests liegt zwischen 7 und 30 Minuten, wobei die vier Vpn, die das höchste Testergebnis von 66,67% erzielt haben, eine Bearbeitungszeit zwischen 14 und 20 Minuten hatten.

### 11.3 C-Test zur Bestimmung der Englischkenntnisse

Ein ökonomisches und reliables Verfahren zur globalen Bestimmung sprachlicher Kompetenzen in Fremd-, Zweit- und Erstsprachen ist der Einsatz von C-Tests. In zahlreichen Publikationen wurden Modifikationen des kanonischen C-Test-Formats untersucht, um so Rückschlüsse auf eine bessere Passung zwischen Testschwierigkeit und Sprachstand ziehen zu können (vgl. Grotjahn 2002:213).

Um möglichst valide Ergebnisse zu liefern, wurden der C-Test nach den Vorgaben kanonischer C-Tests konstruiert (vgl. Raatz/Klein-Braley 2002:75). Konstruktion und Konstruktionsprinzipien werden im Folgenden näher erläutert. Aufgrund der spezifischen

---

<sup>110</sup> „Entsprechende Bewertungskriterien sind jedoch niemals mechanisch anwendbar, sondern müssen immer inhaltlich interpretiert werden. Items mit geringer Trennschärfe, die Informationen generieren, die nicht mit dem Gesamtergebnis übereinstimmen, sind nur bei einem engen Konstrukt bzw. einem homogenen Test als schlechte Indikatoren des angezielten Konstruktes zu betrachten und aus einem eindimensional angelegten Test bzw. einer Subskala zu entfernen. Soll ein breites Konstrukt über viele Verhaltensabschnitte operationalisiert werden, so kann eine sehr hohe Trennschärfe sogar inhaltlich problematisch sein, wenn sie darauf hindeutet, dass es sich um ein redundantes Item handelt. Hier würde man geringere Trennschärfen erwarten und zulassen zugunsten einer größeren inhaltlichen Breite der Items.“ (Döring/Bortz 2016:478). Auch ist die Trennschärfe eines Items von seiner Schwierigkeit abhängig. „Je extremer die Item-Schwierigkeit desto geringer die Item-Trennschärfe. Bei sehr leichten und sehr schweren Items wird man deshalb Trennschärfeeinbußen in Kauf nehmen müssen. Items mit mittleren Schwierigkeiten besitzen die höchsten Trennschärfen“ (ebd.:478).

Stichprobenmerkmale der Vpn der Hauptuntersuchung (Studierenden mit unterschiedlichen englischen Ausgangsniveaus) sind einige Modifikationen der sonst üblichen Konstruktionsprinzipien erforderlich, die im Folgenden benannt und begründet werden.

### 11.3.1 Textauswahl

Für die in Kap. 10 (S. 125) beschriebene Versuchspersonengruppe der Hauptuntersuchung sind sowohl die allgemeinsprachlichen als auch die fachsprachlichen (also diskursspezifischen) Englischkenntnisse von Interesse, sodass für den C-Test zwei Teile, ein allgemeinsprachlicher und ein diskursspezifischer, mit fünf bzw. sechs Absätzen à 25 Lücken erstellt wurden. Somit wird beim diskursspezifischen C-Test-Teil von der normal üblichen Textauswahl allgemeinbildender Themen abgewichen, um inhaltlich Texte entsprechend dem fachlichen Hintergrund der Zielgruppe auszuwählen.

In einer ersten Vorauswahl wurden 16 Textabschnitte mit einem Wortumfang zwischen 76 und 130 Wörtern ausgewählt. Für den ersten allgemeinsprachlichen C-Test-Teil wurden Texte mit eher allgemeinbildenden Inhalten verwendet, wobei die Texte 2 und 4 (s. Tab. 35) aus einem Klett-Lehrbuch der Technical-Milestones-Reihe<sup>111</sup> entnommen wurden. Text 4 musste inhaltlich in einem Absatz noch auf die Spezifika des Berufsfeldes der Zielgruppe (Labor- und Prozesstechnik) angepasst werden und wird dem diskursspezifischen Teil zugerechnet. Das Lehrbuch wird im berufsbildenden Bereich im Englischunterricht eingesetzt und knüpft an das Sprachniveau nach Ende der Sekundarstufe I an. Somit können die Texte dem Niveaustufenbereich B1 bis B2 des Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmens für Sprachen (GER) zugeordnet werden. Die Absätze S1 und S2 sind Texte, die bereits in C-Tests anderer Forschergruppen eingesetzt wurden (s. Quellenangaben in Tab. A 37, S. 551) und ausreichend gute Gütekriterien aufgewiesen haben. Somit stellen sie eine gute Referenz zu den neu erstellten C-Test-Texten dar. Da davon ausgegangen werden kann, dass die Vpn mit diesem Testformat noch nicht weiter konfrontiert waren und daher die in den anderen Studien eingesetzten Texte mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit nicht kennen, kann eine Positivmessung der Testergebnisse durch die Texte S1 und S2 ausgeschlossen werden.

Für den zweiten diskursspezifischen C-Test werden Texte aus englischen Lehrbüchern zu den Inhaltsbereichen der Chemie im Allgemeinen und der Chromatografie im Besonderen (s. Quellenangaben in Tab. A 37, S. 551) entnommen, die in der Sekundarstufe I oder im universitären Bereich Anwendung finden. Bei den Lehrbuchtexten, die im englischsprachigen Ausland am College und/oder an der Universität eingesetzt werden und somit einen höheren Anteil an Fachvokabeln und komplexen Satzstrukturen aufweisen, liegt die Vermutung nahe, dass sie dem Anforderungsbereich C1/C2 entsprechen. Die Lehrbuchtexte aus

---

<sup>111</sup> Entsprechend der Lehrplananforderungen im berufsbildenden Bereich deckt das Lehrwerk sowohl allgemeinbildende als auch fachspezifische Themen ab.

einem Chemielehrbuch der Sekundarstufe I werden durch den vereinfachten Satzbau und den geringeren Fachvokabelschatz eher dem Niveaustufenbereich B1 bis B2 des Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmens für Sprachen (ebd.) entsprechen.

### 11.3.2 Konstruktionsprinzipien des erstellten C-Tests

Gemäß den Handreichungen zur Konstruktion von C-Tests für fortgeschrittene Lerner werden folgende Konstruktionsprinzipien angewandt (vgl. Raatz/Klein-Braley 2002: 75):

1. erster und letzter Satz bleiben unverändert, damit der Kontext klar ist
2. ab dem zweiten Satz wird von jedem zweiten Wort die zweite Hälfte des Wortes getilgt
3. bei ungerader Anzahl Buchstaben werden  $(n+1)/2$  Buchstaben getilgt
4. Eigennamen, Wörter, die nur aus einem Buchstaben bestehen, und rekurrente Wörter werden von Tilgung ausgeschlossen
5. Wortverbindungen mit Apostroph oder Bindestrich zählen als ein Wort
6. Lücken werden einheitlich mit gleich langen durchgehenden Strichen markiert
7. in jedem Text wird gleiche Anzahl Tilgungen vorgenommen
8. Texte werden in aufsteigender Schwierigkeit angeordnet

Um eine Auswahl geeigneter Absätze treffen zu können, wurden in einem ersten Schritt für den allgemeinsprachlichen C-Test-Teil sechs Absätze allgemeinbildender Themen (zzgl. eines Übungstextes) und für den diskursspezifischen C-Test-Teil zehn Absätze chemiebezogener Themen zusammengestellt (s. Tab. 35 und Tab. 36) und pilotiert. Die Ergebnisse der Pilotierung werden im nächsten Kapitel beschrieben.

Tab. 35: Anzahl Wörter und Lücken der im allgemeinsprachlichen C-Test verwendeten Texte

| Absatz-Nr. | Inhalt                                          | Anzahl Wörter | Anzahl Lücken |
|------------|-------------------------------------------------|---------------|---------------|
| Ü          | Unfall mit einem gemieteten Auto in London      | 94            | 25            |
| S1         | Haustiere                                       | 115           | 25            |
| S2         | Autos                                           | 103           | 25            |
| 1          | Astrologie                                      | 89            | 25            |
| 2          | Kontakte knüpfen im beruflichen Umfeld          | 76            | 25            |
| 3          | Konsequenz in Haltung, Verhalten und Meinung    | 110           | 25            |
| 4          | Tätigkeitsfeld in der Labor- und Prozesstechnik | 76            | 25            |

Ü: Übungstext; S1 und S2 sind aus einer Publikation von Vockrodt-Scholz/Zydatiř (2010: 8) zum C-Test übernommen worden.

Tab. 36: Anzahl Wörter und Lücken der im diskursspezifischen C-Test verwendeten Texte

| Absatz-Nr. | Inhalt                                             | Anzahl Wörter | Anzahl Lücken |
|------------|----------------------------------------------------|---------------|---------------|
| C1         | Grundlagen der Chemie                              | 96            | 25            |
| C2         | Eigenschaften und Verwendung von Gasen in der Luft | 86            | 25            |
| C3*        | Sauerstoff                                         | 99            | 25            |
| C4         | Alkane und Alkene                                  | 117           | 25            |
| C5*        | Herstellung von Bier                               | 85            | 25            |
| C6         | Intermolekulare Wechselwirkungen                   | 108           | 25            |
| C7*        | Molekulare <sup>112</sup> Wechselwirkungen         | 130           | 25            |
| C8*        | Wasserstoffbrückenbindung                          | 95            | 25            |
| C9*        | Analytische Chemie in der Praxis                   | 86            | 25            |
| C10        | Das chromatografische Experiment                   | 89            | 25            |

Mit \* markierten Texte wurden im C-Test der Hauptuntersuchung nicht verwendet.

### 11.3.3 Pilotierung des C-Tests

Der C-Test wurde pilotiert, um die Validität und Eignung dieses Tests zur Bestimmung der englischsprachlichen Vorkenntnisse zu überprüfen. Für den C-Test wurden zunächst Daten von sieben Muttersprachlern<sup>113</sup> erhoben, um zu sehen, ob sie in der Lage sind 90% der Lücken der ausgewählten Absätze zu lösen. Dazu erhielt jeder Muttersprachler für jeden Absatz genau fünf Minuten Zeit zum Ausfüllen der Lücken. Die benötigte Zeit lag im Mittel zwischen knapp 2 und 4 Minuten.

Alle für die allgemeinsprachlichen und diskursspezifischen C-Test-Teile ausgewählten Absätze konnten als geeignet eingestuft werden (s. Tab. A 36, S. 547), da die Mehrheit der Muttersprachler in der Lage war, 90% der Lücken zu lösen. Die niedrigsten Mittelwerte der gelösten Lücken treten bei den Texten C4 ( $M=21.7$ ) und C10 ( $M=22$ ) auf, wobei der Median mit 24 bzw. 23 deutlich höher liegt. Obwohl beim Text C4 drei der sieben Muttersprachler alle 25 Lücken lösen konnten, gab es zwei Muttersprachler, die nur 16 der 25 Lücken lösen konnten. Beim Text C10 gab es einen Muttersprachler, der nur 13 Lücken löste, was den niedrigen Mittelwert von 22 begründet. Über die Daten der Muttersprachler konnte zusätzlich abgesichert werden, welche Varianten beim Ausfüllen der Lücken zulässig sind. Alle Varianten sind im Anhang tabellarisch aufgeführt (s. Tab. A 38, S. 551 und Tab. A 39, S. 553).

<sup>112</sup> Bezeichnung ist synonym zu intermolekular und zwischenmolekular.

<sup>113</sup> Alle Muttersprachler verfügten über einen akademischen Abschluss (Master und/oder Promotion) und stammten aus dem nordamerikanischen Raum.



### 11.3.3.1 Durchführung der Pilotierung

Danach wurde der C-Test an 28 Vpn erprobt, deren Vorkenntnisse vergleichbar mit denen der dreizehn Studierenden waren, die an der Hauptuntersuchung teilgenommen haben (s. Kap. 11.1, 133–141). Dazu erhielt jede Vp genauso wie die Muttersprachler für jeden Absatz genau fünf Minuten Zeit zum Ausfüllen der Lücken. Vereinzelt haben Vpn vor Ablauf der Zeit die Bearbeitung beendet.

Anhand der gewonnenen Daten wurden Gütekriterien wie Reliabilität, Trennschärfe und Schwierigkeitsgrad dieses Tests bestimmt. Die Tab. 37 gibt einen Überblick über die Datenerhebungs- und Analysenmethoden der Pilotierung des C-Tests.

Tab. 37: Pilotierung C-Test – Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden

| Pilotierung zur Validierung des C-Tests (N=25)                     |                    |                                                                                                          |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ziel                                                               | Methode            | Auswertung                                                                                               | Ergebnisse                                                                                                                                                    |
| Personenbezogene Daten zur Interpretation der Testergebnisse       | quant (Fragebogen) | deskriptiv                                                                                               | Häufigkeitsverteilungen bzgl. Geschlecht, Alter, Bildungsabschlüssen, Noten in ausgewählten Fächern                                                           |
| Bestimmung der allg. (aEnV)/fachbezogene Englischkenntnisse (fEnV) | quant (C-Test)     | deskriptiv/inferentiell<br>Bestimmung der Gütekriterien (Reliabilität, Trennschärfe, Schwierigkeitsgrad) | Prozent gelöster Lücken (Abschätzung Sprachniveaus: niedrig – mittel – hoch); nach Gütekriterien Auswahl geeigneter Absätze, um unterschiedl. EnVK abzubilden |

### 11.3.3.2 Auswertung des C-Tests

Um eine möglichst hohe Auswertungsobjektivität zu gewährleisten, werden nur die Eintragungen in den Lücken des C-Tests als richtig gewertet, die sowohl orthographisch als auch grammatikalisch vollständig richtig sind. Somit werden pro Lücke nur die Punktwerte 1 (für vollständig richtig) und 0 (für teilweise richtig, falsch oder gar nicht ausgefüllt) vergeben (s. Tab. A 40, S. 554). Es wird wie beim SC-Fachtest eine Reliabilitätsanalyse vorgenommen, bei der Gütekriterien wie Cronbachs Alpha-Wert, Schwierigkeitsgrad und Trennschärfe bestimmt werden. Dabei wird jeder Absatz (nicht jede Lücke) als ein Item behandelt.

Zusätzlich werden die Ergebnisse der allgemeinsprachlich orientierten Absätze und der diskurspezifischen Absätze getrennt dargestellt, um zu sehen, inwiefern es Unterschiede gibt, die über die thematische Ausrichtung der Absätze begründet werden könnten.

### 11.3.3.3 Ergebnisse der Pilotierung des C-Tests zur Bestimmung der Gütekriterien

Die Gütekriterien des C-Tests sind besonders gut. Der Maximalwert pro Item beträgt 25 (Anzahl der Lücken pro Textabsatz). Der Schwierigkeitsgrad (P) ist der Quotient aus Item-Mittelwert und der maximalen Anzahl Lücken pro Absatz  $\times 100$ .

Tab. 38: Ergebnisse der Konsistenzanalyse des C-Tests mit 16 Items

| N  | Anzahl Items | Cronbachs Alpha | P                    | P <sub>Min</sub>    | P <sub>Max</sub>     |
|----|--------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 28 | 16           | 0,969           | 14,087/25*100 = 56,3 | 9,357/25*100 = 37,4 | 18,393/25*100 = 73,6 |

N: Häufigkeit; P: Schwierigkeitsgrad

Die Reliabilität ist mit Cronbachs- $\alpha = .969$  sehr gut. Auch der Schwierigkeitsgrad des C-Tests ist für die Vpn angemessen. Mit  $37,4 < P < 73,6$  streut die Skala über den unteren bis oberen Bereich (s. Tab. 38). Der untere Wert von 37,4 verdeutlicht, dass der Test für kaum eine Vpn zu schwer war. Auch die Trennschärfe der einzelnen Items (Absätze) ist sehr hoch. Die meisten Trennschärfekoeffizienten liegen oberhalb von .8. Ausnahmen mit Werten zwischen .6 und .8 sind die Texte C5 (TS=0,633), C7 (TS=0,793), C8 (TS=0,618), C9 (TS=0,716) und C10 (TS=0,698).

Tab. 39: Schwierigkeitsgrad des C-Tests – Trennschärfekoeffizient mit 16 Items

| Item     | S1    | S2    | 1     | 2     | 3     | 4     | C1    | C2    | C3    | C4    | C5    | C6    | C7    | C8    | C9    | C10   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TS       | 0,894 | 0,808 | 0,864 | 0,843 | 0,874 | 0,887 | 0,868 | 0,825 | 0,880 | 0,857 | 0,633 | 0,816 | 0,793 | 0,618 | 0,716 | 0,698 |
| $\alpha$ | 0,965 | 0,967 | 0,966 | 0,966 | 0,965 | 0,966 | 0,966 | 0,966 | 0,966 | 0,966 | 0,969 | 0,967 | 0,967 | 0,970 | 0,968 | 0,968 |

TS: Trennschärfe;  $\alpha$ : Cronbachs Alpha-Wert, wenn Item weggelassen wird

Die Cronbachs Alpha-Werte verändern sich kaum, wenn ein Item weggelassen wird. Auch wenn die Texte C5 und C8, die die geringste Trennschärfe aufweisen, eliminiert werden, bleiben die Werte für Cronbachs Alpha und die Trennschärfe nahezu gleich.

Abschließend wird überprüft, ob es signifikante Unterschiede in den Gütekriterien zwischen den allgemeinsprachlichen und den diskursspezifischen Items gibt. Die Reliabilität mit Cronbachs- $\alpha = .944$  für die Texte S1, S2, 1, 2 und 3 und Cronbachs- $\alpha = .948$  unterscheidet sich kaum voneinander, ist aber in beiden Fällen niedriger gegenüber dem Cronbachs Alpha-Wert für alle 16 Items.

Mit  $51,7 < P < 68,4$  streut die Skala nur über den mittleren bis oberen Bereich (s. Tab. 40). Der recht hohe untere Wert verdeutlicht, dass der allgemeinsprachliche C-Test-Teil für die Vpn insgesamt leichter war. Die Trennschärfe der einzelnen Items (Absätze) ist weiterhin sehr hoch. Die meisten Trennschärfekoeffizienten liegen oberhalb von .8. Einzige Ausnahme mit einem Wert von knapp unter .8 ist der Text 2 (TS=0,784). Die Cronbachs Alpha-Werte verschlechtern sich geringfügig, wenn ein Item weggelassen wird (Ausnahme das Item zu Text 2, s. Tab. 41).

Bei dem diskursspezifischen C-Test-Teil streut die Skala mit  $37,4 < P < 73,6$  über den unteren bis oberen Bereich (s. Tab. 42, genauso wie in Tab. 38). Die meisten Trennschärfekoeffizienten (s. Tab. 43) liegen oberhalb von .8. Ausnahmen mit Werten zwischen .6 und .8 sind die Texte C5 (TS=0,626), C8 (TS=0,652), C9 (TS=0,798) und C10 (TS=0,729).

Tab. 40: Ergebnisse der Konsistenzanalyse des allgemeinsprachlichen C-Test-Teils mit 5 Items

| N  | Anzahl Items | Cronbachs Alpha | P                    | P <sub>Min</sub>     | P <sub>Max</sub>     |
|----|--------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 28 | 5            | 0,944           | 15,107/25*100 = 60,4 | 12,929/25*100 = 51,7 | 17,107/25*100 = 68,4 |

N: Häufigkeit; P: Schwierigkeitsgrad

Tab. 41: Schwierigkeitsgrad des allgemeinsprachlichen C-Test-Teils – Trennschärfekoeffizient mit 5 Items

| Item     | S1    | S2    | 1     | 2     | 3     |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TS       | 0,904 | 0,852 | 0,879 | 0,784 | 0,849 |
| $\alpha$ | 0,924 | 0,931 | 0,926 | 0,945 | 0,931 |

TS: Trennschärfe;  $\alpha$ : Cronbachs Alpha-Wert, wenn Item weggelassen wird

Tab. 42: Ergebnisse der Konsistenzanalyse des diskursspezifischen C-Test-Teils mit 11 Items

| N  | Anzahl Items | Cronbachs Alpha | P                    | P <sub>Min</sub>    | P <sub>Max</sub>     |
|----|--------------|-----------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 28 | 11           | 0,948           | 13,623/25*100 = 54,5 | 9,357/25*100 = 37,4 | 18,393/25*100 = 73,6 |

N: Häufigkeit; P: Schwierigkeitsgrad

Tab. 43: Schwierigkeitsgrad des diskursspezifischen C-Test-Teils – Trennschärfekoeffizient mit 11 Items

| Item     | 4     | C1    | C2    | C3    | C4    | C5    | C6    | C7    | C8    | C9    | C10   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TS       | 0,886 | 0,847 | 0,806 | 0,849 | 0,810 | 0,626 | 0,820 | 0,823 | 0,652 | 0,798 | 0,729 |
| $\alpha$ | 0,939 | 0,941 | 0,942 | 0,941 | 0,943 | 0,948 | 0,941 | 0,942 | 0,948 | 0,945 | 0,946 |

TS: Trennschärfe;  $\alpha$ : Cronbachs Alpha-Wert, wenn Item weggelassen wird

Für den Vergleich der Mittelwerte der beiden C-Test-Teile wird der Wilcoxon-Test angewandt. Die Teststatistik beim Vergleich der Mittelwerte der beiden C-Test-Teile beträgt  $z = -3.222$  und der zugehörige Signifikanzwert  $p = .001$ . Damit ist der Unterschied zwischen allgemeinsprachlichen und diskursspezifischen C-Test-Teil signifikant, d.h. die zentralen Tendenzen der beiden Mittelwerte unterscheiden sich. Der Mittelwert des allgemeinsprachlichen C-Test-Teils ist demnach signifikant höher (Median = 15.30) als der des diskursspezifischen C-Test-Teils (Median = 13.68; asymptotischer Wilcoxon-Test:  $z = -3.222$ ,  $p = .001$ ,  $n = 28$ ).

Die Tatsache, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen allgemeinsprachlich orientierten und diskursspezifischen C-Test-Teil gibt, deckt sich auch mit der Forschungslage (vgl. Grotjahn 2002).

Um die Gesamttestzeit zu reduzieren, ohne die Güte des Tests zu verschlechtern (s. Tab. 44 und Tab. 45), werden für den diskursspezifischen C-Test-Teil der Hauptuntersuchung nur die Texte 4, C1, C2, C4, C6 und C10 verwendet. Die Auswahl wurde nach inhaltlichen Gesichtspunkten der Texte entschieden.

Bei dem reduzierten diskursspezifischen C-Test-Teil streut die Skala mit  $41,6 < P < 73,6$  über den unteren bis oberen Bereich (s. Tab. 44, ähnlich wie in Tab. 38). Alle Items bis auf Text C10 (TS=0,609) haben Trennschärfekoeffizienten (s. Tab. 45), die oberhalb von .8 liegen.

Tab. 44: Ergebnisse der Konsistenzanalyse des reduzierten diskursspezifischen C-Test-Teils mit 6 Items

| N  | Anzahl Items | Cronbachs Alpha | P                            | P <sub>Min</sub>             | P <sub>Max</sub>             |
|----|--------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 28 | 6            | 0,929           | $14,405/25 \cdot 100 = 57,6$ | $10,393/25 \cdot 100 = 41,6$ | $18,393/25 \cdot 100 = 73,6$ |

N: Häufigkeit; P: Schwierigkeitsgrad

Tab. 45: Schwierigkeitsgrad des reduzierten diskursspezifischen C-Test-Teils – Trennschärfekoeffizient mit 6 Items

| Item     | 4     | C1    | C2    | C4    | C6    | C10   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TS       | 0,856 | 0,865 | 0,861 | 0,816 | 0,809 | 0,609 |
| $\alpha$ | 0,908 | 0,909 | 0,907 | 0,917 | 0,915 | 0,938 |

TS: Trennschärfe;  $\alpha$ : Cronbachs Alpha-Wert, wenn Item weggelassen wird

Für den Vergleich der Mittelwerte der beiden C-Test-Teile, dem allgemeinsprachlichen und dem reduzierten diskursspezifischen, wird erneut der Wilcoxon-Test angewandt. Die Teststatistik beim Vergleich der Mittelwerte der beiden C-Test-Teile beträgt  $z = -2.175$  und der zugehörige Signifikanzwert  $p = .03$ . Damit ist der Unterschied zwischen allgemeinsprachlichem und diskursspezifischem C-Test-Teil signifikant, d.h. die zentralen Tendenzen der beiden Mittelwerte unterscheiden sich. Der Mittelwert des allgemeinsprachlichen C-Test-Teils ist demnach auch noch signifikant höher (Median = 15.30) als der des diskursspezifischen C-Test-Teils, bei dem nur die Items 4, C1, C2, C4, C6 und C10 berücksichtigt wurden (Median = 14.33; asymptotischer Wilcoxon-Test:  $z = -2.175$ ,  $p = .03$ ,  $n = 28$ ).

Um den C-Test für spätere Studien noch einsetzen zu können, wird er nur den Gutachtern dieser Arbeit zur Verfügung gestellt.

#### 11.4 Fragebogen zur Kontrolle der Motivation in Lern- und Leistungssituationen (FAM)

Für die Kontrolle der aktuellen Lernmotivation vor der Bearbeitung des C-Tests ( $t_{En0}$ ), des SC-Fachtests ( $t_{SC0}$ ) und des ersten Aufgabenkomplexes ( $t_{A0}$ ) wird ein validiertes Instrument eingesetzt, „ein Fragebogen (FAM<sup>114</sup>), der mit 18 Items vier Komponenten der aktuellen Motivation in (experimentellen) Lern- und Leistungssituationen erfasst, nämlich Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit, Interesse und Herausforderung“ (Rheinberg/Vollmeyer/Burns 2001; s. Kap. 18.1, S. 361).

<sup>114</sup> FAM: Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation

Für die Erfassung der Lernmotivation während und nach der Bearbeitung einzelner Tests (SC-Fachtest, C-Test) und Aufgabenkomplexe (1 bis 5) werden nur sechs Items zur Einschätzung des motivationalen Zustands (s. Tab.46) eingesetzt, um den Lernverlauf der Vpn möglichst wenig zu stören.

Tab. 46: Sechs Items zur Erfassung der Lernmotivation während und nach der Bearbeitung einzelner Tests und Aufgabenkomplexe

| Nr       | Inhalt                                                  |
|----------|---------------------------------------------------------|
| MOT_1    | Die Aufgabe macht mir noch Spaß.                        |
| MOT_2    | Ich bin sicher, die richtige Lösung zu finden.          |
| MOT_3    | Mir ist klar, wie ich weiter vorgehen soll.             |
| FAM_1_I  | Ich mag solche Rätsel und Knobeleyen.                   |
| FAM_6_H  | Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich. |
| FAM_18_M | Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmen mich.  |

MOT: Items zur Erfassung der Lernmotivation ohne Differenzierung zwischen Motivationskomponenten;  
FAM: Items aus dem Fragebogen zur aktuellen Motivation

Die ersten drei Items erfassen „eine unmittelbar affektive Komponente (Spaß), Erfolgszuversicht (Lösung finden) sowie die handlungsbezogene Umsetzung der Motivationstendenz (weiteres Vorgehen ist klar) [...]“. Diese drei Items sind bei der *biology lab*-Aufgabe hoch korreliert (bei verschiedenen Studien zu unterschiedlichen Messzeitpunkten  $r \sim .75-.85$ ) bzw. hoch konsistent (bei verschiedenen Studien zu unterschiedlichen Messzeitpunkten Cronbach  $\alpha \sim .85$ ), sodass sie als gemeinsame Schätzung für den motivationalen Zustand zusammengefasst werden können. Anders als bei der Eingangsmotivation (FAM) wird hier aus Reliabilitätsgründen also nicht mehr zwischen verschiedenen Motivationskomponenten differenziert“ (Vollmeyer/Rheinberg 2003: 292). In Ergänzung zu diesen drei Items werden noch drei Items aus dem FAM hinzugefügt, die exemplarisch die Komponenten Interesse (FAM-Item 1), Herausforderung (FAM-Item 6) bzw. Misserfolgsbefürchtung (FAM-Item 18) abfragen.

### 11.5 Das Lehr-Lernkonzept für die Fallstudie

Zur Operationalisierung der Forschungsfragen (s. Kap.4, S.23) wurden fünf Aufgabenkomplexe zur Inhaltsanalyse und -aufbereitung für den Unterricht entwickelt. Bei den Teilaufgaben handelt es sich um komplexe offene Aufgaben, aus deren Beantwortung auf die Entwicklung des Verständnisses geschlossen werden soll (vgl. Wilson 2008: 76). Zur Motivation und Zielorientierung der Vpn für die Auseinandersetzung mit der Thematik wurde eine Fallsituation entworfen, in die das Experiment zur dünnsschichtchromatografischen Trennung eines lipophilen Farbstoffgemisches eingebunden wurde (s. Beschreibung, S.120). In der Fallsituation werden die Vpn in die Lage versetzt, eine Vertretungsstunde vorzubereiten, in der die Ergebnisse des Experimentes mit den Schülerinnen und Schülern ausgewertet werden sollen. Die Vpn sind somit gefordert, die Zusammenhänge der sachlogischen Strukturierung (s. Abb.45, S.192), die mit den beobachtbaren Erscheinungen im

Experiment zu erklären sind, herauszustellen, um daraus abzuleiten, welche Denkrichtungen sich aus der sachlogischen Strukturierung der Inhalte einzelner Aspekte ergeben, um Schülerinnen und Schüler bei der Erarbeitung neuen Wissens zu führen (s. Ausführungen im Kap. 6.4.2, S. 47–57).

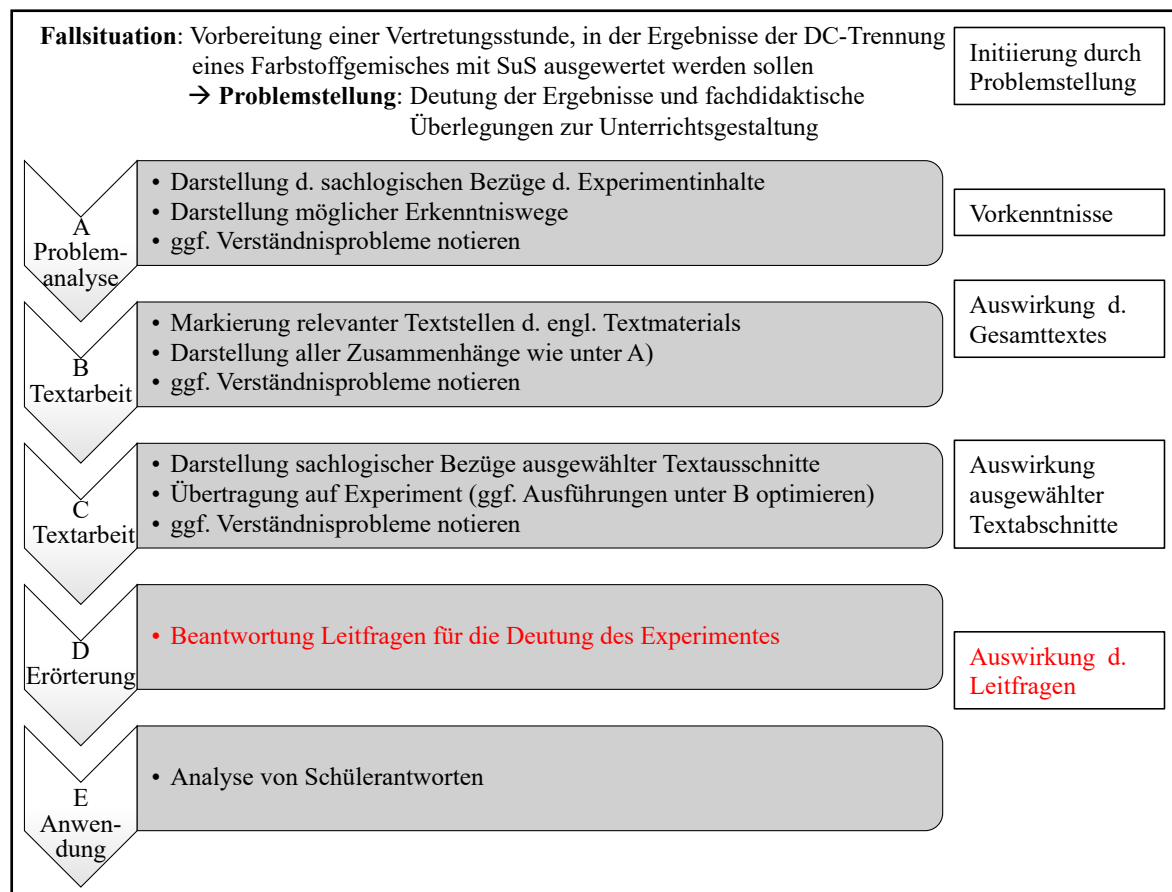
Als Wissensquellen dienen ihre fachlichen und fachdidaktischen Vorkenntnisse, das bereitgestellte englische Textmaterial und Anlagen mit Informationen zu Lehrplananforderungen und Erkenntniswegen (Abbildungen, die Bestandteil der von den Vpn durchlaufenen Lehrveranstaltungen waren, s. Anhang, Kap. 21.4, S. 577). Das englische Textmaterial wurde nach textinternen Kriterien analysiert und ausgewählt. Zu den textinternen Kriterien gehören u. a. die Inhaltsstruktur mit Aspekten der Motivation/Zielorientierung und didaktischen Linienführung (Argumentationslinien) zur Erklärung der Zusammenhänge, die mit dem Trennvorgang verbunden sind. Um nicht Stile unterschiedlicher Quellen zu mischen, wurden Kapitel/Ausschnitte einer Quelle ausgesucht, die für die dünnschichtchromatografische Trennung des Farbstoffgemisches des ausgewählten Experimentes ausreichend Interpretationsansätze bietet zur Erklärung der Trennergebnisse und der Elutionswirkung unterschiedlicher Laufmittel. Letztendlich erfüllte nur eine der analysierten englischen Quellen (Snyder/Kirkland/Dolan 2010) diese Anforderung. Eine Liste aller eingesehenen Quellen ist im Anhang (s. Kap. 18.2, S. 362). Ebenso sind im Anhang die Kriterien zusammengefasst, die bei der Zusammenstellung des Textmaterials berücksichtigt wurden, um die Textrezeption zu erleichtern und Verständlichkeitsbarrieren möglichst gering zu halten (s. Kap. 18.3, S. 365).

In dem hochschuldidaktischen Lehr-Lernkonzept dieser Arbeit durchlaufen die Studierenden folgende Phasen<sup>115</sup>, die in den Kapiteln Kap. 11.5.1 (S. 155) bis Kap. 11.5.6 (S. 160) ausführlich beschrieben werden:

Nach dem 4C/ID-Modell (s. Abb. 36 und Kap. 6.4.3, S. 60) entspricht das Lehr-Lernkonzept mit den fünf aufeinander aufbauenden Aufgabenkomplexen einer Aufgabenklasse (gestrichelter Kasten) bestehend aus mehreren Aufgaben (Dreieck im Kreis), den jeweiligen Aufgabenkomplexen A bis E. Die unterstützenden Informationen sind im Aufgabenkomplex A die Angaben zu Kontext, Lehrplan und dem Experiment (s. Kap. 11.5.1, S. 155) und ab Aufgabenkomplex B das Textmaterial mit Erklärungen zur Chromatografie (s. Kap. 11.5.3, S. 158). Sie nehmen von Teil A nach Teil B zu und werden ab Teil C sukzessive reduziert. Die Teilaufgaben der jeweiligen Aufgabenkomplexe werden als prozedurale Information betrachtet.

---

<sup>115</sup> Das im Lehrkonzept anzuwendende Concept-Mapping (s. Kap. 11.6.3, S. 169), wird im Vorfeld mit den Studierenden anhand eines anderen Inhaltsbereiches geübt.



SuS: Schülerinnen und Schüler; DC: Dünnschichtchromatografie

Abb. 35: Erarbeitungsphasen der Vpn

Der Workshop zum Concept Mapping (kleine Kreise im rechteckigen Kasten; s. Kap. 11.6.3, S. 169), der vor dem Teil 2 der Hauptuntersuchung (s. Abb. 38 und Abb. 39, S. 167–168) durchgeführt wurde, zählt als Einüben von Teilaufgaben.<sup>116</sup>

<sup>116</sup> Auch wenn das Lehrkonzept nicht mit der Zielstellung der Kompetenzentwicklung, wie es das 4C/ID-Modell vorsieht, konzipiert wurde, sondern zur Beantwortung der Forschungsfragen, entspricht es im Ansatz diesem Prinzip und ließe sich in adaptierter Form (mit aufeinanderbauenden Aufgabenkomplexen) in die hochschuldidaktische Lehre einbinden. Bei geringerem Vorwissen der Studierenden wäre denkbar, einen Aufgabenkomplex als Aufgabenklasse zu definieren. Die Teilaufgaben der jeweiligen Aufgabenkomplexe müssten dann noch um prozedurale Informationen ergänzt werden. Darüber hinaus wäre zu überlegen, die Aufgaben konsequent nach steigendem Schwierigkeitsgrad zu sortieren. In dem Lehr-Lernkonzept dieser Fallstudie wurde mit den Aufgabenkomplexen A und B aus den oben genannten Gründen bewusst davon abgewichen.

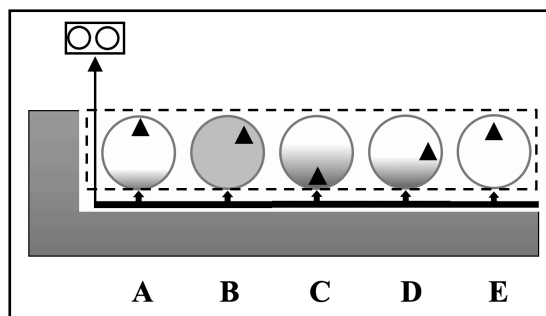


Abb. 36: Darstellung des Lehr-Lernkonzeptes nach dem 4C/ID-Modell (vgl. Kirschner/van Merriënboer 2008: 248); eigene Darstellung

Die Aufgabenkomplexe und das Textmaterial wurden von zwei Expertinnen (zwei wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen der Beruflichen Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik) begutachtet und einem Prätest durch eine ehemalige Lehramtsstudentin unterzogen. Die Vp für den Prätest hat 2016 ihr Lehramtsstudium abgeschlossen. Sie hatte von 2008 bis 2011 eine duale Ausbildung zur Chemielaborantin absolviert und in dieser Zeit auch bei der Autorin Unterricht in den Lernfeldern LF 3 (Struktur- und Eigenschaften von Stoffen bestimmen) und LF 8 (Chromatografische Untersuchungen durchführen). Im LF 8 wurde u. a. auch das Experiment aus dem hier konzipierten Lehr-Lernkonzept durchgeführt und ausgewertet. Die Vp war also zum Zeitpunkt des Prätests sehr gut vertraut mit der Thematik und gehörte in der Chemielaborantenausbildung zu einer der besten Schülerinnen. Der Prätest zeigte, dass auch für jemanden mit so guten Vorkenntnissen die Nutzung des Textmaterials für die Bearbeitung der Aufgabenkomplexe erforderlich war. Es ist davon auszugehen, dass keine Vp der Fallstudie bessere Vorkenntnisse zur ausgewählten Thematik hat. Dieser Aspekt ist sehr wichtig, denn um später beurteilen zu können, inwiefern Argumentationslinien des zur Verfügung gestellten Textmaterials von den Vpn genutzt werden, muss auch sichergestellt sein, dass keine Vp mit vergleichbar guten Vorkenntnissen wie die Vp des Prätests, auf die Nutzung des Textmaterials verzichten kann.

Im Anschluss an die Expertenbegutachtung und an den Prätest wurden Aufgaben und die Zusammenstellung des Textmaterials noch optimiert und der Zeitplan für die Bearbeitung festgelegt. Nach dem ersten Durchgang des zweiten Teils der Fallstudie mit vier Vpn, war es erforderlich, die Aufgabenkomplexe noch etwas zu optimieren. Die Aufgabenkomplexe in der ersten Fassung und in der optimierten Fassung werden im Folgenden ausführlich beschrieben. Bei der Auswertung und Ergebnisdarstellung werden die Änderungen entsprechend berücksichtigt. Somit werden nur die Daten der sieben Durchgänge des zweiten Teils der Fallstudie vergleichend gegenübergestellt, die auch vergleichbar sind.

### 11.5.1 Beschreibung der Ausgangssituation

Die Fallsituation wurde so gewählt, dass die Vpn ausreichend motiviert werden, sich mit der Thematik der Chromatografie tiefgründig auseinanderzusetzen. Sie erhalten eine Situationsbeschreibung, in der sie sich in die Lage einer Gymnasiallehrerin / eines Gymnasiallehrers versetzen sollen, die / der an einem Gymnasium eine Vertretungsstunde in einem



Chemie-Leistungskurs für einen Fachkollegen halten soll. Die thematische Eingrenzung erfolgt durch das vorgegebene Experiment, dass der Kollege im Vorfeld mit den Schülerinnen und Schülern (SuS) im Leistungskurs durchgeführt, aber noch nicht ausgewertet hat. Um sich nicht nur auf die im Experiment verwendete chromatografische Methode, der Dünnschichtchromatografie (DC), zu beschränken, wird noch verdeutlicht, dass der Kollege das Experiment nutzt, um später in die Hochleistungsflüssigkeitschromatografie (HPLC) einzuführen, die heutzutage eine der wichtigsten Analysenmethoden darstellt. Zur weiteren Veranlassung sich tiefgründig mit der Thematik auseinanderzusetzen, wird vorgegeben, dass Vp selbst im kommenden Schuljahr einen Leistungskurs übernehmen soll und somit die Gelegenheit nutzt, sich in dieses Themengebiet einzuarbeiten. Darüber hinaus wird noch hervorgehoben, dass das Gymnasium bekannt dafür ist, SuS optimal auf ein naturwissenschaftliches Studium vorzubereiten und der Kollege eine Exkursion in ein kriminaltechnisches Institut plant, damit die SuS erfahren, welche analytischen Problemstellungen mit chromatografischen Verfahren (von der DC über die HPLC bis zur Gaschromatografie) gelöst werden können.

Damit soll für die Vpn deutlich werden, dass die Spielräume, die der Lehrplan lässt, möglichst weiträumig ausgeschöpft werden können. Die Wahl des englischen Textmaterials wird damit begründet, dass der Fachkollege ein englisches Fachbuch zur Verfügung stellt, von dem er selbst sehr angetan ist, weil es sehr tiefgründig in die Hochleistungsflüssigkeitschromatografie (HPLC) einführt. Welcher Zusammenhang zwischen DC und HPLC besteht, für den der Kollege das Experiment nutzt, um später die HPLC einzuführen, wird bewusst nicht näher untersetzt, weil die Vpn diese Frage selbstständig anhand des Textmaterials klären können. An dieser Stelle wird interessant sein, ob und wie sich die Vpn mit diesem Zusammenhang auseinandersetzen.

Zusätzlich wird auf die Lehrplanauszüge aus dem sächsischen Lehrplan für das Gymnasium und dem Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Chemielaborant/Chemielaborantin verwiesen, die in den Anlagen zur Verfügung gestellt werden. Letzterer ist als Orientierung für die Vpn des Lehramtsstudienganges der Labor- und Prozesstechnik gedacht, damit sie die Relevanz des Themas für den berufsbildenden Bereich erkennen.

### 11.5.2 Beschreibung des ersten Aufgabenkomplexes

Zuerst sind die inhaltlichen Zusammenhänge des Experimentes in Form einer Concept-Map darzustellen und ggf. Verständnisprobleme zu notieren (PAoE – Problemanalyse ohne englisches Textmaterial). Um Phänomene, die im Experiment beobachtet werden können, zu erklären, müssen Begründungszusammenhänge zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen des zu trennenden Stoffgemisches, der Laufmittel und der stationären Phase und den somit zu realisierenden Verhaltensbedingungen für ein optimales Trennergebnis verstanden werden. Dieses Grundverständnis der Begründungszusammenhänge ist Voraussetzung für didaktische Überlegungen zu verbundenen Erkenntniswegen und damit verbundenen Fragen- und Aufgabenstellungen, die mit dem Experiment thematisiert werden können.

**Die Teilaufgaben des ersten von fünf Aufgabenkomplexen** (i. S. v. prozeduralen Informationen nach dem 4C/ID-Modell) lauten:

1. Aufgaben zum Experiment
  - a. Erstellen Sie anhand der Beschreibung des Experimentes eine Concept Map zur sachlogischen Strukturierung der Inhalte des Experimentes.
  - b. Erläutern Sie die Begründungszusammenhänge für die beobachteten Erscheinungen dieses Experimentes. Ergänzen Sie ggf. Ihre Concept Map.
  - c. Ordnen Sie die Aspekte zur sachlogischen Strukturierung chromatografischer Verfahren (s. Anhang) den jeweiligen Begriffen und Relationen Ihrer Concept Map zu. Verwenden Sie bitte dazu mindestens eine andere Farbe.
  - d. Skizzieren Sie mögliche Varianten der Einbindung des Experimentes in verschiedene Erkenntniswege (Erklärung d. Erkenntniswege finden Sie im Anhang).
  - e. Nennen Sie Fragestellungen/Aufgabenstellungen, die mit dem Experiment thematisiert werden können.
  - f. Notieren Sie Verständnisprobleme und Fragen, die Sie an dieser Stelle haben.

Mit diesen Aufgaben zur Problemanalyse wird erfasst, wie weit das fachliche und fachdidaktische Vorwissen der Vpn ausgeprägt ist. Außerdem soll den Vpn mit der Bearbeitung dieser Aufgaben deutlich werden, welche Sachverhalte sie sich gezielt durch die englischen Textmaterialien erschließen wollen.

Der Erstellung der Concept Maps wurden Konstruktionsprinzipien (vgl. Fürstenau/Trojaner/Kneppers 2011, s. Anhang Kap.18.4, S.368) zugrunde gelegt, die mit den Vpn vorher trainiert wurden. Die Konstruktionsprinzipien werden an dem Experten-Concept Map (s. Abb.37) zum Übungsmaterial des Workshops (s. Kap.11.6.3, S.169) veranschaulicht, in dem die Methode des Concept Mappings mit den Vpn zuvor trainiert wurde.

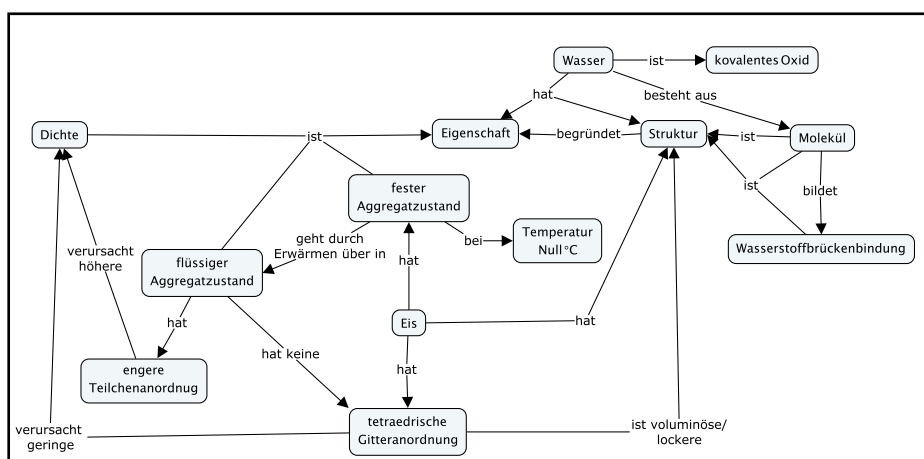


Abb. 37: Experten-Concept Map zum Thema „Wasser“<sup>117</sup>

<sup>117</sup> Das Concept Map wurde mit dem Cmap-Tool erstellt (CmapTools)

### 11.5.3 Beschreibung des zweiten Aufgabenkomplexes

Im zweiten Aufgabenkomplex geht es um das selbstständige Durcharbeiten des englischen Textmaterials. Dazu sind relevante Textstellen zu markieren und schwer verständliche Textpassagen zu kommentieren. Im Anschluss sind wie bereits im ersten Aufgabenkomplex mit den neu gewonnenen Erkenntnissen **folgende Teilaufgaben** zu bearbeiten:

2. Teilaufgaben zum Experiment unter Verwendung englischer Textquellen
  - a. Markieren Sie die Textstellen, die für die Erklärung des Experimentes genutzt werden können.
  - b. Kommentieren Sie die Textstellen, die Sie für unverständlich halten.

Die folgenden Aufgaben haben Sie zu Beginn bearbeitet. Bearbeiten Sie diese Aufgaben erneut unter Einbindung der für Sie neu gewonnenen Erkenntnisse aus dem Textmaterial.

- c. Erläutern Sie die Begründungszusammenhänge für die beobachteten Erscheinungen des Experimentes.
- d. Skizzieren Sie mögliche Erkenntniswege (Erklärung d. Erkenntniswege finden Sie im Anhang), die mit dem Experiment operationalisiert werden können.
- e. Ergänzen Sie Fragestellungen/Aufgabenstellungen, die mit dem Experiment thematisiert werden können.
- f. Nennen Sie Fragestellungen/Aufgabenstellungen, die anhand des Textmaterials thematisiert werden können.
- g. Notieren Sie Verständnisprobleme und Fragen, die Sie an dieser Stelle haben.

### 11.5.4 Beschreibung des dritten Aufgabenkomplexes

Während im zweiten Aufgabenkomplex die Vpn selbstständig erkennen mussten, welche Textabschnitte für die Interpretation des Experimentes relevant sind, wird ihnen diese Entscheidung im dritten Aufgabenkomplex abgenommen. Es wurden dazu drei Textabschnitte aus dem englischen Gesamtmaterial ausgewählt, die sich auf sachlogische Zusammenhänge zur Interpretation der Versuchsergebnisse konzentrieren. Die inhaltlichen Schwerpunkte der Textabschnitte sind:

- EI: Erklärung der Kenngrößen (RF- und k-Wert) zur Beschreibung der Versuchsergebnisse (Textabschnitt umfasst 298 Wörter)
- EII: Erklärung des Verdrängungsprinzips und der Unterschiede der Elutionswirkung verschiedener Laufmittel (Textabschnitt umfasst 216 Wörter)
- EIII: Erklärung der Kenngröße (Epsilon,  $\epsilon$ ) zur Beschreibung der Elutionsstärke/-wirkung verschiedener Laufmittel (Textabschnitt umfasst 72 Wörter)

In dem ersten Textabschnitt (EI) geht es um die Kenngrößen, über die die Retention der Analyten und damit das Trennergebnis beurteilt werden können. Der RF-Wert ist der Retentionsfaktor, eine Kenngröße zur Beschreibung der Trennergebnisse einer dünn-schicht-

chromatografischen Trennung. Er ist definiert als das Verhältnis Laufstrecke Analyt zu Laufstrecke Laufmittel. Je weiter eine Substanz vom Laufmittel mitgeführt wird, desto größer ist dieser Wert. Der k-Wert ist der Kapazitätsfaktor, der zur Beschreibung der Trennergebnisse einer säulenchromatografischen Trennung angegeben wird. Er ist definiert als das Verhältnis der Konzentration des Analyten in der stationären Phase zu Konzentration des Analyten in der mobilen Phase. Dieser Wert verhält sich umgekehrt proportional zum RF-Wert, d.h. je weiter eine Substanz vom Laufmittel mitgeführt wird, desto kleiner ist dieser Wert.

Im zweiten Textabschnitt (EII) werden der Trennvorgang und die Elutionswirkung des Laufmittels erläutert. Trennvorgang und Elutionswirkung des Laufmittels werden als Verdrängungsprozess beschrieben. Beide konkurrieren um Adsorptionsplätze auf der stationären Phase. Da das Laufmittel ohnehin im Überschuss gegenüber dem Analyten vorhanden ist und die Oberfläche der stationären Phase belegt, vermag ein Analyt das Laufmittel nur von der Oberfläche der stationären Phase zu verdrängen, wenn die Wechselwirkungsbeziehung zwischen Laufmittel und stationärer Phase nicht zu stark sind. Für eine optimale Trennung eines Stoffgemisches sollte die Wechselwirkung des Laufmittels mit der stationären Phase nicht zu stark und nicht zu schwach sein. Bei einer polaren stationären Phase sollte ein eher unpolares Laufmittel gewählt werden.

Im dritten Abschnitt (EIII) wird eine weitere Kenngröße eingeführt, die die Elutionswirkung eines Laufmittels angibt. Epsilon,  $\epsilon$ , gibt an, wie gut ein Laufmittel Analyten von der stationären Phase zu lösen vermag. Je größer der Wert, desto größer ist die Elutionswirkung des Laufmittels. Die Inhalte der Textabschnitte mussten dann auf die Trennergebnisse unter den verschiedenen Bedingungen im Experiment (Laufmittel Hexan, Toluol, Propanol) übertragen werden.

***Für jeden der drei Textabschnitte sind folgende Teilaufgaben zu bearbeiten:***

3. Spezifische Aufgaben zur Vertiefung anhand der ***Textquellen EI bis EIII***
  - a. Kommentieren Sie die Textstellen, die Sie für unverständlich halten.
  - b. Erstellen Sie eine Concept Map zu jedem der drei Textabschnitte.
  - c. Übertragen Sie die Aussagen der jeweiligen Textabschnitte auf die drei Trennergebnisse.
  - d. Notieren Sie Verständnisprobleme und Fragen, die Sie an dieser Stelle haben.

Spätestens in diesem Aufgabenkomplex sollten die Begründungszusammenhänge zur Erklärung der unterschiedlichen Elutionswirkung von Laufmitteln und die damit verbundenen Konsequenzen auf ein Trennergebnis vollständig erfasst werden.

### **11.5.5 Beschreibung des vierten Aufgabenkomplexes**

Im vierten Aufgabenkomplex werden die Begründungszusammenhänge vorgegeben, die zur Erklärung der Trennergebnisse mit den jeweiligen Laufmitteln zu untersetzen sind. Dazu gehören Erklärungen zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zwischen dem zu tren-

nenden Stoffgemisch, dem jeweiligen Laufmittel und der stationären Phase sowie zur Einschätzung der Elutionswirkung der eingesetzten Laufmittel. Bei Bedarf dürfen Abschnitte im Textmaterial nachgelesen werden, müssen aber kenntlich gemacht werden.

**Die Teilaufgaben lauten:**

4. Aufgaben zum Experiment zu ausgewählten inhaltlichen Aspekten

Versuchsergebnisse (Trennung des Stoffgemisches) beruhen auf den unterschiedlich starken Wechselwirkungen zwischen der Probe und den beiden Phasen. Zur Deutung müssen Sie sich zunächst mit den Stoffeigenschaften der am Trennvorgang beteiligten Komponenten auseinandersetzen. Bearbeiten Sie dazu die folgenden Aufgabe:

- L1: Skizzieren Sie die zwischenmolekularen Wechselwirkungen (WW), die im Experiment eine Rolle gespielt haben. Erklären Sie, wie sich diese WW in ihrer Stärke unterscheiden.
- L2: Wenden Sie diese Zusammenhänge auf den DC-Versuch an. Erläutern Sie dazu folgende Aspekte:
- Elutionskraft der Laufmittel anhand der Trennergebnisse beurteilen und vergleichen
  - Elutionskraft der Laufmittel anhand der Strukturmerkmale/Stoffeigenschaften der Komponenten des chromatografischen Systems beurteilen und vergleichen.
  - Polarität der Farbstoffe anhand des Trennergebnisses mit Toluol als Laufmittel beurteilen und vergleichen
  - Polarität der Farbstoffe anhand der Strukturmerkmale/Stoffeigenschaften beurteilen und vergleichen.
- L3: Skizzieren Sie einen regressiv-reduktiven Erkenntnisgang, in dem das Experiment als aneignungsunterstützendes Mittel eingesetzt wird.

**11.5.6 Beschreibung des fünften Aufgabenkomplexes**

Im letzten Aufgabenkomplex wurden die Vpn mit Schülerformulierungen konfrontiert, die nach Fehlkonzepten zu analysieren waren. Nach Analyse der Schülerformulierungen sollten Vorschläge gemacht werden, wie im Unterricht der nicht verstandene Sachverhalt erklärt werden würde (ggf. mit Skizzen zur Veranschaulichung).

**Die Teilaufgaben lauten:**

5. Aufgaben zu Fehlkonzepten von Schülerinnen und Schülern

Im Anschluss an dieses Experiment stellt Ihr Kollege seinen SuS Anwendungsaufgaben, auf die SuS ihre neu gewonnenen Erkenntnisse übertragen müssen. Er hat Schülerantworten aus dem vergangenen Jahrgang zusammengetragen, an denen Sie sehen können, welche Fehlkonzepte bei SuS auftreten können. Analysieren Sie die Aussagen auf ihre Richtigkeit (erläutern Sie, worin die Fehlkonzepte der Schüleraussagen bestehen). Leiten Sie daraus ab, wie Sie im Unterricht den nicht verstandenen Sachverhalt erklären würden (ggf. mit Skizzen zur Veranschaulichung).

Anwendungsaufgaben Ihres Kollegen:

In dem Chromatogramm erscheint Indophenol an 2. Stelle (stat. Phase: SiL, mob. Phase: Toluol).

- a. Vergleichen Sie die Polarität des Indophenols mit der Polarität der anderen Farbstoffe (mit Begründung)
- b. Beschreiben und begründen Sie, wie die Auftrennung der Farbstoffe sich ändert, wenn Sie Cyclohexan einsetzen würden.
- c. Beschreiben und begründen Sie, wie die Auftrennung der Farbstoffe sich verändert, wenn Sie Ethanol als Laufmittel einsetzen würden.

Nur wer die Begründungszusammenhänge der mit dem Experiment verbundenen Inhalte verstanden hat, wird in der Lage sein, die Fehler in den Schülerantworten zu erkennen und Ideen zu entwickeln, diesen Fehlkonzepten zu begegnen. Die zu analysieren Schülerantworten<sup>118</sup> sind folgende:

Zu a)

Schülerantwort 1:

Indophenol ist relativ unpolar. Es ist polarer als die erste Substanz, aber unpolarer als die [...] nachfolgenden Substanzen. Die stationäre Phase ist polar, doch daher das der Farbstoff unpolar ist geht es kaum WW mit der stationären Phase ein und läuft nicht weit nach oben (Das LM muss mittelpolar sein).

Zu b) und c)

Schülerantwort 2:

Das Indophenol würde auf der Startlinie bleiben, da das Cyclohexan unpolar ist und somit keine WW statt finden. Das Indophenol würde durch starke WW des Ethanols mit der stationären Phase mit gerissen und wandert nach oben.

Schülerantwort 3:

Toluol und Cyclohexan sind beides unpolare Laufmittel, daher würde sich an der Auftrennung nicht allzu viel ändern. Toluol hat eine CH<sub>3</sub>-Gruppe mehr, daher ist es etwas unpolarer als Cyclohexan, daher trägt Cyclohexan die Stoffe/Substanzen weniger weit nach oben (Trennstrecke ist kleiner).

Schülerantwort 4:

Cyclohexan ist sehr unpolar

---

<sup>118</sup> Die Expertenanalyse der Schülerfehlkonzepte wird im Auswertungsteil (s. Kap. 12.3.4.1, S. 221) ausführlich dargestellt.

<Folgepfeil> die polarerer Substanzen wie Substanz 1 wird noch weniger weit nach oben steigen als bei Toluol! Substanz 3 wird stark mit dem FM mitgerissen werden, da sie sehr unpolar sind <Folgepfeil> wenig WW mit stat. Phase (polar)

<Folgepfeil> große WW mit unpolarem FM

Substanz 3 wird noch höher steigen als bei Toluol.

Ethanol ist ein sehr polares FM.

Substanz 1: große WW mit stationärer Phase und mit FM

Substanz 2 [...]: auch starke WW mit st. Phase und FM, jedoch nicht ganz so wie Substanz 1

Substanz 3: geringe WW mit stat. Phase und geringe WW mit FM

⇒ Substanz 1 wird ca. bis zur Hälfte der Trennstrecke laufen, da das FM große Elutionskraft hat, aber die Substanzen auch stark mit stat. Phase ww.

Substanz 3. wird im unteren Drittel verbleiben, da sie „keine“ WW mit FM haben → sehr geringe Elutionskraft, aber stat. Phase ist mehr polar → keine große WW

### 11.5.7 Beschreibung der Revisionsaufgaben zu den Aufgabenkomplexen 2–4

In einer ersten Durchsicht wurden die Ausführungen der Vpn zu den ersten vier Aufgabenkomplexen auf Vollständigkeit und Fehler geprüft. Drei der vier Vpn erhielten somit Revisionsaufgaben zur Überarbeitung ihrer Ausführungen. Die folgende Übersicht fasst grob die Qualität der Ausführungen der Vpn in den jeweiligen Aufgabenkomplexen zusammen.

Tab. 47: Qualität der Ausführungen der ersten vier Vpn der Fallstudie

| Aufgabenkomplex                | Vp01                                                     | Vp02                                                     | Vp03                                                     | Vp04                                                                 |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Erster Aufgabenkomplex</b>  | Nur Aspekt der Elutionswirkung nicht vollständig erfasst | Ausführungen unvollständig und unklar                    |                                                          |                                                                      |
| <b>Zweiter Aufgabenkomplex</b> | Aspekt der Elutionswirkung vollständig erfasst           | Nur Aspekt der Elutionswirkung nicht vollständig erfasst | Nur Aspekt der Elutionswirkung nicht vollständig erfasst | Keine Differenzierung zwischen Säulen- und Dünnschichtchromatografie |

| Aufgabenkomplex                                      | Vp01                                                                                                                  | Vp02                                                               | Vp03                                                                         | Vp04                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dritter Aufgabenkomplex</b>                       | Umfassende Übertragung der Aussagen der Textausschnitte auf Experiment                                                | Aspekt der Elutionswirkung erfasst, aber Ausführungen z. T. unklar | Concept Maps auf Englisch; fast keine Übertragung d. Aussagen auf Experiment | Aspekt der Elutionswirkung nicht vollständig erfasst; Unterscheidung v. guten und schlechtem Laufmittel deutet auf Fehlkonzept hin |
| <b>Vierter Aufgabenkomplex</b>                       | Richtige Interpretation der Ergebnisse, nutzt Darstellungen zwischenmolekularer Wechselwirkungen aus dem Textmaterial | Ausführungen unvollständig                                         | Ausführungen unvollständig                                                   | Fehler bei Darstellung d. Wasserstoffbrückenbindung; Ausführungen unvollständig                                                    |
| <b>Fünfter Aufgabenkomplex – Schülerfehlkonzepte</b> | Fehlkonzepte nur teilweise erkannt; Aspekt der Elutionswirkung falsch dargelegt                                       |                                                                    |                                                                              |                                                                                                                                    |

Die Notwendigkeit der Revisionsaufgaben und die Schwierigkeiten, die die ersten vier Vpn des ersten Durchganges hatten, Erkenntniswege für den Unterricht abzuleiten, waren Anlass für die Überarbeitung der Aufgabenstellungen der Aufgabenkomplexe 1, 2 und 4. Die Änderungen werden im Folgenden beschrieben und begründet.

### 11.5.8 Überarbeitung der Aufgabenkomplexe

Um abzusichern, dass alle Vpn auf Lernschritte für die Gestaltung eines regressiv-reduktiven Erkenntnisweges eingehen, um eine im Zusammenhang mit dem Experiment stehende Problemstellungen zu klären, wurde dieser im zweiten Aufgabenkomplex vorgegeben. Die Lernschritte eines progressiv-reduktiven Erkenntnisweges (Kap. 6.4.2, S. 53–57) sind in Aufgabe 4L3.2 des vierten Aufgabenkomplexes zu beschreiben. In L3.2 wurde allerdings vorgegeben, welche Abbildungen des Textmaterials dabei berücksichtigt werden sollten. Somit sollten die Vpn durch die Aufgabenstellung noch mehr das Primärdatenmaterial chromatografischer Trennungen des Textmaterials ausschöpfen.

Da anzunehmen ist, dass 4L3.2 nicht für alle Vpn zeitlich zu bewältigen ist, wurde sie als Zusatzaufgabe deklariert, die erst bearbeitet werden sollte, wenn der fünfte Aufgabenkomplex abgeschlossen wurde. In der Zusatzaufgabe sollten die Unterschiede zwischen Normalphasenchromatografie (NPC, stationäre Phase ist polar) und Umkehrphasenchromatografie (RPC, stationäre Phase ist unpolar) progressiv-reduktiv erarbeitet werden. Als Grundlage sollten die experimentellen Daten des Textmaterials (Fig. 2.7, Fig. 8.1, Fig. 8.3 und Tab. 8.1, ggf. Fig. 8.2 und Fig. 2.6) genutzt werden.

Diese Abbildungen zeigen zum einen Chromatogramme zur NPC und RPC, die verdeutlichen, dass polare Analyten stärker von einer polaren stationären Phase zurückgehalten werden und unpolare Analyten stärker von einer unpolaren stationären Phase. Zum anderen werden Wechselwirkungsbeziehungen zwischen unterschiedlich polaren Analyten



und unterschiedlich polaren stationären und mobilen Phasen auf molekularer Ebene dargestellt. Die Vorkenntnisse aus dem Experiment zur Trennung des Farbstoffgemisches unter Verwendung verschieden polarer Laufmittel und die Abbildungen zu den Wechselwirkungsbeziehungen sind die Grundlage für die Ableitung von Prognosen, um die Ergebnisse in den Chromatogrammen vorherzusagen. Auch bei dieser Aufgabe ist davon auszugehen, dass nur wer die Begründungszusammenhänge der mit dem Experiment verbundenen Inhalte verstanden hat, in der Lage sein wird, die Lernschritte eines progressiv-regressiven Erkenntnisweges unter Einbeziehung der ausgewiesenen Abbildungen zu entwickeln. Die ausführliche Beschreibung des Erkenntnisweges erfolgt im Kap. 12.3.3.1d (S. 206).

Die Änderungen werden in der folgenden Übersicht tabellarisch in der rechten Spalte zusammengefasst. Die finale Version der fünf Aufgabenkomplexe ist im Anhang (s. Kap. 21.4, S. 565).

Tab. 48: Änderungen in den vier Aufgabenkomplexen

| Aufgabenkomplex                      | Aufgabenstellung 10.04.2017                                                                                                                                                                                          | geänderte Aufgabenstellung                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teil A:<br>Erster<br>Aufgabenkomplex | <b>1a) Erstellen</b> Sie anhand der Beschreibung des Experimentes eine <b>Concept Map</b> zur sachlogischen Strukturierung der Inhalte des Experimentes.                                                             | <b>1a)</b><br><i>Bleibt unverändert</i>                                                                                                                                       |
|                                      | <b>1b) Erläutern</b> Sie die Begründungszusammenhänge für die beobachteten Erscheinungen dieses Experimentes. Ergänzen Sie ggf. Ihre Concept Map.                                                                    | <b>1b) Erläutern</b> Sie die Zusammenhänge, die Sie in Ihrer Concept Map dargestellt haben. Ergänzen Sie ggf. Ihre Concept Map.                                               |
|                                      | <b>1c) Ordnen</b> Sie die Aspekte zur sachlogischen Strukturierung chromatografischer Verfahren den jeweiligen Begriffen und Relationen Ihrer Concept Map zu. Verwenden Sie bitte dazu mindestens eine andere Farbe. | <b>1c)</b><br><i>Bleibt unverändert</i>                                                                                                                                       |
|                                      |                                                                                                                                                                                                                      | <b>1d) Nennen</b> Sie zwei mögliche Problemstellungen, die Ihr Kollege für die Einbindung des Experimentes hätte verwendet haben können.                                      |
|                                      | <b>1e) Nennen</b> Sie Fragestellungen/Aufgabenstellungen, die mit dem Experiment thematisiert werden können.                                                                                                         | <b>1e) Formulieren</b> Sie Fragen, die im Zusammenhang mit den genannten Problemstellungen/dem Experiment geklärt werden müssen.                                              |
|                                      | <b>1d) Skizzieren</b> Sie mögliche Varianten der Einbindung des Experimentes in verschiedene Erkenntniswege (Erklärung d. Erkenntniswege finden Sie im Anhang).                                                      | <b>1f)</b><br><i>Bleibt unverändert</i>                                                                                                                                       |
|                                      |                                                                                                                                                                                                                      | <b>1g) Formulieren</b> Sie Aufgabenstellungen, die im Zusammenhang mit Ihren Varianten der Einbindung des Experimentes in verschiedene Erkenntniswege gestellt werden können. |

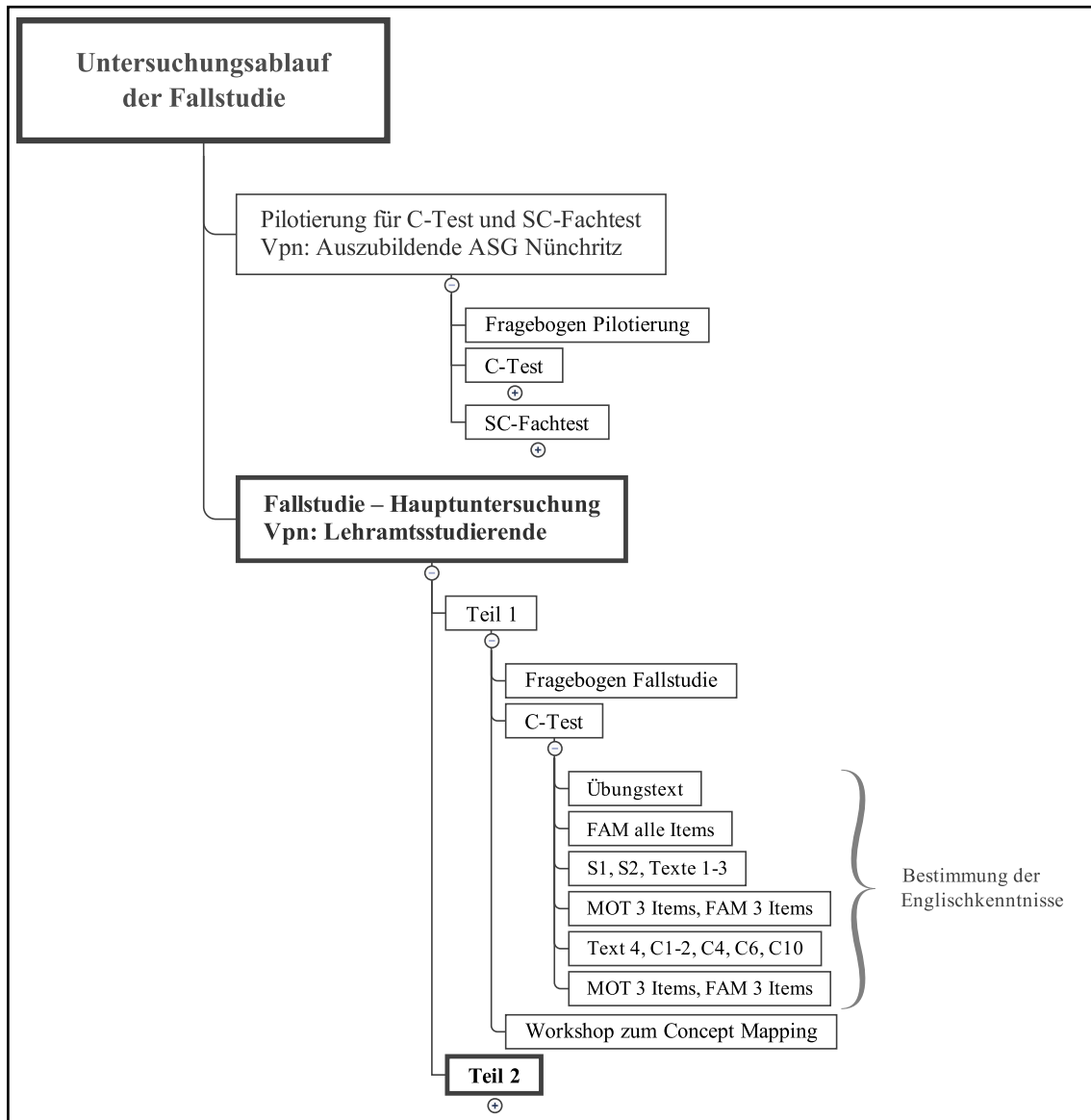
| Aufgabenkomplex                       | Aufgabenstellung 10.04.2017                                                                                                                                   | geänderte Aufgabenstellung                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teil B:<br>Zweiter<br>Aufgabenkomplex | <b>2a) Markieren</b> Sie die Textstellen, die für die Erklärung des Experimentes genutzt werden können.                                                       | <b>2a)</b><br><i>Bleibt unverändert</i>                                                                                                                                                                                                                                |
|                                       | <b>2b) Kommentieren</b> Sie die Textstellen, die Sie für unverständlich halten.                                                                               | <b>2b)</b><br><i>Bleibt unverändert</i>                                                                                                                                                                                                                                |
|                                       | <b>2c) Erläutern</b> Sie die Begründungszusammenhänge für die beobachteten Erscheinungen des Experimentes.                                                    | <b>2c) Erläutern</b> Sie die Zusammenhänge, die Sie in Ihrer Concept Map richtigstellen und/oder noch ergänzen würden.                                                                                                                                                 |
|                                       |                                                                                                                                                               | <b>2d) Nennen</b> Sie zwei mögliche Problemstellungen, die Ihr Kollege auf der Grundlage der im Textmaterial dargestellten Zusammenhänge für die Einbindung des Experimentes hätte verwendet haben können.                                                             |
|                                       | <b>2f) Nennen</b> Sie Fragestellungen/Aufgabenstellungen, die anhand des Textmaterials thematisiert werden können.                                            | <b>2e) Formulieren</b> Sie Fragen, die im Zusammenhang mit den genannten Problemstellungen geklärt werden müssen.                                                                                                                                                      |
|                                       | <b>2d) Skizzieren</b> Sie mögliche Erkenntniswege (Erklärung d. Erkenntniswege finden Sie im Anhang), die mit dem Experiment operationalisiert werden können. | <b>2f) Beschreiben</b> Sie die Lernschritte für die Gestaltung eines regressiv-reduktiven Erkenntniswegs zur Klärung einer der Problemstellungen, die Sie unter d) genannt haben.                                                                                      |
|                                       | <b>2e) Ergänzen</b> Sie Fragestellungen/Aufgabenstellungen, die mit dem Experiment thematisiert werden können.                                                | <b>2g) Formulieren</b> Sie Aufgabenstellungen, die im Zusammenhang mit dem beschriebenen regressiv-reduktiven Erkenntnisweg und darüber hinaus gestellt werden können.<br><b>Ordnen</b> Sie die genannten Aufgabenstellungen den jeweiligen Lernschritten unter f) zu. |
| Teil C:<br>Dritter<br>Aufgabenkomplex | <b>3a) Kommentieren</b> Sie die Textstellen, die Sie für unverständlich halten.                                                                               | <i>Bleibt unverändert</i>                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                       | <b>3b) Erstellen</b> Sie eine Concept Map zu jedem der drei Textabschnitte.                                                                                   | <i>Bleibt unverändert</i>                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                       | <b>3c) Übertragen</b> Sie die Aussagen der jeweiligen Textabschnitte auf die drei Trennergebnisse.                                                            | <i>Bleibt unverändert</i>                                                                                                                                                                                                                                              |

| Aufgabenkomplex                                             | Aufgabenstellung 10.04.2017                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | geänderte Aufgabenstellung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teil D:<br>Vierter<br>Aufgabenkomplex                       | <b>L1: Skizzieren</b> Sie die zwischenmolekulare Wechselwirkungen (WW), die im Experiment eine Rolle gespielt haben. Erklären Sie, wie sich diese WW in ihrer Stärke unterscheiden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>L1: Skizzieren</b> Sie die zwischenmolekulare Wechselwirkungen (WW), die im Experiment eine Rolle gespielt haben. Erklären Sie, wie sich diese WW in ihrer Stärke unterscheiden. <b>Lesen Sie dazu ggf. im Textmaterial S. 17–18 sowie S. 23–24 gründlich durch.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                             | <b>L2:</b> Wenden Sie diese Zusammenhänge auf den DC-Versuch an. Erläutern Sie dazu folgende Aspekte: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Elutionskraft der Laufmittel anhand der Trennergebnisse beurteilen und vergleichen</li> <li>– Elutionskraft der Laufmittel anhand der Strukturmerkmale/Stoffeigenschaften der Komponenten des chromatografischen Systems beurteilen und vergleichen.</li> <li>– Polarität der Farbstoffe anhand des Trennergebnisses mit Toluol als Laufmittel beurteilen und vergleichen</li> <li>– Polarität der Farbstoffe anhand der Strukturmerkmale/Stoffeigenschaften beurteilen und vergleichen.</li> </ul> | <b>L2:</b> Wenden Sie diese Zusammenhänge auf den DC-Versuch an. Erläutern Sie dazu folgende Aspekte: <ul style="list-style-type: none"> <li>– wie die Elutionskraft jedes der drei Laufmittel allein anhand der Trennergebnisse abgeleitet werden kann</li> <li>– wie die Elutionskraft jedes der drei Laufmittel allein anhand der Strukturmerkmale der Komponenten des chromatografischen Systems begründet werden kann.</li> <li>– wie die Polarität jedes der drei Farbstoffe allein anhand des Trennergebnisses mit Toluol als Laufmittel abgeleitet werden kann</li> <li>– wie die Polarität der Farbstoffe allein anhand der Strukturmerkmale begründet werden kann.</li> </ul> |
|                                                             | <b>L3.1:</b> Skizzieren Sie einen regressiv-reduktiven Erkenntnisgang, in dem das Experiment als aneignungsunterstützendes Mittel eingesetzt wird.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>L3.2:</b> Beschreiben Sie die Lernschritte für einen progressiv-reduktiven Erkenntnisgang, um mit den SuS die Unterschiede der RPC und NPC zu erarbeiten. Nutzen Sie dazu die Abbildungen Fig. 2.7, Fig. 8.1, Fig. 8.3 und Tab. 8.1, ggf. Fig. 8.2 und Fig. 2.6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Revision L2:</b><br>Sie können jetzt nach Bearbeitung von L3 ggf. Ergänzungen/Korrekturen bei L2 a–d vornehmen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Teil E:<br>Fünfter Aufgabenkomplex –<br>Schülerfehlkonzepte | Analysieren Sie die Aussagen auf ihre Richtigkeit (erläutern Sie, worin die Fehlkonzepete der Schüleraussagen bestehen). Leiten Sie daraus ab, wie Sie im Unterricht den nicht verstandenen Sachverhalt erklären würden (ggf. mit Skizzen zur Veranschaulichung).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <i>Bleibt unverändert</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

### 11.6 Durchführung der Fallstudie

Im Folgenden wird der in Abb.38 und Abb.39 veranschaulichte Ablauf der Fallstudie ausführlich beschrieben. Die Pilotierung des C-Tests zur Bestimmung der Englischkenntnisse und des SC-Fachtests zur Bestimmung der fachlichen Vorkenntnisse zur Chromatografie wurde bereits in Kap.11.1 „Beschreibung der Versuchspersonen der Pilotierungen

von C-Test und SC-Fachtest“ (S. 133–141), Kap. 11.2 „Single-Choice-Fachtest zur Bestimmung der Fachkenntnisse zur Chromatografie“ (S. 141–144) und Kap. 11.3 „C-Test zur Bestimmung der Englischkenntnisse“ (S. 144–151) ausführlich beschrieben.

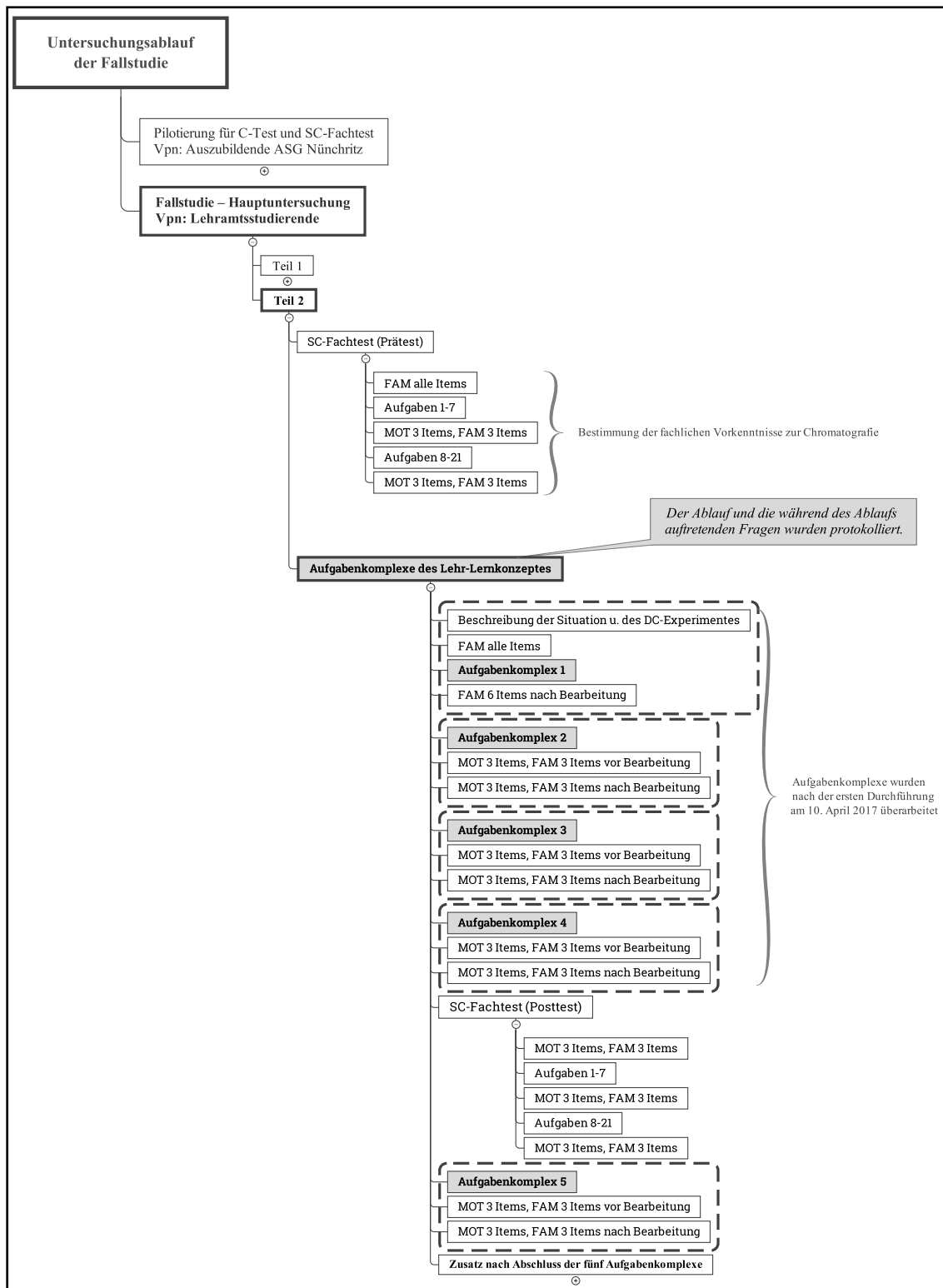


FAM: Fragebogen zur Kontrolle der aktuellen Lern- und Leistungsmotivation

MOT: Einschätzung des motivationalen Zustandes

Abb. 38: Ablauf der Fallstudie – Pilotierung von C-Test und SC-Fachtest sowie Teil 1 der Hauptuntersuchung

Die Hauptuntersuchung der Fallstudie gliedert sich wie bereits in Kap. 9.2.4.2 (S. 123) ausgeführt in zwei Teile. Die Durchführung der einzelnen Teile wird in den folgenden Kapiteln in der Reihenfolge dargelegt, in der sie stattgefunden haben.



FAM: Fragebogen zur Kontrolle der aktuellen Lern- und Leistungsmotivation

MOT: Einschätzung des motivationalen Zustandes (3 Items)

Abb. 39: Ablauf der Fallstudie – Teil 2 der Hauptuntersuchung

### 11.6.1 Durchführung der schriftlichen Befragung

Zu Beginn des ersten Teils der Hauptuntersuchung wurde der Fragebogen ausgeteilt. Die Vpn bekamen zunächst ausreichend Zeit, sich die einführenden Informationen zur Fallstudie durchzulesen und sich mit dem Zweck des Fragebogens, des C-Tests und des SC-Fachtests vertraut zu machen. Auch wurde Ihnen darin versichert, dass alle Daten anonymisiert erfasst werden und jede Vp ihren eigenen Code festlegt durch die Eintragung des ersten und letzten Buchstaben des Vornamens der Mutter sowie des Tages und Monats des Geburtstages der Mutter in die dafür vorgesehenen Felder. Die Vpn wurden durch die Autorin darauf aufmerksam gemacht, dass sie diesen Code konsistent verwenden müssen, damit die Daten aus den verschiedenen Phasen der Fallstudie auch korrekt den jeweiligen Vpn zugeordnet werden können.

### 11.6.2 Durchführung des C-Tests

Zunächst bekamen die Vpn der Fallstudie Zeit die Vorbemerkungen zum C-Test durchzulesen. Danach bearbeiteten sie den Übungstext unter Testbedingungen, d.h. sie hatten nur fünf Minuten Zeit, die Lücken auszufüllen. Sie wurden darauf hingewiesen, dass es in Ordnung sei, wenn sie nur 40 bis 60 % der Lücken ausfüllen könnten. Nach der Bearbeitung wurde die Lösung besprochen.

Nachdem die Vpn auf diese Weise einen ersten Eindruck gewonnen hatten, was mit dem C-Test auf sie zukam, hatten sie den FAM auszufüllen. Es wurde gewartet bis alle Vpn eines Durchganges den FAM vollständig ausgefüllt hatten.

Danach begann die Bearbeitung des C-Tests. Die Texte des C-Tests wurden chronologisch bearbeitet. Um zu gewährleisten, dass jede Vp genau fünf Minuten Zeit bekam, durften die Vpn, wie auch in der Pilotierung, erst auf die nächste Seite Blättern, wenn sie dazu aufgefordert wurden. Dann erst durften sie mit der Bearbeitung beginnen. Nach der Bearbeitung des Absatzes „Text 3“ und am Ende des gesamten C-Tests mussten jeweils die sechs Items zur Erfassung der aktuellen Lernmotivation ausgefüllt werden.

### 11.6.3 Durchführung des Workshops zum Concept Mapping

Da von den Vpn in den ersten drei Aufgabenkomplexen des zweiten Teils der Hauptuntersuchung Concept Maps zu erstellen waren, wurde die Technik des Concept Mappings im Vorfeld in einem Workshop trainiert, um sicherzustellen, dass alle Vpn mit den Konstruktionsprinzipien zur Erstellung von Concept Maps (s. Kap. 18.4, S. 368) gleichermaßen vertraut sind. Dazu wurde das Thema „Wasser“ gewählt, das in der Fachdidaktik im fünften Fachsemester sehr ausführlich behandelt wird. Obwohl bei dem Thema u. a. Struktur-Eigenschaftsbeziehungen betrachtet werden, hat die Auseinandersetzung mit diesem Thema keinen zu erwartenden Einfluss auf die fachlichen Kenntnisse zur Chromatografie und somit keinen zu erwartenden Einfluss auf die Ergebnisse des Fachwissenstests zur Chromatografie, der erst nach dem Concept Mapping Workshop am Tag der Hauptuntersuchung durchgeführt wurde.

Ähnlich wie in der Hauptuntersuchung mussten inhaltliche Zusammenhänge eines Textes aus einem deutschen Lehrbuch (Christen) als Concept Map dargestellt werden. Dazu erhielten die Vpn eine Anleitung, wie sie vorgehen sollten (s. Kap. 18.5, S. 369). Das Workshop-Material einschließlich der Aufgabe wurde vor dem Workshop-Termin im OPAL-Kurs bereitgestellt, sodass die Vpn das Material vor dem Workshop durcharbeiten und ein Concept Map zum Text erstellen konnten, das dann auch auf OPAL hochzuladen war. Die Autorin hat die hochgeladenen Concept Maps vor dem Workshop begutachtet und im Workshop mit den Vpn die Verletzungen der Konstruktionsprinzipien diskutiert.

Ein Beispiel soll kurz erörtert werden. Der vollständige Lehrbuchtext zum Thema „Wasser“ ist im Anhang zu finden (s. Kap. 18.6, S. 372), während hier die Textausschnitte herausgegriffen werden, auf die sich die Propositionen des Concept Maps einer Vp in Abb. 40 beziehen:

„[...] **Wasser** [...] Seine in mancher Hinsicht einzigartigen Eigenschaften lassen sich letzten Endes alle auf die Struktur des  $\text{H}_2\text{O}$ -Moleküls und dessen Fähigkeit, sehr starke Wasserstoffbrücken bilden zu können, zurückführen [...].

Im Eis ist ein O-Atom tetraedrisch von vier H-Atomen umgeben, von denen zwei durch Atombindungen und zwei durch H-Brücken gebunden werden. Diese Anordnung gibt eine sehr voluminöse, lockere Struktur [...] Die hohe Polarität des Moleküls bedingt den „abnorm“ hohen Siedepunkt ( $\text{H}_2\text{O}$   $100^\circ\text{C}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$   $-61^\circ\text{C}$ ) und das ausgezeichnete Lösevermögen für Salze und für Verbindungen aus stark polaren Molekülen, wie Harnstoff, Alkohol, Zucker usw.

Natürliches Wasser ist niemals rein [...]. Die wichtigsten gelösten Bestandteile von Leitungswasser sind neben Sauerstoff und  $\text{CO}_2$  Salze wie  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ , usw. [...]. Durch mehrfache Destillation kann man völlig reines „Leitfähigkeitswasser“ erhalten (Prüfung der Reinheit durch Messung der Leitfähigkeit).“ (Christen 1985: 488–491)

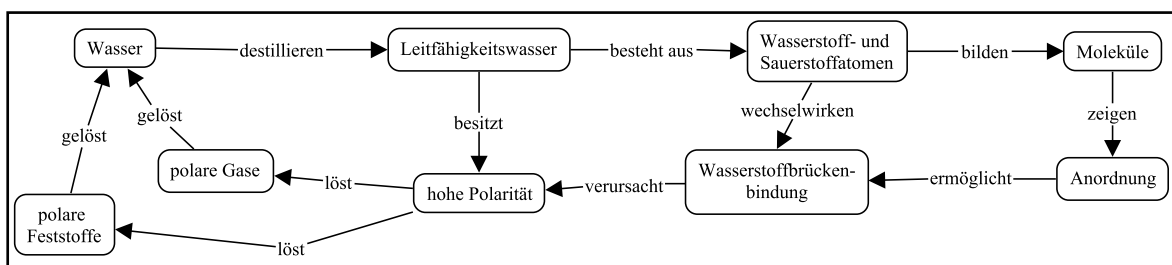


Abb. 40: Concept Map einer Vp der Fallstudie zum Thema „Wasser“<sup>119</sup>

<sup>119</sup> Das Concept Map wurde mit dem Cmap-Tool erstellt (CmapTools)

In diesem Concept Map gibt es mehrere Verstöße, die teilweise zu fachlich falschen Propositionen führen.

1. Wasserstoff- und Sauerstoffatome sind zwei Konzepte, die im Concept Map der Vp zusammengefasst wurden.
2. Die Wasserstoffbrückenbindung verursacht nicht die hohe Polarität wie im Concept Map dargestellt, sie resultiert aus den Polaritätsverhältnissen des Wassermoleküls
3. Nicht die hohe Polarität löst polare Gase oder Feststoffe, sondern Wasser als polares Lösungsmittel löst diese Stoffe.
4. Die Propositionen „Wasser destillieren Leitfähigkeitswasser“ ergibt keinen Sinn. Abgesehen davon ist der Begriff „Leitfähigkeitswasser“, der im Lehrbuchtext verwendet wurde, fragwürdig.

Diese Fehler des Concept Maps könnten zu der Schlussfolgerung führen, dass die Vp die Zusammenhänge nicht verstanden hat. In der Diskussion über das Concept Map zeigte sich allerdings, dass die Vp sehr wohl die Zusammenhänge richtig erklären konnte, nur wusste sie nicht, wie sie diese Zusammenhänge in einem Concept Map am besten darstellen kann. Gemeinsam wurde ein Concept Map erarbeitet, das das Zustandekommen der Wasserstoffbrückenbindung abbildet.

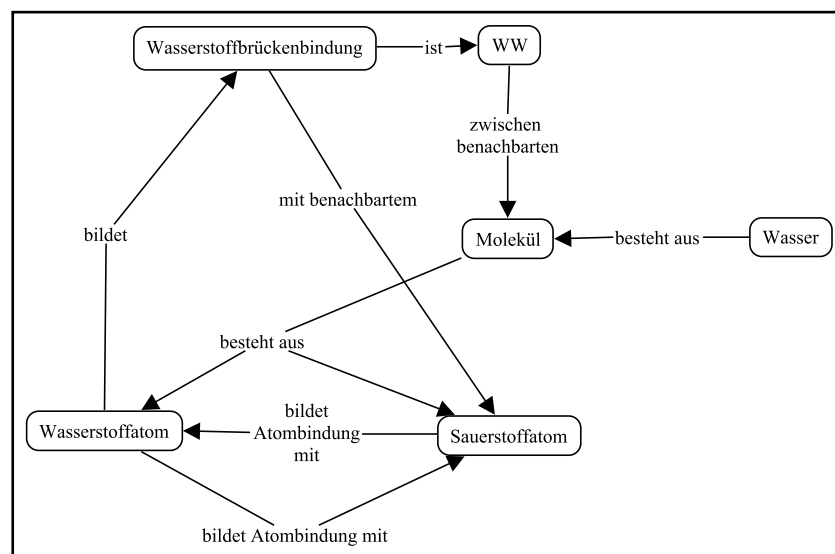


Abb. 41: Korrigiertes Concept Map zum Aspekt „Wasserstoffbrückenbindung“<sup>120</sup>

In tiefgründigerer Form sind diese Zusammenhänge im Experten-Concept Map im Anhang dargestellt (s. Abb. A2, S.352), die Grundlage für die Textanalyse im Kap.8.2.1 (S.101) waren.

<sup>120</sup> Das Concept Map wurde mit dem Cmap-Tool erstellt (ebd.)



Dieses Beispiel zeigt, dass die Erstellung von Concept Maps Übung erfordert, wenn man sie als Diagnoseinstrument einsetzen möchte. In der vorliegenden Fallstudie werden sie ergänzend zu den schriftlichen Ausführungen der Vpn eingesetzt, sodass Konstruktionsfehler in den zu erstellenden Concept Maps nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Insgesamt wurden den Vpn drei Workshop-Termine à 90 Minuten angeboten, wobei jede Vp nur einen Termin wahrnehmen musste.

#### **11.6.4 Durchführung Teil 2 der Fallstudie: Bearbeitung der Aufgabenkomplexe und Einsatz des SC-Fachtests (prä/post)**

Wie bereits in Kap. 9.2.4.2 (S. 123) erwähnt wurde, gab es sieben Durchgänge. In der ursprünglichen Planung sollten die Vpn den kompletten Teil mit SC-Fachtest (prä/post) und den fünf Aufgabenkomplexen an einem Tag bearbeiten. Das gelang nur im ersten Durchgang, wobei in diesem Durchgang zwei Vp auch zwei Tage in Anspruch nehmen mussten.

Alle Durchgänge haben mit der Bearbeitung des SC-Fachtests begonnen. Danach erfolgte die Bearbeitung der ersten vier Aufgabenkomplexe, die nach Bedarf unterbrochen werden durften. Jede Unterbrechung wurde genau dokumentiert. Was bei aller Unterschiedlichkeit einheitlich gehandhabt wurde, war die Bearbeitung des SC-Fachtests (post), der unmittelbar nach Abschluss des vierten Aufgabenkomplexes erfolgte. Im ersten Durchgang war das nach der Aufgabe L3, in den darauffolgenden Durchgängen nach der Aufgabe L2.

Mit dem SC-Fachtest sollte der Erkenntnisgewinn nicht nur über die Auswertung der Aufgabenkomplexe, sondern auch über dieses validierte quantitative Messinstrument erfasst werden.<sup>121</sup> Danach erhielten die Vpn den fünften Aufgabenkomplex. Die Vpn aller Durchgänge, die nach dem fünften Aufgabenkomplex noch bereit waren, Zeit zu investieren, erhielten die Zusatzaufgabe 4L3.2.

Wenn bei einigen Vpn die schriftlichen Ausführungen unklar waren, erhielten sie Revisionsaufgaben, die nur darauf abzielten, dass die jeweilige Vp genau erklärte, was sie mit der Formulierung gemeint hat. Diese nachträglichen Bearbeitungen sind ebenfalls genau dokumentiert worden und wurden bei der Auswertung entsprechend kenntlich gemacht. Die Revisionsaufgaben für die Vpn des ersten Durchganges hatten zusätzlich den Zweck, noch Daten zu den neu hinzugekommenen Aufgaben in der optimierten Version zu erfassen

---

<sup>121</sup> Der zweimalige Einsatz desselben Tests (Retest-Methode) wird auch u. a. als ein methodischer Zugang der Reliabilitätsüberprüfung genutzt (vgl. Lienert/Raatz 1998: 9). Nicht unkritisch ist dabei allerdings der geringe zeitliche Abstand von wenigen Stunden zwischen Erst- und Zweit-Bearbeitung des SC-Fachtests, sodass Wiederholungseinflüsse und Erinnerungseinflüsse nicht ausgeschlossen werden können. Ein größerer Zeitabstand von mehreren Tagen nach Abschluss des vierten Aufgabenkomplexes bis zur Testwiederholung hat allerdings den Nachteil, dass nicht mehr ausgeschlossen werden kann, dass die Vpn sich zu den Inhalten des SC-Fachtests belesen haben. Somit könnte der Erkenntnisgewinn nicht mehr allein der Auseinandersetzung mit dem englischen Textmaterial zugeschrieben werden. Da davon auszugehen ist, dass die meisten Vpn nur geringe Vorkenntnisse zum Inhaltsbereich haben und damit die meisten Testitems auslassen werden, sollten Wiederholungs- und Erinnerungseinflüsse nicht allzu stark zum Tragen kommen. Dieser Aspekt wird entsprechend im Ergebnisteil diskutiert.

(s. Kap. 11.5.8, S. 163), die die Vpn in den darauffolgenden Durchgängen erhalten haben. Damit ist die Vergleichbarkeit der Daten des ersten mit den anderen Durchgängen gewährleistet.

### 11.6.5 Erstellung der Concept Maps

Die Concept Maps waren von den Vpn zu mehreren Untersuchungszeitpunkten zu erstellen. Grundlage für die Erstellung der Concept Maps waren Texte der Beschreibung des Experimentierteils und des englischen Lehrbuches (Snyder/Kirkland/Dolan 2010).

Es wurde kein Basislexikon mit Konzepten oder Relationen vorgegeben, sodass diese von den Vpn eigenständig aus den Texten abzuleiten waren. Die Vpn sollten damit nicht in ihrem Denken bei der Textanalyse beeinflusst werden. Sie konnten somit frei Begriffe und Relationen sowohl aus dem Textmaterial als auch aus ihrem eigenen Wissensbestand verwenden, um die komplexen Zusammenhänge des Textes zu den sachlogischen Bezügen für den Unterricht in ihrem Concept Map darzustellen. Der damit höher verbundene Mehraufwand bei der Auswertung der Daten wurde in Kauf genommen. Die Concept Maps wurden direkt auf A4-Blättern gezeichnet.

Ursprünglich war angedacht, die Concept Maps auf einem A2-Bogen erstellen zu lassen, dass die Vpn ausreichend Platz haben, die Vielzahl der Begriffe und Relationen anzuordnen. Dazu sollten die Begriffe auf nicht permanent klebenden Klebezetteln geschrieben werden, um leichter die Anordnung der Begriffe auf dem A2-Bogen verändern zu können. Im Workshop zum Concept Mapping (s. Kap. 11.6.3, S. 169), in dem diese Methode trainiert wurde, stellte sich allerdings heraus, dass die Vpn die Begriffe und Relationen lieber auf ihren A4-Blättern gezeichnet haben.



## 12 Beschreibung der Analysemethoden zur Analyse der Daten der Fallstudie

Im Folgenden werden zunächst die Analysemethoden zur Auswertung des FAM, des C-Tests, des SC-Fachtests und der fünf Aufgabenkomplexe beschrieben. Die Ergebnisse werden dann im Kap. 13 (S. 233) ausgeführt.

### 12.1 Auswertung des FAM zur Beurteilung der Motivation während der Aufgabenbearbeitung

Insgesamt gab es 19 Messzeitpunkte für die Erfassung der Motivation vor, während und nach der Bearbeitung der Tests und Aufgaben. Für drei Messzeitpunkte (1, 4 und 10) wurde der FAM eingesetzt, der aus den vier Skalen Interesse (I), Erfolgswahrscheinlichkeit (E), Herausforderung (H) und Misserfolgsbefürchtung (M) besteht:

- vor der Bearbeitung des C-Tests (T1\_En0)
- vor der Bearbeitung des SC-Fachtests und (T1\_SC0)
- vor der Bearbeitung des ersten Aufgabenkomplexes (T2\_A0)

Für jeden einzelnen Messzeitpunkt wird zunächst eine Konsistenzanalyse der jeweiligen Skalen vorgenommen. Anschließend werden zu jeder Skala getrennt nach Messzeitpunkt die Itemmittelwerte gebildet.<sup>122</sup> Auf diese Weise kann beurteilt werden, wie sich die Ausprägungen der vier Komponenten im Verlauf der Aufgabenbearbeitung von T1\_En0 bis T2\_A0 ändern.

Die Konsistenzkoeffizienten liegen für die Skalen Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit und Interesse zwischen Cronbachs- $\alpha = .89$  und  $\alpha = .71$ , sodass diese Skalen hinreichend konsistent sind. Anders sieht es bei der Skala Herausforderung aus. Dort liegen die Konsistenzkoeffizienten zwischen Cronbachs- $\alpha = .02$  und  $\alpha = .55$  (s. Tab. 49). Der extrem niedrige Wert zum Messzeitpunkt T1\_En0 liegt an einer negativen Korrelation zwischen den Items. Bei Ausschluss der zwei Vpn, die bei Item FAM\_06\_H Wert 2 bzw. 1 und bei Item FAM\_08\_H Wert 7 angegeben haben (Grund für Inkonsistenz) beträgt Cronbachs- $\alpha = -.25$ . Werden nur die Items FAM\_10\_H und FAM\_15\_H einbezogen, beträgt Cronbachs- $\alpha = .69$ . Mit diesen beiden Items ist die Skala somit konsistent, sodass für die anderen beiden Messzeitpunkte T1\_SC0 und T2\_A0 auch nur die Items FAM\_10\_H und FAM\_15\_H für die Skala Herausforderung zusammengefasst werden. Die Konsistenzkoeffizienten erhöhen sich in beiden Fällen auf Cronbachs- $\alpha = .57$  bzw.  $\alpha = .74$ . Abb. 42 stellt die Skalenmittelwerte des FAM über die drei Messzeitpunkte grafisch dar:

- vor der Bearbeitung des C-Tests (T1\_En0)
- vor der Bearbeitung des SC-Fachtests und (T1\_SC0)
- vor der Bearbeitung des ersten Aufgabenkomplexes (T2\_A0).

---

<sup>122</sup> Zwei Items aus dem FAM, die eine Verneinung enthalten, wurden vorher entsprechend umcodiert.

Erfolgswahrscheinlichkeit und Interesse liegen gut im mittleren Bereich ( $4,0 < M < 4,5$ ), während die Komponente Herausforderung im Durchschnitt mehr als einen ganzen Punktwert höher und die Komponente Misserfolgsbefürchtung einen knappen Punktwert niedriger eingeschätzt wird. Insgesamt ist die aktuelle Motivation zu Beginn der jeweiligen Messzeitpunkte T1\_En0, T1\_SC0 und T2\_A0 ausreichend hoch.

Tab. 49: Relevante Kennwerte des FAM für die Messzeitpunkte T1\_En0, T1\_SC0 und T2\_A0

| Nr. MZpkt.                                       |              | 1      | 4      | 10    |
|--------------------------------------------------|--------------|--------|--------|-------|
| Bez. MZpkt.                                      |              | T1_En0 | T1_SC0 | T2_A0 |
| N Vpn                                            |              | 14     | 13     | 13    |
| <b>Misserfolgsbefürchtung</b>                    | Anzahl Items | 5      | 5      | 5     |
|                                                  | <i>M</i>     | 3.71   | 3.83   | 3.43  |
|                                                  | <i>SD</i>    | 1.64   | 1.52   | 1.67  |
|                                                  | $\alpha$     | .89    | .92    | .92   |
| <b>Erfolgswahrscheinlichkeit</b>                 | Anzahl Items | 4      | 4      | 4     |
|                                                  | <i>M</i>     | 4.34   | 3.96   | 4.29  |
|                                                  | <i>SD</i>    | 1.37   | 1.24   | 1.06  |
|                                                  | $\alpha$     | .71    | .82    | .85   |
| <b>Interesse</b>                                 | Anzahl Items | 5      | 5      | 5     |
|                                                  | <i>M</i>     | 4.46   | 4.10   | 4.29  |
|                                                  | <i>SD</i>    | 1.33   | 1.20   | 1.16  |
|                                                  | $\alpha$     | .84    | .93    | .88   |
| <b>Herausforderung</b>                           | Anzahl Items | 4      | 4      | 4     |
|                                                  | <i>M</i>     | 5.50   | 5.44   | 5.31  |
|                                                  | <i>SD</i>    | 0.76   | 0.72   | 0.68  |
|                                                  | $\alpha$     | .02    | .50    | .55   |
| <b>Herausforderung (nur Items 10_H und 15_H)</b> | Anzahl Items | 2      | 2      | 2     |
|                                                  | <i>M</i>     | 5.57   | 5.77   | 5.65  |
|                                                  | <i>SD</i>    | 1,05   | .88    | .85   |
|                                                  | $\alpha$     | .69    | .57    | .74   |

MZpkt: Messzeitpunkt; *M*: Mittelwert; *SD*: Standardabweichung

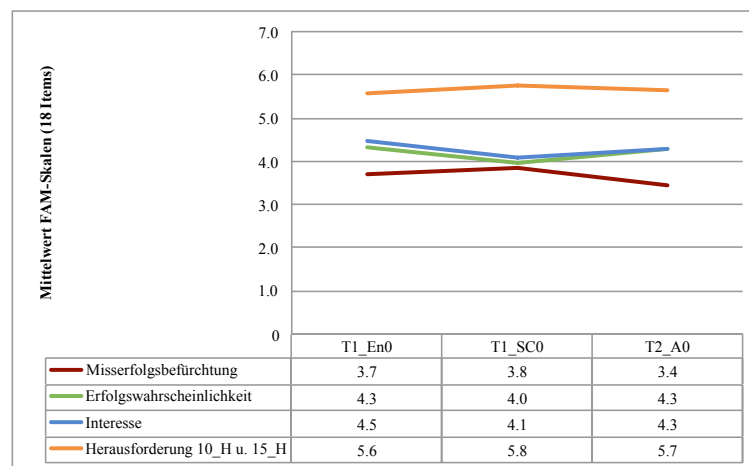


Abb. 42: Die vier FAM-Komponenten Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit, Interesse und Herausforderung zu den Messzeitpunkten T1\_En0, T1\_SC0 und T2\_A0

Bei den weiteren 16 Messzeitpunkten (beginnend mit Messzeitpunkt 2) wurden nur sechs Items eingesetzt, die während und nach der Bearbeitung einzelner Tests (SC-Fachtest, C-Test) und Aufgabenkomplexe (1 bis 5) eingesetzt wurden. Eine Konsistenzanalyse wird nur für die ersten drei Items zur Einschätzung des motivationalen Zustandes (MOT) vorgenommen. Diese drei Items (MOT) werden dann bei ausreichender Konsistenz für jeden einzelnen Messzeitpunkt durch die Mittelwertbildung zusammengefasst. Bei den anderen drei Items, die exemplarisch die Komponenten Interesse (FAM-Item 1), Herausforderung (FAM-Item 6) bzw. Misserfolgsbefürchtung (FAM-Item 18) aus dem FAM abfragen, werden nur die Merkmalsausprägungen im Verlauf der jeweiligen Messzeitpunkte betrachtet. Die Messzeitpunkte, bei denen die sechs Items abgefragt wurden, sind:

- während der Bearbeitung des C-Tests (T1\_En1)
- zum Ende des C-Tests (T1\_En2)
- während der Bearbeitung des SC-Fachtests und (T1\_SC1)
- zum Ende des SC-Fachtests und (T1\_SC2)
- zum Ende des ersten Aufgabenkomplexes (T2\_A1)
- vor der Bearbeitung des zweiten Aufgabenkomplexes (T2\_B0)
- zum Ende des zweiten Aufgabenkomplexes (T2\_B1)
- vor der Bearbeitung des zweiten Aufgabenkomplexes (T2\_C0)
- zum Ende des zweiten Aufgabenkomplexes (T2\_C1)
- vor der Bearbeitung des zweiten Aufgabenkomplexes (T2\_D0)
- zum Ende des zweiten Aufgabenkomplexes (T2\_D1)
- vor der Bearbeitung des SC-Fachtests (T2\_SC0)
- während der Bearbeitung des SC-Fachtests und (T2\_SC1)
- zum Ende des SC-Fachtests und (T2\_SC2)
- vor der Bearbeitung des zweiten Aufgabenkomplexes (T2\_E0)
- zum Ende des zweiten Aufgabenkomplexes (T2\_E1)

Die Konsistenzkoeffizienten von den drei Items für die Einschätzung des motivationalen Zustandes (MOT) liegen zwischen Cronbachs- $\alpha = .92$  und  $\alpha = .63$ , sodass diese Items zusammengefasst werden können (s. Tab. 50; vgl. Vollmeyer/Rheinberg 2003: 292).

Tab. 50: Relevante Kennwerte der drei Items zur Einschätzung der Lernmotivation (MOT) für die weiteren 16 Messzeitpunkte

| Nr. MZpkt.  | 2      | 3      | 5      | 6      | 7     | 8     | 9     | 11    | 12    | 13    | 14    | 15     | 16     | 17     | 18    | 19    |
|-------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Bez. MZpkt. | T1_En1 | T1_En2 | T1_SC1 | T1_SC2 | T2_A1 | T2_B0 | T2_B1 | T2_C0 | T2_C1 | T2_D0 | T2_D1 | T2_SC0 | T2_SC1 | T2_SC2 | T2_E0 | T2_E1 |
| N Vpn       | 14     | 14     | 13     | 13     | 13    | 13    | 13    | 13    | 13    | 12    | 12    | 12     | 12     | 12     | 12    | 12    |
| N Items     | 3      | 3      | 3      | 3      | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3      | 3      | 3      | 3     | 3     |
| M           | 5.19   | 5.12   | 3.87   | 3.79   | 4.15  | 4.87  | 3.97  | 4.15  | 4.38  | 4.69  | 4.30  | 4.89   | 5.25   | 5.03   | 4.58  | 4.31  |
| SD          | 1.39   | 1.30   | 1.39   | 1.42   | 1.23  | 1.05  | 1.62  | 1.47  | 1.60  | 1.22  | 0.97  | 1.30   | 1.33   | 1.24   | 1.26  | 1.34  |
| $\alpha$    | .86    | .77    | .74    | .77    | .78   | .83   | .92   | .85   | .82   | .79   | .63   | .77    | .78    | .79    | .77   | .67   |

MZpkt: Messzeitpunkt; M: Mittelwert; SD: Standardabweichung

Der Motivationsverlauf anhand der drei MOT-Items ist in Abb. 43 dargestellt. Die Schwankungen sind für die jeweiligen Tests und Aufgabenkomplexe gering. Die Lernmotivation liegt im mittleren bis oberen Bereich ( $3,8 < M < 5,3$ ) und ist somit im Verlauf und zum Ende der Aufgabenbearbeitung ausreichend hoch.

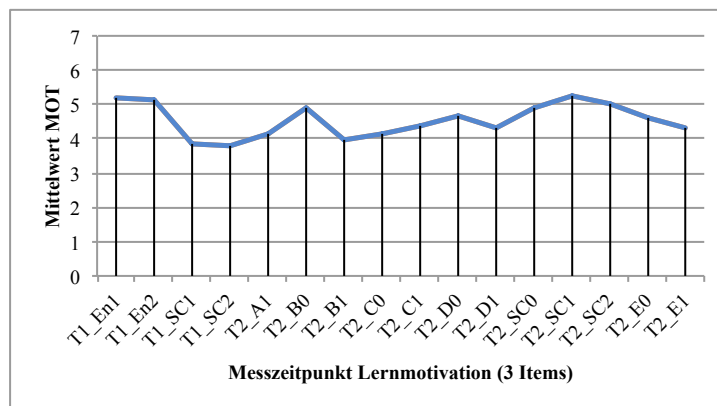


Abb. 43: Änderung der Lernmotivation (MOT) während und nach der Aufgabenbearbeitung über 16 Messzeitpunkte

Betrachtet man die Skalenmittelwerte der drei FAM-Items zu den jeweiligen Messzeitpunkten (s. Abb. 44), zeigt sich, dass je stärker sich die Vpn herausgefordert fühlen, die Misserfolgsbefürchtung steigt und die Lernmotivation und das Interesse sinken. Die Schwankungen halten sich allerdings in Grenzen, dass alle Vpn (bis auf Vp13) ausreichend motiviert waren, die Tests und Aufgaben bis zum Ende zu bearbeiten.

Zur Überprüfung, ob die Schwankungen über die Messzeitpunkte von dem C-Test (T1\_En1 und T1\_En2), den Aufgabenkomplexen (A bis E) und dem SC-Fachtest (T1\_SC1 bis T2\_SC2) signifikant sind, werden abschließend nicht-parametrische Verfahren<sup>123</sup> für verbundene Stichproben angewandt. Verglichen werden nur die Skalenmittelwerte der drei MOT-Items.

Für den Vergleich der MOT-Mittelwerte der beiden Messzeitpunkte beim C-Test wird der Wilcoxon-Test angewandt. Die Teststatistik beim Vergleich der beiden Messzeitpunkte des C-Tests beträgt  $z = -.604$  und der zugehörige Signifikanzwert  $p = .546$ . Damit ist der Unterschied nicht signifikant, d.h. die zentralen Tendenzen der beiden Messzeitpunkte unterscheiden sich nicht. Die Motivation ist nach Bearbeitung des C-Tests nicht signifikant geringer (*Median*=5.33) als davor (*Median*=5.50; asymptotischer Wilcoxon-Test:  $z = -.604$ ,  $p = .546$ ,  $n = 14$ ).

Für den Vergleich der MOT-Mittelwerte der Messzeitpunkte der Aufgabenkomplexe (A bis E) und des SC-Fachtests wird jeweils der Friedman-Test angewandt.

Für die Messzeitpunkte T2\_A1 bis T2\_E1 beträgt der kritische Wert 15.51 bei  $df=8$  und  $p=.05$ . Da der Wert der Teststatistik geringer als der kritische Wert ist, ist der Unterschied nicht signifikant. Es kann also davon ausgegangen werden, dass sich die Motivation zu den verschiedenen Messzeitpunkten bei der Bearbeitung der Aufgabenkomplexe nicht unterscheidet (Friedman-Test: *Chi-Quadrat*(8) = 8.05,  $p < .05$ ,  $n = 10$ ).

Anders sieht es bei dem Vergleich der Motivation vor, während und nach der Bearbeitung des SC-Fachtests aus, wenn die Messzeitpunkte T1\_SC1 bis T2\_SC2 berücksichtigt werden. Für diese Messzeitpunkte beträgt der kritische Wert 9.49 bei  $df=4$  und  $p=.05$ . Da der Wert der Teststatistik deutlich höher als der kritische Wert ist, ist der Unterschied signifikant (Friedman-Test: *Chi-Quadrat*(4) = 18.43,  $p < .05$ ,  $n = 8$ ). Wie auch in Abb.44 zu sehen ist, ist die Motivation zum Messzeitpunkt T2\_SC1 deutlich höher als zum Messzeitpunkt T1\_SC1.

---

<sup>123</sup> Nicht-parametrisch deshalb, weil die Stichproben nicht normalverteilt sind.



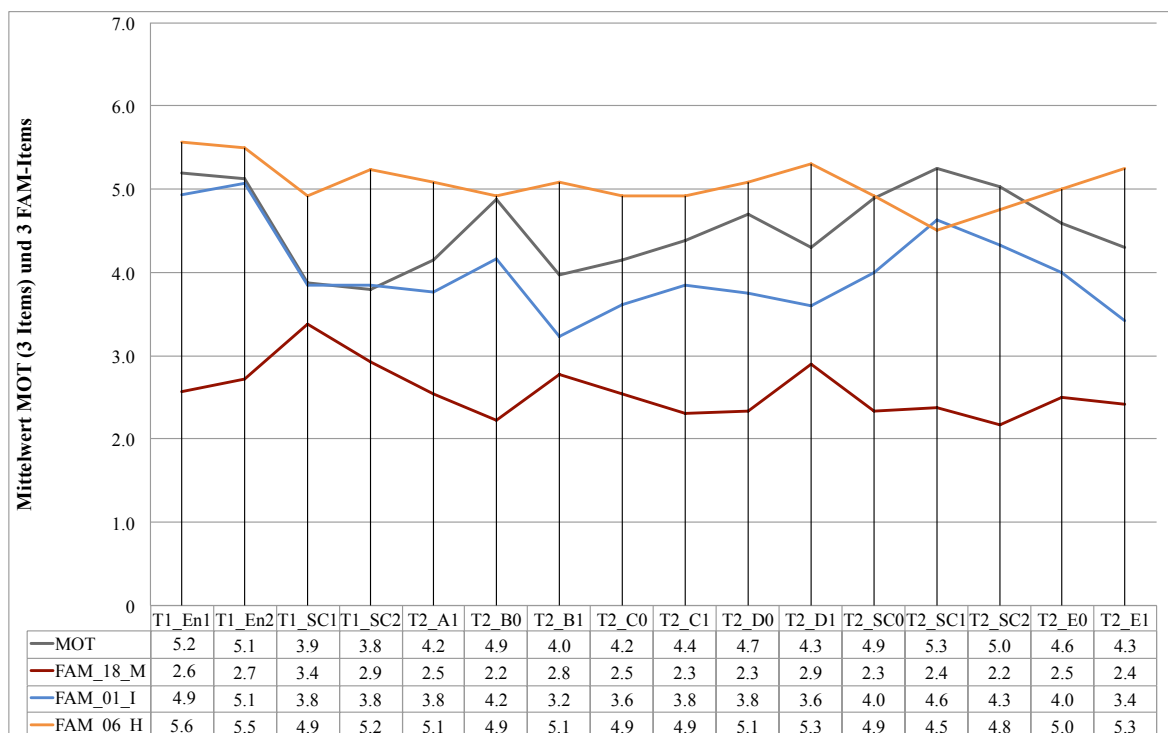


Abb. 44: Änderung der Lernmotivation (MOT) und der drei FAM-Items (M, I, H) während und nach der Aufgabenbearbeitung über 16 Messzeitpunkte

## 12.2 Auswertung des SC-Fachtests und des C-Tests zur Bestimmung der Vorkenntnisse der Vpn

Der SC-Fachtest und der C-Test werden eingesetzt, um global die fachlichen und englischsprachlichen Voraussetzungen der Vpn zu bestimmen. Von einer differenzierten Betrachtung der Testitems wird abgesehen. Das wären im SC-Fachtest die Items gewesen, die einen höheren Theoriebezug und damit einen stärkeren inhaltlichen Bezug zu den Aufgabenkomplexen der Hauptuntersuchung haben. Die Ergebnisse der sehr differenzierten Analyse der Daten in den Aufgabenkomplexen sind allerdings aussagekräftig genug, sodass es für den Zweck der Methodentriangulation ausreicht, der Gesamtscore des SC-Fachtests in die Ergebnisdarstellung einzubeziehen. Dasselbe gilt für den C-Test, der aus einem allgemeinsprachlichen und einem diskursspezifischen Teil besteht. Auch hier ist eine differenzierte Betrachtung der Ergebnisse nach allgemeinsprachlichem und einem diskursspezifischen Teil aus oben genannten Gründen nicht erforderlich.

Die Auswertung der Test-Items von SC-Fachtest und C-Test erfolgt in gleicher Weise wie in der Pilotierung. Beim SC-Fachtest, wie bereits im Kap. 11.2.3 (S. 142) ausgeführt, wird jedes Test-Item mit den Punktwerten 0 (falsch) und 1 (richtig) bewertet. Anschließend wird ein Gesamtscore ermittelt, indem die Anzahl richtig beantworteter Testitems ins Verhältnis zur Gesamtzahl der Items (hier 21) gesetzt wird.

Beim C-Test werden wie in der Pilotierung (s. Kap. 11.3.3.22, S. 148) nur die Eintragungen in den Lücken des C-Tests als richtig gewertet, die sowohl orthographisch als auch grammatikalisch vollständig richtig sind. Somit werden pro Lücke nur die Punktwerte 1 (für vollständig richtig) und 0 (für teilweise richtig, falsch oder gar nicht ausgefüllt) vergeben (s. Tab. A 40, S. 554).

Für beide Tests wurde je eine Reliabilitätsanalyse zur Bestimmung der Gütekriterien wie Cronbachs Alpha-Wert, Schwierigkeitsgrad und Trennschärfe vorgenommen.

### 12.2.1 Reliabilitätsanalyse des SC-Fachtests der Fallstudie

Die Auswertung zeigt die Ergebnisse der 13 Vpn der Fallstudie, die am zweiten Teil der Hauptuntersuchung teilgenommen haben. Die Gütekriterien sind bei dieser Stichprobe ebenso gut wie in der Pilotierung (s. Kap. 11.2.4, S. 143). Der Maximalwert pro Item ist 1.

Tab. 51: Reliabilität und Item-Mittelwerte für 18 Items des SC-Tests (prä) der Fallstudie ( $n=13$ )

| $N$ | Anzahl Items | Cronbachs Alpha | $P (M * 100)$ | $P_{\text{Min}} (M_{\text{Min}} * 100)$ | $P_{\text{Max}} (M_{\text{Max}} * 100)$ |
|-----|--------------|-----------------|---------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 13  | 18           | 0,694           | 31,2          | 7,7                                     | 61,5                                    |

Die Reliabilität (Cronbachs- $\alpha$ ) ist im Prä-Test nahezu .7 (s. Tab. 51) und damit geringfügig schlechter als in der Pilotierung. Drei Items (Nr. 9, 15 und 21) mussten aus der Skala entfernt werden, weil sie eine Varianz von Null aufwiesen. Daher beträgt die Anzahl der Items für die Reliabilitätsanalyse nur 18 statt 21. Das Gleiche ist der Fall beim SC-Fachtest (post). Hier sind es auch die Items 9 und 18 sowie das Item 19 (s. Tab. 52). Im Post-Test beträgt Cronbachs- $\alpha = .722$  und ist damit genauso gut wie in der Pilotierung (s. Tab. 54).

In allen genannten Items geht es stärker um handlungsorientierte Fragestellungen (s. Tab. 53). Es handelt sich um Items der Kompetenzstufe 2 (mittlere) oder 3 (höchste) (vgl. Frank/Bernolt/Parchmann 2016).

Tab. 52: Itemwerte der aus der Reliabilitätsanalyse entfernten Items bei den Vpn der Fallstudie

| Item | 9 (pre) | 15 (pre) | 18 (pre) | 9 (post) | 18 (post) | 19 (post) |
|------|---------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Vp01 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp02 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp03 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp04 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp05 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp06 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp07 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp08 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp09 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |

| Item | 9 (pre) | 15 (pre) | 18 (pre) | 9 (post) | 18 (post) | 19 (post) |
|------|---------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Vp10 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp11 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp12 | 1       | 0        | 0        | 1        | 0         | 0         |
| Vp13 | 1       | 0        | 0        | fehlend  | fehlend   | fehlend   |

Tab. 53: Übersicht zu Inhalten der aus der Reliabilitätsanalyse entfernten Items bei der Fallstudie

| Item-Nr | K-Stufe | Inhalte der Aufgabenstellung                                                 | Inhalte der Antwort;<br>Änderungen für Pilotierung                                                                                         |
|---------|---------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9       | 2       | Ansetzen eines LM-Gemisches                                                  | Berechnung Volumenverhältnisse                                                                                                             |
| 15      | 2       | Begründung für Detektion der Substanzen mit UV-Lampe                         | Paracetamol absorbiert UV-Licht und die eingesetzten Sprühreagenzien sind gesundheitsgefährdend.                                           |
| 18      | 3       | Ursache für schiefe Laufmittelfront                                          | Ungleiche Temperaturverteilung in der Kammer                                                                                               |
| 19      | 2       | Q-Kontrolle Kombipräparat: Überprüfung der Eignung eines Laufmittelgemisches | Schnelltest durch Auftragen der Probenlösung auf die DC-Platte und das Setzen der mit Laufmittel gefüllten Kapillare auf den Substanzfleck |

Tab. 54: Reliabilität und Item-Mittelwerte für 18 Items des SC-Tests (post) der Fallstudie ( $n=12$ )

| $N$ | Anzahl Items | Cronbachs Alpha | $P (M * 100)$ | $P_{\text{Min}} (M_{\text{Min}} * 100)$ | $P_{\text{Max}} (M_{\text{Max}} * 100)$ |
|-----|--------------|-----------------|---------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 12  | 18           | 0.722           | 48.1          | 8.3                                     | 83.3                                    |

### 12.2.2 Reliabilitätsanalyse des C-Tests der Fallstudie

Die Gütekriterien des C-Tests sind auch hier besonders gut. Der Maximalwert pro Item beträgt 25 (Anzahl der Lücken pro Textabsatz). Der Schwierigkeitsgrad ( $P$ ) ist der Quotient aus Item-Mittelwert und der maximalen Anzahl Lücken pro Absatz x 100.

Tab. 55: Ergebnisse der Konsistenzanalyse des C-Tests der Fallstudie mit 11 Items

| $N$ | Anzahl Items | Cronbachs Alpha | $P$                    | $P_{\text{Min}}$       | $P_{\text{Max}}$       |
|-----|--------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 14  | 11           | 0.952           | $19.136/25*100 = 76.5$ | $15.071/25*100 = 60.3$ | $22.214/25*100 = 88.9$ |

$N$ : Häufigkeit;  $P$ : Schwierigkeitsgrad

Die Reliabilität ist mit Cronbachs- $\alpha = .952$  sehr gut. Der Schwierigkeitsgrad des C-Tests ist für die Vpn zu gering. Mit  $60.3 < P < 88.9$  streut die Skala über den oberen Bereich (s. Tab. 55). Der untere Wert von 60.3 verdeutlicht, dass der Test für die Vpn eher zu leicht war. Auch die Trennschärfe der einzelnen Items (Absätze) ist sehr hoch. Die meisten Trennschärfekoeffizienten liegen oberhalb von .8. Ausnahmen mit Werten zwischen .6 und .4 sind die Texte S1 ( $TS=0.630$ ), C1 ( $TS=0.777$ ) und C2 ( $TS=0.493$ ).

Tab. 56: Schwierigkeitsgrad des C-Tests der Fallstudie – Trennschärfeeffizient mit 11 Items

| Item     | S1    | S2    | 1     | 2     | 3     | 4     | C1    | C2    | C4    | C6    | C10   |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TS       | 0.630 | 0.879 | 0.884 | 0.850 | 0.841 | 0.931 | 0.777 | 0.493 | 0.810 | 0.837 | 0.817 |
| $\alpha$ | 0.952 | 0.943 | 0.943 | 0.945 | 0.947 | 0.941 | 0.95  | 0.956 | 0.946 | 0.946 | 0.946 |

TS: Trennschärfe;  $\alpha$ : Cronbachs Alpha-Wert, wenn Item weggelassen wird

Abschließend werden die beiden Mittelwerte der allgemeinsprachlichen und der diskurs-spezifischen Items verglichen. Für den Vergleich der beiden Mittelwerte wird der Wilcoxon-Test angewandt. Die Teststatistik beim Vergleich der beiden Mittelwerte des C-Tests beträgt  $z = -1.727$  und der zugehörige Signifikanzwert  $p = .084$ . Anders als in der Pilotierung ist damit der Mittelwert des allgemeinsprachlichen Teils des C-Tests in der Stichprobe der Fallstudie nicht signifikant höher (*Median* = 19.7) als der des diskurspezifischen Teils (*Median* = 19.0; asymptotischer Wilcoxon-Test:  $z = -1.727$ ,  $p = .084$ ,  $n = 14$ ). Über dieses Ergebnis ist die Entscheidung, für die Gesamtauswertung der Fallstudie nur das Gesamtscore des C-Tests zu verwenden, zusätzlich gerechtfertigt.

### 12.3 Auswertung der Aufgabenkomplexe des Lehr-Lernkonzeptes der Fallstudie

Aufgrund der Vielfalt der Aufgaben in den Aufgabenkomplexen muss ein Auswertungsverfahren gefunden werden, über das die Daten der Vpn nach inhaltlichen, fachdidaktischen und anwendungsorientierten Gesichtspunkten analysiert, verglichen und bewertet werden können. Als Verfahren wird die qualitative Inhaltsanalyse (kategoriale und skalierende) gewählt, die drei Analysenschritte umfasst. Im ersten Schritt werden die Daten der Vpn aufbereitet (s. Kap. 12.3.1). Im zweiten Schritt werden drei Kategoriensysteme entwickelt, um die Ausführungen der Vpn zu den jeweiligen Aufgaben zu analysieren nach:

- Inhaltsaspekten zur Chromatografie (betrifft die Aufgaben, 1a–c, 2c, 3EI–EIII, 4L1–L2)
- fachdidaktischen Gesichtspunkten (betrifft die Aufgaben 1d–g, 2d–g, 4L3)
- Gesichtspunkten der Anwendung des erworbenen Wissens (betrifft alle Aufgaben des fünften Aufgabenkomplexes)

Im dritten Analysenschritt werden die Daten nach den jeweiligen Gesichtspunkten analysiert und bewertet. Die Auswertung der Daten wird mit der Software MAXQDA 2018 (VERBI Software 2018) vorgenommen. Die genaue Vorgehensweise zur Aufbereitung, Analyse und Auswertung der Daten wird im Folgenden detailliert beschrieben.

### 12.3.1 Aufbereitung der Daten der Vpn für die qualitative Inhaltsanalyse

Zur Vorbereitung der Daten für die qualitative Inhaltsanalyse wurden zunächst die Daten der Vpn transkribiert. Die insgesamt 36 Concept Maps der Vpn wurden alle mit dem Programm C-Map nachgezeichnet, um so zu jedem Concept Map eine Propositionsliste zu generieren, die dann in das Transkript der jeweiligen Vp eingefügt werden konnte. Für den Import in MAXQDA wurde das Transkript als strukturiertes Dokument angelegt, sodass Segmente beim Import schon nach Aufgabenkomplex und Teilaufgabe vorcodiert waren. Für jeden der sieben Durchgänge wurde eine eigene Dokumentengruppe und für jede Vp ein Dokumentenset angelegt (s. Abb. A 16, S. 382), um später bei der Auswertung der Daten Unterscheidungen nach Durchgang und Vp vornehmen zu können.

Die Steuerbefehle des strukturierten Dokumentes werden an einem Beispiel kurz erläutert. Beim Aufruf des Befehls „Strukturiertes Dokument importieren“ in MAXQDA erscheint eine Maske mit den zur Verfügung stehenden Steuerbefehlen und deren Bedeutung. Die verwendeten Steuerbefehle sind in Tab. 57 aufgeführt.

Tab. 57: Steuerbefehle für die Erstellung strukturierter Dokumente für den Import in MAXQDA

| Steuerbefehl         | Bedeutung                                                                                             | Beispiel aus Transkript       |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| #TEXT <Textname>     | für den Beginn eines neuen Textes                                                                     | #TEXT011a Concept Map         |
| #CODE <Code>         | für den Beginn einer Codierung mit einem Code                                                         | nicht verwendet               |
| #ENDCODE             | für das Ende einer Codierung mit einem Code                                                           | nicht verwendet               |
| #CODE <Code\Subcode> | für den Beginn einer Codierung mit einem Subcode; Subcodes lassen sich durch Backslashes „\“ zuordnen | #CODE Aufgaben\1a Concept Map |
| #ENDCODE#            | für das Ende einer Codierung mit einem Subcode                                                        | #ENDCODE#                     |

Mit folgender Codierung wird z. B. ein Textdokument in MAXQDA mit der Bezeichnung „011a Concept Map“ angelegt:

```
#TEXT011a Concept Map
  #CODE Aufgaben\1a Concept Map
  Proposition 1
  Proposition 2
#ENDCODE#
```

Der Text des Dokumentes ist „Proposition 1“ und „Proposition 2“. Dieser Text wird beim Import mit dem Subcode „1a Concept Map“ codiert, der dem Code „Aufgaben“ untergeordnet ist.

Auf diese Weise wird für jede Vp und jede Teilaufgabe ein eigenes Dokument angelegt. Aus der Bezeichnung des Dokumentes „011a Concept Map“ lassen sich folgende Informationen entnehmen:

- die ersten zwei Ziffern stehen für die Vp mit der Nummerierung „01“
- die anschließende Ziffer steht für den Aufgabenkomplex (hier „1“)
- der anschließende Kleinbuchstabe spezifiziert die Aufgabe (hier „a“)
- die anschließende Bezeichnung ist ein Stichwort, mit dem auf den Inhalt der Aufgabe verwiesen wird

Also die Aufgabenbezeichnung „1a Concept Map“ steht für die Aufgabe a im ersten Aufgabenkomplex, in der ein Concept Map zu erstellen war.

Die vollständige Liste der Aufgaben und der entsprechenden Nummerierungen ist der rechten Spalte der Tab. 48 (S. 164) zu entnehmen. Alle Aufgaben, für die beim Erstellen der Transkripte einzelne Dokumente angelegt wurden, sind in Tab. 58 zusammengefasst. Bei vollständiger Bearbeitung der Aufgaben der jeweiligen Aufgabenkomplexe wären pro Vp 19 Dokumente zu erstellen, zzgl. der fünf Dokumente, wenn Vpn zu den ersten vier Aufgabenkomplexen Verständnisprobleme notiert und abschließend die Aufgaben und das Textmaterial kommentiert hätten. Letzteres war allerdings selten der Fall.

Eine Mustervorlage eines strukturierten Dokumentes zur Erstellung eines Transkripts einer Vp ist im Anhang (s. Kap. 19.4, S. 383). Insgesamt sind auf diese Weise für die 13 Vpn 217 Dokumente erstellt und anschließend analysiert worden.

Tab. 58: Liste der Aufgaben der Transkripte

| Aufgabenkomplex | Aufgabe | Inhalt der Aufgabe                                                                                                                             |
|-----------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1               | a       | Concept Map zur sachlogischen Strukturierung der Inhalte des Experimentes                                                                      |
| 1               | a       | Concept Map Ergänzung (während/nach Bearbeitung von 1b)                                                                                        |
| 1               | b       | Zusammenhänge, die Sie in Ihrer Concept Map dargestellt haben.                                                                                 |
| 1               | c       | SLS (Begriffen der Concept Map aus 1a werden Aspekte der sachlogischen Strukturierung chromatografischer Verfahren zugeordnet)                 |
| 1               | d       | Nennung Problemstellung zur Einbindung des Experimentes in den Unterricht                                                                      |
| 1               | e       | Fragen, die im Zusammenhang mit den genannten Problemstellungen/dem Experiment geklärt werden müssen                                           |
| 1               | f       | Erkenntniswege in die Exp. eingebunden wird                                                                                                    |
| 1               | g       | Aufgabenstellungen zu Varianten aus 1f                                                                                                         |
| 1               | h       | Verständnisprobleme                                                                                                                            |
| 2               | c       | Zusammenhänge zu Concept aus 1a erläutern, die richtiggestellt werden müssen                                                                   |
| 2               | d       | Nennung Problemstellung zur Einbindung des Experimentes in den Unterricht (diesmal unter Berücksichtigung der Anregungen aus dem Textmaterial) |

| Aufgabenkomplex | Aufgabe  | Inhalt der Aufgabe                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2               | e        | Fragen, die im Zusammenhang mit den genannten Problemstellungen geklärt werden müssen                                                                                                                                                                 |
| 2               | f        | Erkenntnisweg (regr.-red.: Beschreibung der Lernschritte)                                                                                                                                                                                             |
| 2               | g        | Aufgabenstellungen zu 2f                                                                                                                                                                                                                              |
| 2               | h        | Verständnisprobleme                                                                                                                                                                                                                                   |
| 3               | EI       | Concept Map zu Textabschnitt und Übertragung der Aussagen des Textabschnitts EI auf die drei Trennergebnisse.                                                                                                                                         |
| 3               | EII      | Concept Map zu Textabschnitt und Übertragung der Aussagen des Textabschnitts EII auf die drei Trennergebnisse.                                                                                                                                        |
| 3               | EIII     | Concept Map zu Textabschnitt und Übertragung der Aussagen des Textabschnitts EIII auf die drei Trennergebnisse.                                                                                                                                       |
| 3               | d        | Verständnisprobleme                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4               | L1 u. L2 | Leitfragen L1 (zwischenmolekulare Wechselwirkungen (WW), die im Experiment eine Rolle gespielt haben) und L2 (Zusammenhänge WW auf den DC-Versuch anwenden zur Erklärung Elutionskraft d. LM und Betrachtungen Polaritätsunterschiede der Farbstoffe) |
| 4               | L3       | Erkenntnisweg (progr.-red.: Beschreibung der Lernschritte zur Erarbeitung der Unterschiede zwischen RPC und NPC)                                                                                                                                      |
| 4               | L4       | Verständnisprobleme                                                                                                                                                                                                                                   |
| 5               |          | Fehlkonzepte (Analyse von Schülerantworten)                                                                                                                                                                                                           |
| Z               |          | Kommentar zu Aufgaben und dem englischen Textmaterial                                                                                                                                                                                                 |

SLS: sachlogische Strukturierung;

RPC: Umkehrphasenchromatografie; NPC: Normalphasenchromatografie

### 12.3.2 Analyse und Auswertung der Daten nach Inhaltsaspekten zur Chromatografie

Die Analyse und Auswertung der Daten nach Inhaltsaspekten zur Chromatografie ist der umfangreichste und zentrale Teil der Datenauswertung dieser Arbeit, denn aus der Analyse und Auswertung dieser Daten sollen Aussagen zu Umfang und Güte von Argumentationslinien abgeleitet werden. Die Schwierigkeit bestand in dem Finden eines Auswertungssystems, über das die Daten der Concept Maps und der übrigen Aufgaben zu Inhaltsaspekten der Chromatografie (1a–c, 2c, 3EI–EIII, 4L1–L2) nicht nur verglichen werden, sondern über das auch Erkenntnisfortschritt und Argumentationslinien visualisiert werden können.

Im Prozess der Datenaufbereitung der Concept Maps für deren Auswertung entstand die Idee, die Propositionslisten zur Standardisierung der Concept-Map-Daten der Vpn zur Erstellung eines Kategoriensystems zu nutzen, mit dem dann auch die Daten der übrigen Aufgaben zu Inhaltsaspekten der Chromatografie (1b–c, 2b–c, 3, 4L1–L2) analysiert werden können. Auf diese Weise werden die unterschiedlichen Datenformate (Concept Maps und ausformulierte Aussagen zu den Aufgaben) passfähig gemacht und erlauben eine Ver-

gleichbarkeit auf Propositionsebene, die erforderlich ist, um überhaupt Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Argumentationslinien des englischen Textmaterials und der Daten der Vpn herausstellen zu können.

Die Möglichkeiten, die die Software MAXQDA 2018 (ebd.) für die Auswertung qualitativer Daten bietet, hat den Standardisierungsprozess der Daten der Vpn erheblich vereinfacht. So konnten u. a. Textsegmente, die aus mehreren Sätzen bzw. zusammengehörenden Aussagen bestanden, nach dem Vorhandensein von standardisierten Aussagen (Propositionen des Kategoriensystems in Form von Codes) analysiert werden. In der Art wie innerhalb der Software Matrices erstellt werden können, um die einem Textdokument zugewiesenen Codes darzustellen, war auch Anlass für die Entscheidung nicht für jede Vp nur ein Textdokument mit allen Aufgaben, sondern für jede einzelne Aufgabe einer jeden Vp jeweils ein Textdokument anzulegen (s. Kap. 12.3.1), denn nur so lässt sich der Erkenntnisgewinn im Zuge des Bearbeitungsfortschritts der Aufgaben darstellen.

Der sonst für die Auswertung von Concept Maps übliche Prozess des Standardisierens der Konzepte und Relationen durch kategoriale Inhaltsanalyse der Konzepte und Relationen aus den Concept Maps der Vpn blieb somit erspart. Für den Vergleich der Daten werden später bei der Ergebnisdarstellung keine Modal- und Partialnetze<sup>124</sup> generiert, sondern Code-Matrices und Code-Konfigurationstabellen. Darüber hinaus wäre das Anwenden dieses Verfahrens auf die übrigen Aufgaben zu Inhaltsaspekten der Chromatografie (1b–c, 2b–c, 3, 4L1–L2) schwieriger und auch nicht zielführend gewesen.

### 12.3.2.1 Kategoriensystem zur Auswertung der inhaltlich orientierten Aufgaben

Das Kategoriensystem<sup>125</sup> zur Auswertung der Daten aus den inhaltlich orientierten Aufgaben ergibt sich aus den Experten-Concept Maps zur dünn-schichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches (analytische Problemstellung des Lehr-Lernkonzeptes der Fallstudie) und denen zu den Begründungszusammenhängen der Textausschnitte des englischen Textmaterials im dritten Aufgabenkomplex (s. Anhang Kap. 19.2, S. 380–382). Die insgesamt vier Experten-Concept Maps wurden entsprechend der Konstruktionsprinzipien und Standardisierungsregeln (s. Kap. 12.3.2, S. 195) mit dem Programm Cmap-Tools erstellt. Sie sind jeweils aus den Concept Maps von drei Experten entstanden (der Autorin, einer wissenschaftlichen Mitarbeiterin aus der BFR LPT und der ehemaligen Studentin, mit der der Prätest der Aufgabenkomplexe durchgeführt wurde).

---

<sup>124</sup> Modalnetze bestehen aus den Propositionen, die von einem Großteil der Vpn übereinstimmend genannt werden (vgl. Fürstenau 2001: 188). Partialnetze stellen nur einen Ausschnitt eines Gesamtnetzes zu einem Thema dar (vgl. ebd.: 198).

<sup>125</sup> Der allgemeine Teil des Kategoriensystems war auch Grundlage für die Textanalysen zur Chromatografie in Düwel/Eichhorn/Niethammer (2019).



**a) Generierung der Propositionslisten aus den Experten-Concept Maps**

Aus diesen Experten-Concept Maps wurden entsprechend Propositionslisten generiert und inhaltlich nach Aspekten der sachlogischen Strukturierung der Inhalte zur Trennung und Analyse eines Stoffgemisches (s. Abb. 45, S. 192 und Tab. 62, S. 193) systematisiert. Für die inhaltliche Systematisierung mussten die Propositionslisten entsprechend aufbereitet werden. Dazu wurden sie zunächst in eine tabellarische Form gebracht, deren Spaltenbezeichnungen in Tab. 59 definiert sind.

Die erste Spalte indiziert, aus welcher Quelle die jeweiligen Propositionen stammen. Diese Unterscheidung war nur in der Anfangsphase notwendig, als die Experten-Concept Maps von den drei oben genannten Experten zusammengeführt wurden. Diese Unterscheidung ist in der finalen Version des Kategoriensystems nicht mehr notwendig, weshalb die Spalte in der Tabelle im Anhang (s. Tab. A 10, S. 387) nicht mehr auftaucht.

Tab. 59: Spaltenbezeichnungen der Tabelle mit den Propositionen aus den Experten-Concept Maps

| Spaltenbezeichnung       | Definition                                                      |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Code_Vp                  | Zuordnung von wessen Concept Map Proposition stammt             |
| Aufgabe                  | Zuordnung der Aufgabe, aus der Proposition stammt               |
| Code_Kette               | Kennnummer der Propositionskette                                |
| Prop.-art                | Propositionsart (statisch oder dynamisch)                       |
| Vorbereichskonzept (VK)  | Konzept vor der Relation                                        |
| Spezifikation für VK     | Spezifikation für Vorbereitungskonzept                          |
| Grundrelation            | Bezeichnung der Beziehung zwischen Vor- und Nachbereichskonzept |
| Spezifikation für NK     | Spezifikation für Nachbereichskonzept                           |
| Nachbereichskonzept (NK) | Konzept nach der Relation                                       |

**b) Spezifikationen der Vor- und Nachbereichskonzepte**

Da Vor- und Nachbereichskonzepte teilweise zu spezifizieren waren, wurden diese Spezifikationen in den Relationen berücksichtigt. Die Relationen wurden in drei Spalten aufgeteilt: Spezifikation für Vorbereitungskonzept (VK), Grundrelation und Spezifikation für Nachbereichskonzept (NK). Die Spezifikationen sind Adverbien und Adjektive, die sich auf die Merkmalsausprägung des jeweiligen VK oder NK beziehen. Adjektive werden nicht gebeugt, um sie zu vereinheitlichen.

| VK         | Spezifikation für VK | Grundrelation  | Spezifikation für NK | NK          |
|------------|----------------------|----------------|----------------------|-------------|
| Buttergelb |                      | hat mit Toluol | hoch                 | Laufstrecke |

Sprachlich würde „groß“ oder „weit“ besser zu Laufstrecke passen (kollokieren), aber zur Vereinheitlichung der Spezifikationen wurde „hoch“ verwendet. Da bei den Betrachtungen der Ergebnisse die Relation zweier Begriffe oft an Verhaltensbedingungen (z. B. „mit Toluol“) geknüpft ist, werden diese der Relation zugeordnet. Die Zusammensetzungen der Relationen können der Tabelle im Anhang (s. Tab. A 10, S. 387) entnommen werden.

Zusammenfassend werden die Strukturmerkmale (Polarität, zwischenmolekulare Wechselwirkungen [WW]), Eigenschaften (Löslichkeit) und substanzspezifische Verhaltensmerkmale (Retention, Laufgeschwindigkeit,  $R_F$ -Wert, k-Wert, Stoffmenge in stationärer Phase) unterschiedlicher Ausprägung folgendermaßen abgestuft:

Tab. 60: *Abstufung der Merkmalsausprägungen für Strukturmerkmale, Eigenschaften und substanzspezifisches Verhalten*

|                                 | Stufe 1     | Stufe 2 | Stufe 3 | Stufe 4 | Stufe 5   |
|---------------------------------|-------------|---------|---------|---------|-----------|
| Polarität                       | sehr gering | gering  | mittel  | hoch    | sehr hoch |
| WW                              | sehr gering | gering  | mittel  | hoch    | sehr hoch |
| Löslichkeit                     | sehr gering | gering  | mittel  | hoch    | sehr hoch |
| Elutionskraft                   | sehr gering | gering  | mittel  | hoch    | sehr hoch |
| Retention                       |             | gering  | mittel  | hoch    |           |
| Laufstrecke                     |             | gering  | mittel  | hoch    |           |
| $R_F$ -Wert                     |             | gering  | mittel  | hoch    |           |
| k-Wert                          |             | gering  | mittel  | hoch    |           |
| Stoffmenge in stationärer Phase |             | gering  | mittel  | hoch    |           |
| Stoffmenge in mobiler Phase     |             | gering  | mittel  | hoch    |           |
| Laufgeschwindigkeit             |             | gering  | mittel  | hoch    |           |

Da bei substanzspezifischem Verhalten nur drei Substanzen in Betracht kommen, ist nur eine dreigliedrige Abstufung erforderlich. In der Verallgemeinerung bei der Betrachtung des Wirkprinzips werden nur die zwei Extreme „hoch polar“ und „gering polar“ für Analyt, Laufmittel und (Ad)Sorbens betrachtet. Bei der Betrachtung der Verhaltensbedingungen müssen nur drei Laufmittel berücksichtigt werden, dass bei der Laufgeschwindigkeit ebenfalls eine dreigliedrige Abstufung ausreicht. Bei Elutionskraft wird die fünfstufige Einteilung beibehalten und die Einstufung der Laufmittel entsprechend ihrer Stellung in der eluotropen Reihe für Silicagel vorgenommen. Die bei der dünnenschichtchromatografischen Trennung beteiligten Stoffe werden somit wie folgt eingestuft:

Tab. 61: Merkmalsausprägungen der an der dünnsschichtchromatografischen Trennung beteiligten Stoffe

|                                                      | Stufe 1<br>sehr gering                        | Stufe 2<br>gering                                           | Stufe 3<br>mittel                      | Stufe 4<br>hoch                          | Stufe 5<br>sehr hoch                        |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Polarität                                            | Hexan<br><br>Kohlen-<br>wasserstoff-<br>kette | Toluol<br>Buttergelb<br>Azo- u.<br>Dimethyl-<br>aminogruppe | Sudanrot G                             | Propanol<br>Indophenol<br>Iminogruppe    | Silicagel<br><br>Hydroxyl- u.<br>Ketogruppe |
| WW                                                   | van der<br>Waals-Kräfte                       | van der<br>Waals-Kräfte                                     | $\pi$ - $\pi$ -Transfer-<br>Kräfte     | Dipol-Dipol                              | H-Brücken-<br>bindung                       |
| WW mit Silcagel                                      | Hexan                                         | Toluol<br>Buttergelb                                        | Sudanrot G                             | Propanol<br>Indophenol                   |                                             |
| WW mit Hexan                                         | Indophenol                                    | Buttergelb<br>Sudanrot G                                    |                                        |                                          |                                             |
| WW mit Toluol                                        |                                               |                                                             | Buttergelb<br>Sudanrot G<br>Indophenol |                                          |                                             |
| WW mit Propanol                                      |                                               | Buttergelb                                                  | Sudanrot G                             | Indophenol                               |                                             |
| Löslichkeit in Hexan                                 | Indophenol                                    | Buttergelb<br>Sudanrot G                                    |                                        |                                          |                                             |
| Löslichkeit in Toluol                                |                                               |                                                             | Buttergelb<br>Sudanrot G<br>Indophenol |                                          |                                             |
| Löslichkeit in Propanol                              |                                               | Buttergelb                                                  | Sudanrot G                             | Indophenol                               |                                             |
| Elutionskraft bei NP <sup>126</sup>                  | Hexan                                         | Toluol                                                      |                                        | Propanol                                 |                                             |
| Retention bei NP                                     | Hexan                                         | Toluol                                                      | Sudanrot G                             | Propanol                                 |                                             |
|                                                      |                                               | Buttergelb                                                  |                                        | Indophenol                               |                                             |
|                                                      |                                               | gering pola-<br>rer Analyt                                  |                                        | hoch polarer<br>Analyt                   |                                             |
| Laufstrecke bei NP                                   |                                               | Indophenol                                                  | Sudanrot G                             | Buttergelb                               |                                             |
|                                                      |                                               | hoch polarer<br>Analyt                                      |                                        | gering pola-<br>rer Analyt               |                                             |
| R <sub>F</sub> -Wert bei NP mit Toluol               |                                               | Indophenol<br>hoch polarer<br>Analyt                        | Sudanrot G                             | Buttergelb<br>gering pola-<br>rer Analyt |                                             |
| k-Wert bei NP mit Toluol                             |                                               | Buttergelb<br>gering pola-<br>rer Analyt                    | Sudanrot G                             | Indophenol<br>hoch polarer<br>Analyt     |                                             |
| Stoffmenge in stationärer Phase<br>bei NP mit Toluol |                                               | Buttergelb<br>gering pola-<br>rer Analyt                    | Sudanrot G                             | Indophenol<br>hoch polarer<br>Analyt     |                                             |

<sup>126</sup> Elutionskraft wird wie bei der Laufgeschwindigkeit nur für polare stationäre Phasen (NP) betrachtet.

|                                                          | Stufe 1<br>sehr gering | Stufe 2<br>gering                 | Stufe 3<br>mittel | Stufe 4<br>hoch                     | Stufe 5<br>sehr hoch |
|----------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Stoffmenge in mobiler Phase bei NP mit Toluol            |                        | Indophenol<br>hoch polarer Analyt | Sudanrot G        | Buttergelb<br>gering polarer Analyt |                      |
| Laufgeschwindigkeit bei NP <sup>127</sup>                |                        | Propanol                          | Toluol            | Hexan                               |                      |
| Retention bei RP <sup>128</sup>                          |                        | hoch polarer Analyt               |                   | gering polarer Analyt               |                      |
| Laufstrecke bei RP                                       |                        | gering polarer Analyt             |                   | hoch polarer Analyt                 |                      |
| R <sub>F</sub> -Wert bei RP u. guter Trennung            |                        | gering polarer Analyt             |                   | hoch polarer Analyt                 |                      |
| k-Wert bei RP u. guter Trennung                          |                        | hoch polarer Analyt               |                   | gering polarer Analyt               |                      |
| Stoffmenge in stationärer Phase bei RP u. guter Trennung |                        | hoch polarer Analyt               |                   | gering polarer Analyt               |                      |
| Stoffmenge in mobiler Phase bei RP u. guter Trennung     |                        | gering polarer Analyt             |                   | hoch polarer Analyt                 |                      |

Bei dem Experiment sind Propanol hoch polar, Toluol gering polar und Hexan sehr gering polar. Da die Farbstoffe insgesamt lipophil sind, aber sich dennoch in ihrer Polarität durch unterschiedlich polare funktionelle Gruppen unterscheiden, werden Indophenol als hoch polar, Sudanrot als mittelpolar und Buttergelb als gering polar eingestuft. Bei dem englischen Textausschnitt EII wird von „non-polar“ vs. „more polar solvents“ gesprochen. Die englische Übersetzung für „non-polar“ ist „unpolar“ und wird mit der Proposition „sehr gering Polarität“ standardisiert. Bei Laufstrecke werden der Vereinheitlichung wegen ebenfalls die Merkmalsausprägungen „hoch“, „mittel“ und „gering“ verwendet, auch wenn „lang“, „mittellang“ und „kurz“ sprachlich besser passen würden. Fehlt eine Relation wird „hängt zusammen mit“ eingesetzt.

Bei Propositionen, die sich auf Verhaltensbedingungen und dem daraus resultierenden Trennergebnis beziehen, muss der Begriff „Verhaltensbedingung“ nicht unbedingt explizit genannt werden.

### c) Eliminierung von doppelt vorkommenden Propositionen

Um Doppelungen herauszufiltern, mussten alle Konzepte und Relationen aus den Experten-Concept Maps standardisiert werden. Grundlage dafür waren die Basislexika, in denen festgelegt wurde, welche Konzepte, Spezifikationen der Konzepte und Relationen nur verwendet werden. Propositionen aus den Experten-Concept Maps, deren Konzepte und

<sup>127</sup> Laufgeschwindigkeit wird nur bei den Ergebnissen der dünnschichtchromatografischen Trennung des Farbstoffgemisches betrachtet, also mit polarer stationärer Phase (NP). Bei RP würden eher wässrige polare mobile Phasen eingesetzt, dass die Betrachtung der Laufgeschwindigkeit der Laufmittel dazu nicht berücksichtigt wird.

<sup>128</sup> RP steht für eine stationäre Phase, die eine geringere Polarität als die mobile Phase hat.

Relationen von den Basiskonzepten und -relationen abgewichen sind, wurden entsprechend transformiert. Die Propositionen wurden anschließend nach den Spalten der Vorbereichskonzepte, der Grundrelationen und den Nachbereichskonzepten in der genannten Reihenfolge alphabetisch sortiert. Doppelt vorkommende Propositionen konnten so schnell erkannt und entsprechend entfernt werden.

#### d) Sortierung der Propositionen nach Inhaltsaspekten der sachlogischen Strukturierung

Anschließend wurden die standardisierten Propositionen nach Inhaltsaspekten der sachlogischen Strukturierung (s. Abb. 45, S. 192) sortiert. Jeder Hauptkategorie wurden die dazugehörigen Propositionen untergeordnet. Innerhalb der Hauptkategorien wurden miteinander in Beziehung stehende Propositionen, die Teil einer Argumentationslinie bzw. eine Argumentationslinie eines kleinen Inhaltsausschnittes darstellen, nach untergeordneten Themen zusammengefasst, den sogenannten Propositionsketten (s. Tab. 62). Propositionen einer Propositionskette bauen in einer logischen Folge aufeinander auf.

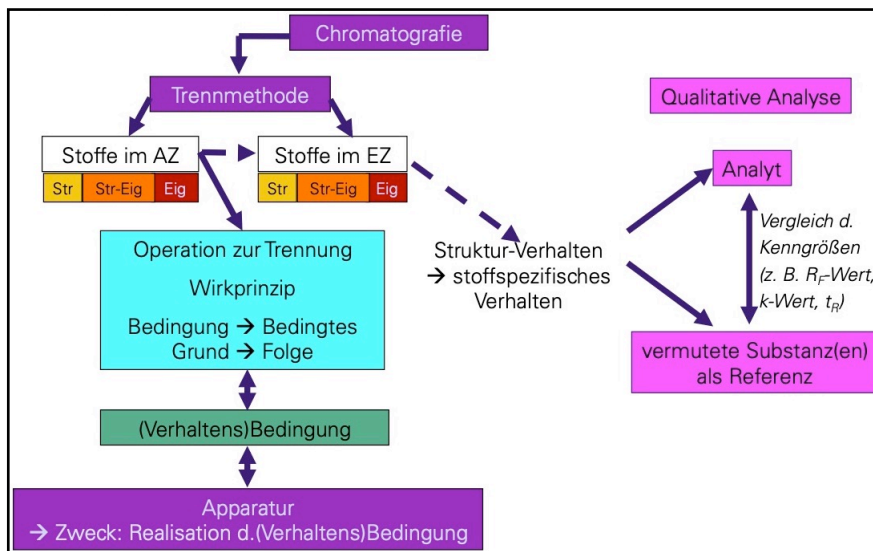


Abb. 45: Kategorien der sachlogischen Strukturierung zur chromatografischen Trennung eines Stoffgemisches (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019; vgl. Storz/Wirsing 1987; Niethammer 2006)

Die so gebildeten Propositionsketten mit den jeweils zugeordneten Propositionen sind die Untersetzung der verschiedenen Argumentationslinien, die für die Erläuterung der analytischen Problemstellung (DC-Trennung eines lipophilen Farbstoffgemisches) benötigt werden. Dazu gehören die Stoffe mit ihren Struktur-Eigenschaftsbeziehungen im Ausgangs- und Endzustand sowie das unter ausgewählten Bedingungen zu beobachtende substanzspezifische Verhalten der Stoffe, über das die analytische Problemstellung zur Trennung des Farbstoffgemisches beantwortet werden kann. Um die Veränderungen an den Stoffen (dem Farbstoffgemisch) unter den erforderlichen Bedingungen vornehmen zu können, sind Arbeitsmittel erforderlich, die unter dem Gesichtspunkt des apparativen Aufbaus betrachtet werden.

Tab. 62: Kategoriensystem nach den Inhaltsaspekten der sachlogischen Strukturierung zur chromatografischen Trennung eines Stoffgemisches

| 01 Verfahren (V)                                                                                                | 02 Verhaltensbedingungen (B)                                                                                                                                                                                                                                                                                | 03 Analyt (A)                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 04 qualitative Analyse (Q)                               | 05 Wirkprinzip (W)                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Definition<br>Arbeitsmittel<br>– DC-Platte<br>– Entwicklungskammer mit Laufmittel<br>Applikationsform<br>Analyt | Verhaltensbedingungen bei der Entwicklung des Chromatogramms mittels DC<br>– Entwicklungszeit<br>– Laufstrecke<br>– Laufmittel<br>– Polarität Silicagel<br>– Polarität Laufmittel<br>Auswirkung d. Laufmittel auf Trennergebnis<br>– Stärke der Wechselwirkungen d. LM mit Silicagel<br>– Güte der Trennung | Benennung der Analyten u. Vergleichssubstanz sowie verwendetes Lösungsmittel<br>Charakterisierung der Analyten u. der mit dem Analyten in WW tretenden Stoffe (Laufmittel u. stationäre Phase)<br>– Strukturmerkmale<br>– Polarität<br>– Stärke WW d. Analyten mit Silicagel<br>– Löslichkeit in Hexan, Propanol, Toluol | Trennergebnisse<br>– Kenngrößen<br>– Stoffidentifikation | Trennprinzip Adsorption und WW zwischen<br>– Adsorbens<br>– Laufmittel<br>– Analyt<br>Elutionswirkung<br>Laufmittel<br>allg. Struktur-Eigenschaftsbeziehungen<br>Charakterisierung möglicher WW<br>– Dipol-Dipol<br>– H-Brückenbindung<br>– $\pi$ - $\pi$ -Transferkräfte<br>– van der Waals-Kräfte |

Die Relationen zwischen der stofflichen, operationellen und apparativen Seite umfassen sowohl Aspekte der äußeren Prozessbeschreibung als auch Zusammenhänge zur Charakterisierung der ablaufenden physikalischen Vorgänge oder chemischen Reaktionen, wodurch das Wirkprinzip bzw. der Mechanismus untersetzt wird.

Je nach Anspruch des Aussagegehalts einzelner Propositionen wurden die Relationen nach statisch (z. B. ist und hat) und dynamisch (z. B. bewirkt, begründet, bestimmt) unterschieden (vgl. Gehl 2013: 122), die bei der Auswertung zwar nicht unterschiedlich gewichtet werden, aber verdeutlichen, dass als dynamisch charakterisierte Aussagen in der Argumentation einen höheren Stellenwert haben.

Die ersten vier Hauptkategorien stehen im engen Zusammenhang mit der dünnsschichtchromatografischen Trennung des Farbstoffgemisches. Die fünfte Hauptkategorie umfasst Propositionen, die in den Erklärungen des englischen Textmaterials enthalten sind und für die Interpretation der Versuchsergebnisse erforderlich sind. Wesentlich ist dabei die Einordnung der möglichen Wechselwirkungsbeziehungen zwischen Analyten, Laufmittel und stationärer Phase und der damit verbundenen Elutionswirkung unterschiedlich polarer Laufmittel. Auch wenn Propositionsketten sehr feingliedrig nach Inhaltsaspekten der sachlogischen Strukturierung festgelegt wurden, sind bei der Auswertung komplexerer Begründungszusammenhänge auch Kombinationen von Propositionen unterschiedlicher Ketten zu berücksichtigen (s. Kap. 12.3.a, S. 197).

**e) Gesamtumfang des Kategoriensystems und Kennzeichnung der Propositionen**

Das Kategoriensystem besteht aus fünf Hauptkategorien, 41 Propositionsketten und 300 Propositionen. Es wurde mehrmals von zwei Experten begutachtet und insgesamt elfmal überarbeitet. Für eine bessere Handhabbarkeit des Kategoriensystems bei der Datenanalyse wurde für jede Proposition eine Kennnummer festgelegt, über die die Zuordnung der Proposition zur jeweiligen Hauptkategorie und Propositionskette ablesbar ist. In Tab. 63 wird das an zwei Propositionsketten der Hauptkategorie „01 Verfahren“ veranschaulicht.

Die Hauptkategorie „01 Verfahren“ besteht aus insgesamt vier Propositionsketten, von denen zwei in Tab. 63 abgebildet sind. Die Propositionsketten sind fortlaufend nummeriert. „K“ steht für „Kette“, dann folgen zwei Stellen für die Nummerierung der Kette und der Anfangsbuchstabe der Hauptkategorie (hier „V“ für „Verfahren“). Danach folgt der Titel der Propositionskette, unter dem die inhaltlich damit im Zusammenhang stehenden Propositionen subsumiert sind.

Tab. 63: Systematik des Kategoriensystems für die kategoriale Inhaltsanalyse

| Hauptkategorie (Obercode) | Propositionskette (erster Subcode)       | Proposition (zweiter Subcode)                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01 Verfahren              | K00V_Anwendungszweck_Chromatografiearten | K00V_01 Analyt untersuchen auf Verunreinigung<br>K00V_02 Verhaltensbedingung f. HPLC durch DC<br>K00V_03 Reinigung von Analyten/Stoffgemischen<br>K00V_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie<br>K00V_05 Hochleistungsflüssigkeitschromatografie ist Chromatografie |
|                           | K01V_Definition                          | K01V_01 Chromatografie ist Verfahren<br>K01V_02 Verfahren zur Trennung<br>K01V_03 Verfahren zur Analyse<br>K01V_04 Analyse durch Stoffidentifikation<br>K01V_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch<br>K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt                              |

Die erste Propositionskette „K00V\_Anwendungszweck\_Chromatografiearten“ besteht aus fünf Propositionen, deren Kennnummer mit der Kennnummer der Propositionskette beginnt, gefolgt von einem Unterstrich, der Nummerierung und der Bezeichnung der jeweiligen Proposition.

Im Zuge der Datenanalyse waren weitere Nachbesserungen des Kategoriensystems notwendig, dass zu manchen Propositionsketten noch Propositionen hinzugefügt werden mussten, um die inhaltlichen Feinheiten in den Aussagen der Vpn möglichst vollständig abzubilden. Das hatte zur Folge, die Propositionen einer Kette neu zu nummerieren. In drei Fällen wurde von der üblichen Nummerierung etwas abgewichen. Das betrifft die Propositionen zu den Laufmitteln Hexan, Propanol und Toluol (s. Tab. 64; zur Begründung der Einführung dieser Codes, s. Kap. 19.6.3.11, S. 413).

Tab. 64: Differenzierungen der Propositionen zu Wechselwirkungen der Laufmittel Hexan, Propanol und Toluol mit den Analyten

|                                                   |                                                         |                                                  |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| K05B_04 Hexan hat WW mit Analyt                   | K06B_05 Propanol hat WW mit Analyt                      | K07B_05 Toluol hat WW mit Analyt                 |
| K05B_04a Hexan hat ge/keine WW mit Analyt         | K06B_05a Propanol hat mittel/hoch WW mit Analyt         | K07B_05a Toluol hat mittel WW mit Analyt         |
| K05B_04b Analyt hat in Hexan ge/keine Löslichkeit | K06B_05b Analyt hat in Propanol mittel/hoch Löslichkeit | K07B_05b Analyt hat in Toluol mittel Löslichkeit |

Die allgemein gehaltene Proposition zu Wechselwirkungen des Laufmittels mit dem Analyten, über die auch die Löslichkeit des Analyten im Laufmittel begründet werden kann, wurde um die mit a und b gekennzeichneten Propositionen ergänzt. Das methodische Vorgehen bei der Datenanalyse und die damit verbundenen Schwierigkeiten werden im Folgenden an Beispielen erläutert.

#### 12.3.2.2 Standardisierung der Propositionen der Concept Maps und der Antworten zu den Aufgaben der Aufgabenkomplexe durch qualitative Inhaltsanalyse

Grundlage für die Standardisierung der aufbereiteten Daten von Concept Maps und Antworten zu den Aufgaben 1a–c, 2a–c, 3, 4L1–L2 ist das in Kap. 12.3.2.1 (S. 187) beschriebene Kategoriensystem. Dazu wurde das Kategoriensystem in MAXQDA in der in Kap. 12.3.2.1 beschriebenen Systematisierung eingepflegt. Unter dem Obercode „Propositionen“ wurden die fünf Hauptkategorien 01 Verfahren (V), 02 Verhaltensbedingungen (B), 03 Analyt (A), 04 qualitative Analyse (Q) und 05 Wirkprinzip (W) als erste Subcodes angelegt. Die nächste Hierarchieebene der Subcodes sind die zu den jeweiligen Hauptkategorien zugehörigen Propositionsketten. Die unterste Hierarchieebene ist dann die Ebene der Propositionen. Zusätzlich wurden die Codes entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu Teilaspekten der sachlogischen Strukturierung farblich markiert. Die Farben wurden wie in Abb. 45 (S. 192) gewählt.

Für die Codierungen wurden Codierregeln erstellt, die im Laufe der Codierungen präzisiert wurden. Zur Überprüfung der Codierungen und Optimierung des Code-Buches wurden die Concept Maps und Texte einer Vp von der Autorin und einer zweiten unabhängigen Person, die über das nötige Expertenwissen verfügte, codiert. Über den Intra- und Inter-codervergleich wurden abweichende Codierungen in einer Liste der Codings kommentiert, wie die Codierung in den abweichenden Fällen vorzunehmen ist. Danach wurden das Codebuch und die Codierungen abschließend überarbeitet. Eine wichtige Erkenntnis in diesem Prozess war, dass in Zusammenhang stehende Propositionen in Concept Maps bzw. Aussagen der ausformulierten Antworten zu den Aufgaben als Segment codiert werden, damit der Kontext der Propositionen und Aussagen immer nachvollziehbar ist, wenn die Zuordnung von Codes im Nachhinein überprüft wird.

Die weiteren Codierungen erfolgten nach den im Codebuch festgelegten Codierregeln (s. Anhang Kap. 19.7.1, S. 421), die im Laufe der Datenanalyse weiter präzisiert wurden. Als Hilfestellung wurden Diskussionsfälle aus dem Inter-codervergleich als Ankerbeispiele



angelegt, in denen die Codierung und Interpretation der Textsegmente erläutert werden (s. im Anhang Kap. 19.7.2, S. 424). Die Beispiele sind in der Logik der zu diskutierenden Inhaltsaspekte der chromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches sortiert:

- Kap. 19.7.2.1 (Beschreibung und Begründung der Trennergebnisse, S. 424–439)
- Kap. 19.7.2.2 (Beschreibung der Kenngrößen, S. 439–444)
- Kap. 19.7.2.3 (Beschreibung der Verhaltensbedingungen, S. 444–454)
- Kap. 19.7.2.4 (Betrachtung der Elutionsstärke von Laufmitteln, S. 454–464)
- Kap. 19.7.2.5 (Betrachtungen der unterschiedlichen zwischenmolekularen Wechselwirkungen, S. 464–474)
- Kap. 19.7.2.6 (Erklärung Wirkprinzip, S. 474–480)

Die Vorgehensweise zur Absicherung einer konsistenten Codierung wird im Anhang erläutert (s. Anhang Kap. 19.6, S. 400).

### 12.3.2.3 Bewertung des Erkenntnisgewinns

Die Unterschiede in den Argumentationslinien des englischen Textmaterials und der Vpn werden anhand von zwei Darstellungsformen herausgearbeitet, die das Programm MAXQDA 2018 (VERBI Software 2018) bietet. Die eine Darstellungsform ist eine Code-Matrix, die andere eine Code-Konfiguration. Die Code-Matrix wird zu jedem der Inhaltsausschnitte erstellt. Hierbei wird zunächst das Vorkommen der Codes unter Berücksichtigung aller Dokumente der Vpn zu den Aufgaben 1a–c, 2c, 3EI–EIII, 4L1–L2 und aller Textausschnitte des englischen Textmaterials betrachtet (s. Tab. 91, S. 241, Tab. 95, S. 248, Tab. 99, S. 254, Tab. 104, S. 261, Tab. 105, S. 263). Aus der Code-Matrix lässt sich der Abdeckungsgrad (rel. *H*) der einzelnen Codes über alle analysierten Dokumente hinweg (rechte Spalte) wie auch der einzelnen Codes für jede einzelne Vp bzw. das englische Textmaterial (letzte Zeile) ablesen.

Qualitative Unterschiede in den Argumentationslinien der Texte der Vpn können daran festgemacht werden, wie viele Codes (Propositionen) in einem Segment auftreten und inwiefern diese miteinander verknüpft sind (s. Beispiel einer vollständigen Argumentationslinie in Tab. 65, S. 197). Anzahl und Verknüpfung der Codes geben Aufschluss darüber, inwieweit Zusammenhänge – im Sinne gültiger und schlüssiger Argumente – dargelegt werden.

Um diese qualitativen Unterschiede in den Ausführungen der 13 Vpn der Fallstudie herauszustellen, werden die Code-Konfigurationen innerhalb der codierten Dokumente analysiert (s. Tab. 92, S. 243, Tab. 96, S. 250, Tab. 101, S. 256). Aus den Code-Konfigurationen kann abgelesen werden, in wie vielen Dokumenten der jeweiligen Vp welche Codes gemeinsam auftreten.

In ähnlicher Weise<sup>129</sup> wurden diese Unterschiede für das englische Textmaterial in Düwel/Eichhorn/Niethammer (2019) beschrieben und in Kap. 8.2.3 (S. 107) zusammengefasst. Bei der Auswertung der Daten der Fallstudie dieser Arbeit wurden im Unterschied zu Düwel/Eichhorn/Niethammer (ebd.) nur noch mehr Propositionen berücksichtigt, die auch für die Interpretation der dünn-schichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches relevant sind. Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, wie gut die Vpn die Sachverhalte durchdrungen haben. Je geringer die Lücken in den Code-Matrizes sind und je höher die Anzahl gleichzeitig vorkommender Codes eines Inhaltsaspektes in den Code-Konfigurationen ist, desto höher ist das fachliche Tiefenverständnis der Vpn. Damit werden Inhaltsaspekte nicht nur genannt, sondern auch in Zusammenhang gebracht. Wenn die Vpn die Argumentationslinien des Textmaterials erkannt und durchdrungen haben, sollten nicht nur die Lücken in der Code-Matrix gering, sondern auch die Anzahl gleichzeitig vorkommender Codes in der Code-Konfiguration ähnlich hoch wie im englischen Textmaterial sein.

Um den Wissenszuwachs und das Tiefenverständnis zur Thematik in Form von Code-Matrizes und Code-Konfigurationen in der beschriebenen Weise visualisieren zu können, war es wichtig, für jede Vp und jede Teilaufgabe ein eigenes Dokument sowie alle Dokumente einer Vpn in einem Set angelegt zu haben (s. Kap. 12.3.1, S. 184).

**a) Beispiel einer vollständigen Argumentationslinie zur Interpretation des Trennergebnisses mit Propanol als Laufmittel**

Für die Begründungszusammenhänge des Trennergebnisses mit Propanol setzt sich z. B. eine vollständige Argumentationslinie aus folgenden Propositionen verschiedener Propositionsketten zusammen:

Tab. 65: Beispiel einer vollständigen Argumentationslinie für die Begründungszusammenhänge des Trennergebnisses mit Propanol als Laufmittel

| Hauptkategorie         | Propositionskette      | Proposition                                               |
|------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 02 Verhaltensbedingung | K02V – AM DC-Platte    | Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase                  |
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol        | Propanol ist Laufmittel                                   |
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol        | Propanol hat Hydroxylgruppe                               |
| 02 Verhaltensbedingung | K04B – Silicagel       | Silicagel hat Hydroxylgruppe                              |
| 05 Wirkprinzip         | K20W – Adsorption Def. | Silicagel ist (Ad)Sorbens                                 |
| 05 Wirkprinzip         | K20W – Adsorption Def. | (Ad)Sorbens ist stationäre Phase                          |
| 05 Wirkprinzip         | K35W – allg. Str – Eig | Hydroxylgruppe ist funktionelle Gruppe                    |
| 05 Wirkprinzip         | K34W – allg. Str – Eig | funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal                   |
| 05 Wirkprinzip         | K34W – allg. Str – Eig | Strukturmerkmal begründet <b>Eigenschaft der Teilchen</b> |

<sup>129</sup> Bei dem Vergleich der Lehrbücher wurden Segmente (Absätze) statt Dokumente (bestehend aus mehreren Absätzen) analysiert.

| Hauptkategorie         | Propositionskette                                     | Proposition                                                                                  |
|------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 05 Wirkprinzip         | K34W – allg. Str – Eig                                | Polarität ist <b>Eigenschaft der Teilchen</b>                                                |
| 05 Wirkprinzip         | K35W – allg. Str – Eig                                | Hydroxylgruppe hat sehr hoch Polarität                                                       |
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol                                       | Propanol hat hoch Polarität                                                                  |
| 02 Verhaltensbedingung | K04B – Silicagel                                      | Silicagel hat sehr hoch Polarität                                                            |
| 05 Wirkprinzip         | K36W – allg. Str – WW                                 | Strukturmerkmal begründet zwischenmolekulare WW                                              |
| 05 Wirkprinzip         | K38W – allg. Str – WW                                 | Hydroxylgruppe bildet H-Brückenbindung                                                       |
| 05 Wirkprinzip         | K38W – allg. Str – WW                                 | H-Brückenbindung ist hoch Wechselwirkung                                                     |
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol                                       | Propanol hat hoch WW mit Silicagel                                                           |
| 05 Wirkprinzip         | K25W – Adsorption und Laufmittel                      | Laufmittel hoch polar hat hoch WW mit hoch polar (Ad)Sorbens                                 |
| 05 Wirkprinzip         | K23W – Adsorption und Laufmittel                      | Laufmittel hoch polar desorbiert hoch auf hoch polar stationärer Phase Analyt                |
| 05 Wirkprinzip         | K24W – Adsorption und Laufmittel                      | Laufmittel hoch polar bewirkt auf hoch polar stationärer Phase hoch Laufstrecke Analyt       |
| 05 Wirkprinzip         | K26W – Adsorption und Laufmittel                      | Laufmittel hoch polar belegt hoch auf hoch polar stationärer Phase Adsorptionsplätze         |
| 05 Wirkprinzip         | K27W – Adsorption und Laufmittel                      | Laufmittel hoch polar konkurriert auf hoch polar stationärer Phase hoch um Adsorptionsplätze |
| 05 Wirkprinzip         | K33W – eluotrope Reihe                                | Laufmittel hoch polar hat auf hoch polar stationärer Phase hoch Elutionskraft                |
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol                                       | Propanol hat hoch Elutionskraft                                                              |
| 04 Qualitative Analyse | K15Q – Laufstrecke Analyt m. Laufmittel u. Kenngrößen | Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront                                              |

Diese Abfolge von Propositionen in Tab. 65 zeigt, wie kleinschrittig die einzelnen Propositionen aufeinander aufbauen. Die Propositionen der Ketten 23–27 beschreiben die Modellvorstellung zum Verdrängungsprinzip, über das die Elutionswirkung des Laufmittels begründet werden kann. Sie untersetzen die einzelnen zu betrachtenden folgerichtigen Schritte, wenn die Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und stationärer Phase sehr hoch bzw. stark sind.

**b) Beispiel einer verkürzten Argumentationslinie zur Interpretation des Trennergebnisses mit Propanol als Laufmittel**

Eine verkürzte Argumentationslinie (s. Tab. 66) würde die Propositionen des Wirkprinzips vernachlässigen, wenn diese Propositionen als vorauszusetzende Vorkenntnisse betrachtet werden.

Tab. 66: *Beispiel einer verkürzten Propositionskette für die Begründungszusammenhänge des Trennergebnisses mit Propanol als Laufmittel*

| Hauptkategorie         | Propositionskette                                           | Proposition                                        |
|------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol                                             | Propanol ist Laufmittel                            |
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol                                             | Propanol hat Hydroxylgruppe                        |
| 02 Verhaltensbedingung | K04B – Silicagel                                            | Silicagel hat Hydroxylgruppe                       |
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol                                             | Propanol hat hoch Polarität                        |
| 02 Verhaltensbedingung | K04B – Silicagel                                            | Silicagel hat sehr hoch Polarität                  |
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol                                             | Propanol hat hoch WW mit Silicagel                 |
| 02 Verhaltensbedingung | K06B – Propanol                                             | Propanol hat hoch Elutionskraft                    |
| 04 Qualitative Analyse | K15Q – Laufstrecke<br>Analyt m. Laufmittel u.<br>Kenngrößen | Analyt wandert mit Propanol bis<br>Laufmittelfront |

Vor dem Hintergrund der Unterrichtsgestaltung sind allerdings die Propositionen des Wirkprinzips nicht zu vernachlässigen, weil sie für das Grundverständnis der auf die Trennung einflussnehmenden Bedingungen entscheidend sind und auch die Lernschritte bestimmen, wie das Experiment für den Erkenntnisprozess der Schülerinnen und Schüler eingesetzt werden kann. Das Grundverständnis der auf die Trennung einflussnehmenden Bedingungen ist letztendlich Voraussetzung für die Lösung anderer Problemstellungen zur Stofftrennung und Identifikation. Ein wichtiger Auswertungsaspekt ist daher, wie vollständig Argumentationslinien der Vpn sind und wie sie für die weiteren didaktischen Überlegungen genutzt werden.

#### 12.3.2.4 Zusammenfassung der Auswertung nach Inhaltsaspekten zur Chromatografie

Über den Vergleich des Aufgabenkomplexes 1 mit den Aufgabenkomplexen 2 und 3 können Rückschlüsse auf die Auswirkungen des Textmaterials und über den Vergleich der Aufgabenkomplexe 2 und 3 mit dem Aufgabenkomplex 4 auf die Auswirkungen der Leitfragen gezogen werden.

Die Aufgaben zu fachdidaktischen Fragestellungen und der fünfte Aufgabenkomplex lassen Rückschlüsse zu, wie tiefgründig die Zusammenhänge chromatografischer Trennverfahren verstanden wurden, um mögliche Erkenntniswege für den Unterricht abzuleiten bzw. Fehler in den Schüleraussagen zu erkennen und richtigzustellen.

Tab. 67: Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden der inhaltlich orientierten Aufgaben

| <b>Hauptuntersuchung Teil 2: Umsetzung des Lehr-Lernkonzeptes (N=13)</b>                          |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ziel</b>                                                                                       | <b>Methode</b>                                                                                                                    | <b>Auswertung</b>                                                                                                                                                           | <b>Ergebnisse</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| fachliches Tiefenverständnis zur Problemsituation (T2_A)                                          | QUAL<br>Teil A: Aufgaben 1a – 1c                                                                                                  | QIA: QUAL in quant <sup>130</sup><br>Bestimmung erfasster Propositionen (Codes)<br>Standardisierung der Concept-Maps und Texte d. Vpn durch Zuordnung d. zutreffenden Codes | Erstellung von Code-Matrizes und Code-Konfigurationen<br>Klassifikation des fachl. Tiefenverständnisses (hoch, mittel, gering) nach Anzahl korrekter Propositionen und Abdeckung der Propositionsketten                                                                                                    |
| fachliches Tiefenverständnis durch Rezeption des englischen Textmaterials (T2_B; T2_C)            | QUAL<br>Teil B: Textarbeit, Aufgabe 2c<br>Teil C:<br>Eingrenzung d. Textarbeit auf drei Textabschnitte<br>Aufgaben 3EI, EII, EIII | QIA: QUAL in quant<br>Bestimmung erfasster Propositionen (Codes)<br>Standardisierung der Concept-Maps und Texte d. Vpn durch Zuordnung d. zutreffenden Codes                | Erstellung von Code-Matrizes und Code-Konfigurationen<br>Klassifikation des fachl. Tiefenverständnisses (hoch, mittel, gering) nach Anzahl korrekter Propositionen und Abdeckung der Propositionsketten im Vergleich zum englischen Textmaterial                                                           |
| fachliches Tiefenverständnis zur Interpretation der Ergebnisse des Erkundungs-experimentes (T2_D) | QUAL<br>Teil D: Erörterung anhand von Leitfragen<br>Aufgaben 4L1 und L2                                                           | QIA: QUAL in quant<br>Bestimmung erfasster Propositionen (Codes)<br>Standardisierung der Texte d. Vpn durch Zuordnung d. zutreffenden Codes                                 | Erstellung von Code-Matrizes und Code-Konfigurationen<br>Klassifikation des fachl. Tiefenverständnisses (hoch, mittel, gering) nach Anzahl korrekter Propositionen und Abdeckung der Propositionsketten im Vergleich zu den Teilen A bis C                                                                 |
| Gesamtauswertung und Erstellung der Teilnehmerprofile                                             | Zusammenführung QUAL (quant)                                                                                                      | deskriptiv/inferentiell                                                                                                                                                     | Grad des fachlichen Tiefenverständnis in Abhängigkeit der fachlichen und englischsprachlichen Vorkenntnisse; Änderung der Motivation während der Aufgabenbearbeitung und Korrelation zum Gesamtergebnis<br><br>Gesamtvergleich der Argumentationslinien des englischen Textmaterials und der Texte der Vpn |

QIA: Qualitative Inhaltsanalyse; QUAL: qualitativ (hohe Priorität); quant: quantitativ (geringere Priorität); QUAL (quant): quantitative Daten werden in die Auswertung der qualitativen Daten integriert; Vpn: Versuchspersonen

<sup>130</sup> Aus der qual. Inhaltsanalyse (QIA) werden die qual. Daten (QUAL) in quant. Daten (quant) überführt.

### 12.3.3 Analyse und Auswertung der Daten nach fachdidaktischen Gesichtspunkten

Die Analyse und Auswertung der Daten nach fachdidaktischen Gesichtspunkten betrifft die Aufgaben 1d–f, 2d–f und 4L3. Dazu war es erforderlich, zwei Kategoriensysteme zu erstellen, über die sich die unterschiedlichen Herangehensweisen der Studierenden bei der Bearbeitung dieser Aufgabenstellungen analysieren lassen. Problematisch ist dabei, dass es bei fachdidaktischen Fragestellungen oft keine eindeutig normativ richtige Antwort gibt (vgl. Krauss et al. 2011: 144).

Das eine Kategoriensystem besteht aus den Lernschritten, die dem jeweils betrachteten Erkenntnisweg zugrunde liegen (s. Kap. 12.3.3.1) und wurde deduktiv entwickelt. Das andere Kategoriensystem ist induktiv entstanden und unterteilt nach den Inhaltsaspekten, die über die genannten Problem- und Fragestellungen der Vpn berücksichtigt wurden (Kap. 12.3.3.3, S. 216).

#### 12.3.3.1 Kategoriensystem zur Auswertung der Aufgaben zur Darlegung von Erkenntniswegen

Das Kategoriensystem zur Auswertung der Aufgaben zur Darlegung von Erkenntniswegen wurde für die Aufgaben 1f, 2f und 4L3 entwickelt. Da den Vpn in den Anlagen ausgewählte Vorlesungsfolien und Texte aus Storz/Wirsing (1987) bereitgestellt wurden, in denen die didaktische Linienführungen für induktives, deduktives, regressiv-reduktives, begründendes und progressiv-reduktives Vorgehen vorgegeben waren<sup>131</sup>, soll über das Kategoriensystem abgebildet werden, inwiefern die Vpn dieses fachdidaktische Wissen anwenden können. Weiterhin ist durch die Fallsituation, mit der die Vpn konfrontiert waren, der inhaltliche Rahmen vorgegeben. Der bestand darin, dass sich die Vpn überlegen sollten, wie sie die Auswertung der Ergebnisse der dünnschichtchromatografischen Trennung des Farbstoffgemisches mit Schülerinnen und Schülern eines Chemie-Leistungskurses erarbeiten würden. Aufgrund dieser klar definierten Vorgaben wurde das Kategoriensystem deduktiv entwickelt.

Damit der Inhaltsgehalt der einzelnen Kategorien nachvollzogen werden kann, werden im Folgenden die möglichen Lernschritte und die damit verbundenen Schließverfahren anhand der zu erarbeitenden Inhalte der dünnschichtchromatografischen Trennung des Farbstoffgemisches erörtert. Die Beispiele und deren Zuordnung zu den jeweiligen Erkenntniswegen wurden von drei Experten begutachtet und akzeptiert.

Der Code „unzureichende Beschreibung“ wurde dann zugeordnet, wenn sich die Beschreibung auf die allgemeine Definition des Erkenntnisweges ohne Übertragung auf die Inhalte

---

<sup>131</sup> Alle Vpn haben bereits die einführenden fachdidaktischen Lehrveranstaltungen gehabt, in denen die Erkenntniswege bereits thematisiert wurden. Sie sollten daher über das nötige Vorwissen, sodass die Anlagen nur zum Nachschlagen dienen.

des DC-Versuches beschränkt, was in der Mehrheit der Fälle zutraf. Auch wurde dieser Code zugeordnet, wenn sich die Beschreibung auf die Inhalte des DC-Versuches ohne Bezug auf die allgemeine Definition des jeweiligen Erkenntnisweges beschränkt.

#### a) Induktives Vorgehen

Generell liegt induktives Vorgehen bzw. Schließen vor, wenn vom besonderen Fall auf das Allgemeine geschlossen wird. Vergleichbar mit dem Alkanolbeispiel in Kap. 6.4.2 (S. 47) läge ein typisch induktives Verallgemeinern dann vor, wenn mehrere Farbstoffe vergleichbarer Polarität in Abhängigkeit ihrer Polarität nach hoher, mittlerer und niedriger Wechselwirkung mit der polaren stationären Phase klassifiziert werden.

In ähnlicher Weise könnte eine Verallgemeinerung über Laufmittel vergleichbarer Elutionskraft getroffen werden. Dazu müssten mehrere Laufmittel vergleichbarer Elutionskraft eingesetzt werden, um die Laufmittel nach hoher, mittlerer und niedriger Elutionswirkung zu klassifizieren.

Betrachtet man die Stärke der Wechselwirkungen des Analyten mit der polaren stationären Phase, kann ein Zusammenhang zwischen der Polarität des Analyten und der Stärke der Wechselwirkungen hergestellt werden. Wird vom Einzelfall (Tatsache, dass Indophenol bei der Trennung mit Toluol am stärksten zurückgehalten wird) auf die allgemeingültige Regel "Je polarer der Analyt (Indophenol ist polarer als Buttergelb), desto stärker sind die Wechselwirkungen des Analyten mit der polaren stationären Phase (sichtbar an der geringeren Laufstrecke des Indophenols)" geschlossen, ist dies ein Induktionsschluss. In ähnlicher Weise kann die Stärke der Elutionswirkung der Laufmittel in Abhängigkeit ihrer Polarität verallgemeinert werden: Je polarer das Laufmittel (betrachtete Einzelfälle: Propanol, Toluol, Hexan), desto stärker ist ihre Elutionskraft auf einer polaren stationären Phase. In diesem Fall schließt man von den drei Einzelfällen der dünnenschichtchromatografischen Trennung des Farbstoffgemisches auf alle weiteren ungetesteten Fälle (z. B. Ethanol, Benzol, Heptan).

Die Ausführungen der Vpn wurden somit nach folgenden Gesichtspunkten analysiert:

Tab. 68: Kategorien zu Erkenntniswegen für induktives Schließen

| Hauptkategorie      | Subkategorie 1                             | Subkategorie 2                                         |
|---------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Induktives Vorgehen | i1 mehrere Einzelfälle charakterisieren    | i.1.1 Polarität der Farbstoffe                         |
|                     |                                            | i.1.2 Elutionswirkung der Laufmittel                   |
|                     | i2 Formulierung allgemeingültiger Aussagen | i2.1 Stärke WW Analyt mit stPhase in Abh. v. Polarität |
|                     |                                            | i2.2 Stärke Elutionswirkung LM in Abh. v. Polarität    |

**b) Deduktives Vorgehen**

Beim deduktiven Vorgehen wird vom Allgemeinen auf den besonderen Fall geschlossen. Das könnte im Zusammenhang mit dem Experiment zur dünnsschichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches unter den gleichen Inhaltsaspekten wie beim induktiven Vorgehen erfolgen, nur dass von der entgegengesetzten Seite die Schlussfolgerung gezogen wird. In allen betrachteten Beispielen ist das Regelwissen gesichertes Theoriewissen, das bereits im Vorfeld abduktiv (bzw. regressiv-reduktiv) erarbeitet und induktiv (durch progressiv-reduktives Vorgehen) bestätigt wurde.

Über das Regelwissen (gesichertes Theoriewissen), dass polare Farbstoffe starke Wechselwirkungen mit der polaren stationären Phase eingehen und damit stärker zurückgehalten werden, lässt sich das Versuchsergebnis (Einzelfall/-fälle) vorhersagen, indem auf die jeweilige Polarität der Farbstoffe geschlossen wird. Die Strukturmerkmale der Farbstoffe werden an dieser Stelle noch außer Acht gelassen. Unter Anwendung der oben genannten Regel lässt sich demzufolge schließen, dass Indophenol mit der kürzesten Laufstrecke (der höchsten Retention) damit am polarsten ist, Buttergelb hingegen mit der längsten Laufstrecke (der geringsten Retention) sehr gering polar.<sup>132</sup>

Des Weiteren wäre es möglich, auf der Grundlage dieser Regel auf einen anderen besonderen Fall zu schließen. So könnte ausgehend von dieser Regel abgeleitet werden, dass Sudanrot G (einer der Azofarbstoffe), von dem man weiß, dass er weniger polar als Indophenol ist, weniger stark von der polaren stationären Phase zurückgehalten wird als Indophenol und damit auf der DC-Platte mit einer polaren stationären Phase eine größere Laufstrecke zurücklegen müsste als Indophenol. Das Experiment (nur Trennung mit Toluol) würde dann eingesetzt werden, um diesen besonderen Fall zu bestätigen (Induktionsschluss).

Zur Beurteilung der Elutionswirkung der Laufmittel könnte auf der Grundlage der Regel, dass Laufmittel, wenn sie Substanzen besonders weit mitführen, eine hohe Elutionskraft haben, geschlossen werden, dass Propanol (polar), das die Substanzen bis zur Laufmittelfront mitgeführt hat, eine hohe Elutionskraft und Hexan, bei dem die Substanzen an der Startlinie verblieben sind, eine sehr geringe Elutionskraft hat. Hier wird das Regelwissen angewandt, um das Versuchsergebnis vorherzusagen. Die Suche nach einer Erklärung für die Unterschiede in der Elutionskraft der Laufmittel erfordert die Betrachtung der Strukturmerkmale und der daraus resultierenden zwischenmolekularen Wechselwirkungen. Die zu erarbeiten, würde regressiv-reduktiv (also abduktiv) erfolgen.<sup>133</sup>

---

<sup>132</sup> Dieser Schluss auf den besonderen Fall hätte vor dem Experiment getroffen werden können. Der experimentelle Befund wäre dann die Bestätigung der Regel (des Theoriewissens) gewesen (Induktionsschluss).

<sup>133</sup> So könnte über das erweiterte Regelwissen zum Verdrängungsprinzip – polare Laufmittel konkurrieren sehr stark um Adsorptionsplätze auf einer polaren stationären Phase – das Stoffverhalten mit Propanol erklärt werden. Die hohe Elutionskraft von Propanol zeichnet sich dadurch aus, dass durch die starken Wechselwirkungen der Laufmittelmoleküle mit der stationären Phase letztere vollständig von den Laufmittelmolekülen bedeckt wird, sodass Analyten die Laufmittelmoleküle nicht mehr verdrängen und vom Laufmittel bis zur Laufmittelfront mitgeführt werden.



Auf der Grundlage des erweiterten Theoriewissens zum Verdrängungsprinzip kann auf einen anderen besonderen Fall geschlossen werden. So könnte ausgehend von der Regel, dass sehr polare Laufmittel eine besonders hohe Elutionskraft haben, auf die hohe Elutionskraft von Ethanol geschlossen werden. Der Schluss basiert auf dem Wissen, dass Ethanol polarer als Propanol ist, ähnlich starke Wechselwirkungen mit einer polaren stationären Phase eingehen und damit Analyten wie Propanol bis zur Laufmittelfront mitführen müsste. Dieser Fall wird für die Analyse der Erkenntniswege nicht berücksichtigt, spielt aber eine Rolle bei der Analyse der Schülerfehlkonzepte im Teil E.

Die Ausführungen der Vpn wurden somit nach folgenden Gesichtspunkten analysiert:

Tab. 69: Kategorien zu Erkenntniswegen für deduktives Schließen

| Hauptkategorie      | Subkategorie 1                    | Subkategorie 2                                                                                                                                      |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Deduktives Vorgehen | D1 Allgemeine Aussagen betrachten | D1.1 Beurteilung Polarität d. Farbstoffe                                                                                                            |
|                     |                                   | D1.2 Beurteilung Elutionswirkung LM                                                                                                                 |
|                     | D2 Schluss auf Einzelfall         | D2.1 Polarität Farbstoffe<br>D2.1.1 Polarität Indophenol hoch<br>D2.1.2 Polarität Sudanrot mittel<br>D2.1.3 Polarität Buttergelb gering             |
|                     |                                   | D2.2 Elutionswirkung LM<br>D2.2.1 Elutionswirkung Propanol hoch<br>D2.2.2 Elutionswirkung Toluol gering<br>D2.2.3 Elutionswirkung Hexan sehr gering |

### c) Regressiv-reduktives Vorgehen

Das regressiv-reduktive Vorgehen (entspricht dem abduktiven Schlussfolgern s. Kap. 6.4.2, S. 52) dient der Ersterarbeitung von theoretischen Grundlagen und ist gekennzeichnet durch das Schließen von der Erscheinung auf das Wesen. Im Einstieg steht die Konfrontation der Lernenden mit einer verblüffenden Tatsache. Dazu wird das Experiment zur dünnsschicht-chromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches als Erkundungsexperiment eingesetzt, wenn Lernende noch keine Vorkenntnisse über die Begründungszusammenhänge chromatografischer Trennung haben. Als Ergebnis erhält man unterschiedliche beobachtbare Erscheinungen, die interpretiert werden müssen. Verblüffend sind die Extreme bei der Trennung mit Hexan (Analyten verbleiben an der Startlinie) und Propanol (Analyten wandern bis zur Laufmittelfront). Die Suche nach theoretischen Grundlagen zur Erklärung dieser experimentellen Befunde könnte wie folgt aussehen:

Ausgehend vom Trennergebnis mit Propanol, bei dem alle Farbstoffmoleküle bis zur Laufmittelfront gewandert sind, scheinen die Analyten zu gut in Propanol löslich zu sein. Eine mögliche Erklärung für die gute Löslichkeit wären strukturelle Gemeinsamkeiten zwischen Propanol und den Analyten, denn gute Löslichkeit bedeutet, dass ähnliche Wechselwirkungen zwischen den Komponenten auftreten. Das wären z. B. die OH-Gruppen, die sowohl bei den Propanolmolekülen als auch bei den Molekülen von Indophenol und Sudanrot G vorkommen. Benachbarte OH-Gruppen bilden Wasserstoffbrückenbindungen

aus. OH-Gruppen liegen allerdings auch bei der stationären Phase vor, sodass eine Erklärung gefunden werden muss, warum die Farbstoffmoleküle nicht von der stationären Phase zurückgehalten werden. Durch die Tatsache, dass die stationäre Phase ein Strukturmerkmal aufweist, durch das Wechselwirkungen mit den Analyten möglich sind und in der Stärke auch vergleichbar mit Propanol sind, stellt sich die Frage, was den Analyten daran hindern könnte, mit der stationären Phase in Wechselwirkung zu treten. Diese Frage führt wieder zurück zum Laufmittel, das nicht nur mit dem Analyten in Wechselwirkung treten kann, sondern in gleicher Weise durch Wasserstoffbrückenbindungen mit der stationären Phase. Diese Vermutung liegt sehr nahe, da das Laufmittel im Überschuss vorhanden ist und die stationäre Phase, wenn das Laufmittel während der Trennung auf der DC-Platte aufsteigt, vollständig vom Laufmittel bedeckt wird. Das hat zur Folge, dass der Analyt die sehr starken Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Laufmittel und stationärer Phase angreifen muss. Dazu haben die Analyten zu viele lipophile Anteile, sodass das Wechselwirkungspotenzial der Analyten nicht ausreicht, um Propanolmoleküle von der stationären Phase zu verdrängen. Es erscheint daher plausibler, dass die Wechselwirkungen zwischen Propanol und der stationären Phase (Silicagel) zu stark sind, sodass die Analyten keinen Zugang zur stationären Phase haben. Bei Hexan ist es genau umgekehrt. Das Alkan hat keinerlei polare funktionelle Gruppen und dadurch ein nur sehr geringes Wechselwirkungspotenzial, um mit der stationären Phase in Wechselwirkung zu treten. Die Wasserstoffbrückenbindungen, die die Farbstoffmoleküle zur stationären Phase ausbilden, sind so viel stärker, sodass Hexan sie nicht von der stationären Phase zu lösen vermag.

Das Kategoriensystem zum regressiv-reduktiven Vorgehen ist in dieser Logik aufgebaut (s. Tab. 70).

Tab. 70: Kategorien zu Erkenntniswegen für regressiv-reduktives Vorgehen

| Hauptkategorie                                    | Subkategorie 1 | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RR1 Bewusstmachen eines Problems                  |                | Substanzspezifisches Verhalten der Farbstoffe unter verschiedenen Bedingungen:<br>stat. Phase: sehr polar<br>mobile Phasen:<br>Hexan (sehr gering polar) – Toluol (gering polar) – Propanol (polar)<br>Analyt: lipophil (eher unpolar) |
| RR2 Entscheiden über Lösungsweg                   |                | Ln haben keine Vorkenntnisse über die Begründungszusammenhänge                                                                                                                                                                         |
| RR3 Experimentelles Erkunden                      |                | Fall 1: Hexan bewirkt keine Trennung<br>Fall 2: Toluol bewirkt optimale Trennung (Buttergelb hat höchsten RF-Wert; Indophenol hat kleinsten RF-Wert)<br>Fall 3: Propanol bewirkt keine Trennung                                        |
| RR4 Interpretieren der beobachteten Erscheinungen |                | Optimale Trennbedingungen liegen vor, wenn die Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol durchgeführt wird. Die Elutionswirkung des Laufmittels ist nicht zu stark wie bei Propanol und nicht zu schwach wie bei Hexan.               |

| Hauptkategorie                                    | Subkategorie 1                                                    | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RR4 Interpretieren der beobachteten Erscheinungen | RR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität    | <p>Die Elutionswirkung kann auf die strukturellen Besonderheiten der Laufmittel und der stationären Phase zurückgeführt werden.</p> <p>Die Strukturmerkmale führen zu unterschiedlich starken zwischenmolekularen Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und der stationären Phase.</p> <p>Die Hydroxylgruppe des Propanols kann sehr stark mit den Silanolgruppen des Silicagels in WW treten. Diese starken WW verhindern, dass die Probenmoleküle die Propanolmoleküle von der stationären Phase verdrängen und damit selbst von dieser zurückgehalten werden können. In Folge werden sie vom Laufmittel bis zur Laufmittelfront mitgerissen.</p> <p>Der Benzolring des Toluols kann nur gering mit den Silanolgruppen des Silicagels in WW treten. Diese geringen WW ermöglichen, dass die Probenmoleküle die Toluolmoleküle von der stationären Phase verdrängen und damit selbst von dieser zurückgehalten werden können. Wiederrum reichen die geringen WW des Toluols mit der stationären Phase aus, um Probenmoleküle von der stationären Phase zu lösen. Hierbei wirken die Pi-Pi-WW zwischen Toluol und Probenmolekülen, die ebenfalls aus Benzolringen aufgebaut sind, begünstigend.</p> <p>Die Kohlenwasserstoffkette des Hexans kann nur sehr gering mit den Silanolgruppen des Silicagels in WW treten. Diese sehr geringen WW reichen nicht aus, um die Probenmoleküle durch die Laufmittelmoleküle von der stationären Phase zu lösen.</p> |
|                                                   | RR4.2 Abhängigkeit der RF-Werte d. Analyten von ihrer Polarität   | <p>Polarität der Farbstoffe lässt sich anhand des Trennergebnisses mit Toluol beurteilen.</p> <p>Die Stoffe, die am weitesten mit der mobilen Phase mitgewandert sind (höchsten <math>R_F</math>-Werte), gehen die geringsten WW mit der polaren stationären Phase ein und sind somit am wenigsten polar.</p> <p>Die Stoffe, die nahe an der Startlinie verblieben sind (geringste RF-Werte), gehen die stärksten WW mit der polaren stationären Phase ein und sind somit am stärksten polar.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                   | RR4.3 Begründung der Polarität der Farbstoffe anhand der Struktur | <p>Die Polaritätsunterschiede der Farbstoffe können anhand der Strukturmerkmale begründet werden.</p> <p>Den größten Einfluss auf die Polarität haben die polaren funktionellen Gruppen der Farbstoffe.</p> <p>Somit ist Indophenol mit je einer Keto-, Hydroxyl- und Iminogruppe am polarsten und damit die stärksten zwischenmolekularen WW mit der polaren stationären Phase eingeht.</p> <p>Buttergelb hat eine Azogruppe und eine Dimethylaminogruppe, die beide eher unpolar sind, sodass dieses Molekül im Vergleich zu den anderen Farbstoffmolekülen die geringste Polarität hat und damit die geringsten zwischenmolekularen WW mit der polaren stationären Phase eingeht.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

#### d) Progressiv-reduktives Vorgehen

Das progressiv-reduktive Vorgehen setzt Vorkenntnisse zu den Begründungszusammenhängen voraus. Die Ausgangsproblemstellung wäre dieselbe wie unter dem regressiv-reduktiven Vorgehen. Nur werden in diesem Erkenntnisgang Prognosen auf der Grundlage des vorhandenen Theoriewissen abgeleitet (Deduktion), die dann experimentell überprüft wer-

den. Im Fall der Verifikation würden die überprüften Einzelfälle unter dem Theoriewissen subsumiert (qualitative Induktion). Im Fall der Falsifikation würde regressiv-reduktiv (also abduktiv) nach einer Erklärung gesucht.

Die einzelnen Lernschritte des progressiv-reduktiven Vorgehens sind in Tab. 71 zusammengefasst. Die ersten beiden Spalten enthalten die Kategorien des Kategoriensystems. Die dritte Spalte skizziert die Inhaltsaspekte, die zur Einbindung des Experimentes zur dünn-schichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches im jeweiligen Schritt des Erkenntnisganges zu betrachten sind. In dieser Logik wären die Ausführungen der Vpn zur Aufgabe 1f zu erwarten.

Tab. 71: Kategorien zu Erkenntniswegen für progressiv-reduktives Vorgehen

| Hauptkategorie                               | Subkategorien                                                                                                                                                                                                       | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PR1 Bewusstmachen eines Problems             |                                                                                                                                                                                                                     | Substanzspezifische Verhalten der Farbstoffe unter verschiedenen Bedingungen:<br>stat. Phase: sehr polar<br>mobile Phasen:<br>Hexan (sehr gering polar) – Toluol (gering polar) – Propanol (polar)<br>Analyt: lipophil (eher unpolar)<br>Gesucht sind optimale Trennbedingungen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| PR2 Entscheiden über Lösungsweg              | PR2.1 Vorkenntnisse Ln<br>PR2.1.1 Abh. d. Elutionskraft d. LM v. ihrer Polarität<br>PR2.1.2 Abh. der $R_F$ -Werte d. Analyten von ihrer Polarität<br>PR2.1.3 Begr. der Polarität der Farbstoffe anhand der Struktur | Ln haben Vorkenntnisse über die Begründungszusammenhänge:<br>Ln wissen, dass für eher unpolare Stoffe die Bedingungen der NPC geeignet sind.<br>Ln kennen das Stahl'sche Dreieck<br>Ln kennen eluotrope Reihe.<br>Ln kennen Wirkprinzip der Chromatografie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                              | PR2.2 Auswahl Verhaltensbedingungen                                                                                                                                                                                 | Ln wählen drei LM unterschiedlicher Elutionskraft aus und prognostizieren, wie sich die unterschiedliche Elutionskraft der LM auf das jeweilige Trennergebnis auswirkt:<br>Fall 1: Hexan hat sehr geringe Elutionskraft und bewirkt sehr kleine $R_F$ -Werte (Buttergelb hat höchsten $R_F$ -Wert; Indophenol hat kleinsten $R_F$ -Wert)<br>Fall 2: Toluol hat geringe Elutionskraft und bewirkt kleine $R_F$ -Werte (Buttergelb hat höchsten $R_F$ -Wert; Indophenol hat kleinsten $R_F$ -Wert)<br>Fall 3: hat hohe Elutionskraft und bewirkt große $R_F$ -Werte (Buttergelb hat höchsten $R_F$ -Wert; Indophenol hat kleinsten $R_F$ -Wert) |
| PR3 Experimentelle Überprüfung der Prognosen | PR3.1 Verifizierung                                                                                                                                                                                                 | Fall 2: Toluol bewirkt optimale Trennung (Buttergelb hat höchsten $R_F$ -Wert; Indophenol hat kleinsten $R_F$ -Wert)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

| Hauptkategorie                                                        | Subkategorien                                                  | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PR3 Experimentelle Überprüfung der Prognosen                          | PR3.2 Falsifizierung                                           | <p>Prognosen:</p> <p>Fall 1: Hexan hat sehr geringe Elutionskraft und bewirkt sehr kleine <math>R_F</math>-Werte (Buttergelb hat höchsten <math>R_F</math>-Wert; Indophenol hat kleinsten <math>R_F</math>-Wert)</p> <p>Fall 3: Propanol hat hohe Elutionskraft und bewirkt große <math>R_F</math>-Werte (Buttergelb hat höchsten <math>R_F</math>-Wert; Indophenol hat kleinsten <math>R_F</math>-Wert)</p> <p>Experimenteller Befund:</p> <p>Fall 1: Hexan bewirkt keine Trennung (alle <math>R_F</math>-Werte nahe 0)</p> <p>Fall 3: Propanol bewirkt keine Trennung (alle <math>R_F</math>-Werte nahe 1)</p> |
| PR4 Neuinterpretieren der beobachteten Erscheinungen (Falsifizierung) | PR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität | <p>Erklärung der Falsifizierung für die Fälle 1 und 3 durch das Verdrängungsprinzip</p> <p>Optimale Trennbedingungen liegen vor, wenn die Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol durchgeführt wird. Die Elutionswirkung des Laufmittels ist nicht zu stark wie bei Propanol und nicht zu schwach wie bei Hexan.</p> <p>Weitere Suche nach Erklärung s. RR4.1 in Tab. 70.</p>                                                                                                                                                                                                                                 |

Für die Aufgabe 4L3.2 muss noch die Einbindung der Abbildungen aus dem Textmaterial (Fig 2.7, Fig 8.1, Fig 8.3 und Tab 8.1, ggf. Fig 8.2 und Fig 2.6; s. Anhang Kap. 20.2, S. 511) berücksichtigt werden. Ziel war es, die Unterschiede zwischen Normalphasenchromatografie (NPC, stationäre Phase ist polar) und Umkehrphasenchromatografie (RPC, stationäre Phase ist unpolar) progressiv-reduktiv zu erarbeiten. In der Aufgabe war vorgegeben, dass die Schülerinnen und Schüler (SuS) bereits durch das DC-Experiment zur dünnsschichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches Vorkenntnisse haben:

- Die SuS kennen die Zusammenhänge der NPC (Trennbedingungen, substanzspezifisches Verhalten durch das DC-Experiment).
- Die SuS sind außerdem mit beiden Chromatogrammartentypen vertraut (DC und SC).

Die Abbildungen zu den Chromatogrammen enthalten alle Informationen zu den Trennbedingungen (Polarität der stationären Phase und das verwendete Laufmittelgemisch) und den Analyten. Es wurde erwartet, dass die Vpn anhand der in den Abbildungen vorgegebenen Trennbedingungen und des bereits erworbenen Vorwissens der SuS Prognosen über das Retentionsverhalten der Analyten ableiten und diese Prognosen anhand der jeweiligen Chromatogramme in den genannten Abbildungen überprüfen.

In Tab. 72 ist das Kategoriensystem für die Codierung der Aufgabe 4L3 aufgeführt, so wie es ursprünglich für die Analyse der Daten angedacht war. Die ersten beiden Spalten enthalten die Kategorien des Kategoriensystems. Die dritte Spalte skizziert die Inhaltsaspekte, die zur Einbindung der in der Aufgabenstellung genannten Abbildungen im jeweiligen Schritt des Erkenntnisganges zu betrachten sind, wobei Fig. 2.6 vernachlässigbar war.

Tab. 72: Kategorien zu Erkenntniswegen für progressiv-reduktives Vorgehen zur Erarbeitung der Unterschiede zwischen NPC und RPC

| Hauptkategorie                   | Subkategorien                                                                                                                                                                                                                           | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PR1 Bewusstmachen eines Problems | PR1.1 Substanzspezifisches Verhalten von Benzolderivaten<br>PR1.2 Retentionszeiten Analyt NPC vs. RPC                                                                                                                                   | Substanzspezifisches Verhalten von Benzolderivaten unter den Bedingungen von NPC und RPC im Vergleich:<br><br>Frage ist, wie sich das Laufverhalten von unterschiedlich polaren Analyten ändert, wenn man eine stationäre Phase verwendet, die deutlich unpolarer ist als die mobile Phase.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| PR2 Entscheiden über Lösungsweg  | PR2.1 Vorkenntnisse Ln<br>PR2.1.1 Abh. d. Elutionskraft d. LM v. ihrer Polarität<br>– Tab. 8.1<br>PR2.1.2 Abh. der Retentionszeit d. Analyten von ihrer Polarität<br>PR2.1.3 Begr. der Polarität der Benzolderivate anhand der Struktur | Ln haben Vorkenntnisse über die Begründungszusammenhänge:<br>Ln wissen, dass für eher unpolare Stoffe die Bedingungen der NPC geeignet sind.<br>Ln kennen Bedingungen für NPC (mobile Phase ist weniger polar als stat. Phase)<br>Ln kennen Bedingungen für RPC (mobile Phase ist polarer als stat. Phase)<br>Ln kennen das Stahl'sche Dreieck<br>Ln kennen elutrope Reihe (Tab. 8.1)<br>Ln kennen Wirkprinzip der Chromatografie, d.h.<br>– Ln kennen Strukturmerkmale und daraus resultierende WW<br>– Ln kennen das Verdrängungsprinzip in der NPC<br>Ln kennen Kenngrößen in DC und SC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                  | PR2.2 Auswahl Verhaltensbedingungen<br>PR2.2.1 NPC<br>– Fig. 8.1<br>PR2.2.2 RPC<br>– Fig. 2.7c<br>– Fig. 8.1                                                                                                                            | NPC (Bezug zu Fig. 8.1)<br>stat. Phase: SIL (sehr polar)<br>mobile Phase: 20% Chloroform-Hexan-Gemisch (eher unpolar)<br>Analyt: eher polar (Benzolderivate)<br><br>RPC (Bezug zu Fig. 2.7c und Fig. 8.1)<br>stat. Phase: C <sub>18</sub> (sehr unpolar)<br>mobile Phase: 50% Acetonitril-Wasser-Gemisch (eher polar)<br>Analyt: eher polar (Benzolderivate)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                  | PR2.3 Ableiten d. Prognosen<br>PR2.3.1 für NPC<br>– Fig 8.3a, b<br>PR2.3.1 für RPC<br>– Fig 2.7a, b                                                                                                                                     | 8.3 a, b veranschaulicht, dass selbst das unpolarste der Benzolderivate stärkere WW mit SIL-Oberfläche eingeht als Chloroform, das als Monoschicht auf der stationären Phase adsorbiert ist und somit vom Analyten verdrängt werden kann. Da Unterschiede in der WW-Stärke nicht so groß sind, ist der umgekehrte Vorgang durch den Überschuss an LM-Molekülen des Laufmittels auch gut möglich. Bei den polaren Benzolderivaten sind die WW zur SIL-Oberfläche über die polaren funktionellen Gruppen sehr viel stärker, dass sie nur schwer von der Oberfläche durch die Chloroform-Moleküle verdrängt werden können (zeigt sich in sehr hohen Retentionszeiten von mehr als 100 Min in Fig 8.1).<br><br>Fig. 2.7 veranschaulicht, dass unpolare Analyten besonders stark in WW mit der unpolaren stationären Phase treten, während die polaren Analyten stärkere WW mit der polaren mobilen Phase eingehen. |



| Hauptkategorie                                                        | Subkategorien                                                                                                                                 | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PR3 Experimentelle Überprüfung der Prognosen                          | PR3.1 Verifizierung<br>PR3.1.1 NPC<br>– Fig. 8.1a<br>PR3.1.2 RPC<br>– Fig. 2.7c                                                               | <p>Prognosen:</p> <p>NPC: die weniger polaren Benzolderivate werden weniger stark zurückgehalten als die polareren.</p> <p>RPC: die weniger polaren Benzolderivate werden stärker zurückgehalten als die polareren. Die Reihenfolge der Analyten müsste sich im Chromatogramm gegenüber NPC umkehren.</p> <p>Experimenteller Befund:</p> <p>NPC (Fig. 8.1a): Prognosen sind nahezu bestätigt (Ausnahmen s. Falsifikation)</p> <p>RPC (Fig. 2.7c): Prognosen bestätigt. Anders als in 8.1a sind hier im Chromatogramm die Benzolderivate nach abnehmender Polarität sortiert. Insgesamt fällt auf, dass unter diesen Bedingungen die Retentionszeiten nicht ausufern. Somit scheint eine unpolare stationäre Phase für polarere Analyten auch besser geeignet zu sein, um alle Analyten gut voneinander zu trennen.</p>                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                       | PR3.2 Falsifizierung<br>PR3.2.1 OH-Gruppe polarer als COCH <sub>3</sub> -Gruppe<br>PR3.2.2 Benzolderivat mit OH-Gruppe kürzere Retentionszeit | <p>Prognosen:</p> <p>NPC: die weniger polaren Benzolderivate werden weniger stark zurückgehalten als die polareren.</p> <p>Experimenteller Befund: Benzolderivat mit OH-Gruppe ist polarer als Benzolderivat mit COCH<sub>3</sub>-Gruppe, hat aber eine kürzere Retentionszeit.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| PR4 Neuinterpretieren der beobachteten Erscheinungen (Falsifizierung) | PR4.1 Lösungsmittelselektivität in NPC                                                                                                        | <p>Problem unter PR3.2 muss unter dem Aspekt der Lösungsmittelselektivität betrachtet werden (Fig 8.7) und könnte weiterführend regressiv-reduktiv oder progressiv-reduktiv erarbeitet werden.</p> <p>Fig. 8.7 zeigt drei Chromatogramme einer NPC, die das Ergebnis der Änderung des Anteils des polaren Lösungsmittels darstellen.</p> <p>Entscheidend ist der Einfluss des polaren Lösungsmittels im Laufmittelgemisch, das besonders stark auf polare Substanzen wirkt. d. h. dass das polare Lösungsmittel selektiv besonders an den Stellen der stationären Phase wirksam wird, an denen polare Substanzen gebunden sind. Das polare Lösungsmittel und die polaren Substanzen konkurrieren stärker um die Adsorptionsstellen der stationären Phase. Dazu könnte Fig 8.3 c-d zur Veranschaulichung genutzt werden.</p> <p>Bei weniger polaren Substanzen sind die Wechselwirkungen stärker über die Moleküloberfläche verteilt wie in Fig 8.3 a-b veranschaulicht. Dieses Phänomen bezeichnet man als Laufmittelselektivität.</p> |

Da keine der fünf Vpn, die die Aufgabe 4L3 bearbeitet haben, in dieser Logik einen progressiv-reduktiven Erkenntnisgang skizziert hat, kann das Kategoriensystem in Tab. 72 für die Analyse der Daten zu Aufgabe 4L3 so nicht angewandt werden. Vier der fünf Vpn beziehen sich in ihren Ausführungen auf das lipophile Farbstoffgemisch, von denen drei

Vpn weder auf die in der Aufgabe genannten Abbildungen noch auf die RPC eingehen. Die beiden Vpn (Vp01 und Vp10), die einen Bezug zu der einen oder anderen Abbildung und auch zur RPC herstellen, gehen nicht näher auf den Inhalt der Abbildungen ein.

Es bleibt daher bei der Anwendung des Kategoriensystems in Tab. 71, das induktiv um acht Codes ergänzt wird, um die Besonderheiten in den Ausführungen der Vpn abzubilden (s. Tab. 73).

Tab. 73: Kategorien zu Erkenntniswegen für progressiv-reduktives Vorgehen für 4L3.2

| Hauptkategorie                                                        | Subkategorien                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PR1 Bewusstmachen eines Problems                                      | PR1.1 optimale Trennbedingungen für FG<br>PR1.2 Retentionszeiten Analyt NPC vs. RPC                                                                                                                                                                        |
| PR2 Entscheiden über Lösungsweg                                       | PR2.1 Vorkenntnisse Ln<br>PR2.1.1 Abh. d. Elutionskraft d. LM v. ihrer Polarität<br>PR2.1.2 Abh. der $R_F$ -Werte d. Analyten von ihrer Polarität<br>PR2.1.3 Begr. der Polarität der Farbstoffe anhand der Struktur<br>PR2.2 Auswahl Verhaltensbedingungen |
| PR3 Experimentelle Überprüfung der Prognosen                          | PR3.1 Verifizierung<br>PR3.2 Falsifizierung                                                                                                                                                                                                                |
| PR4 Neuinterpretieren der beobachteten Erscheinungen (Falsifizierung) | PR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität                                                                                                                                                                                             |
| Bezug zu Abb. aus Snyder et al. (2010)                                | Fig. 8.1<br>Fig. 8.2<br>Fig. 8.3<br>Tab. 8.1<br>Fig. 2.7                                                                                                                                                                                                   |
| Bezug zu Fehlkonzept in Teil E                                        |                                                                                                                                                                                                                                                            |

#### e) Zusammenfassende Darstellung der Codes des Kategoriensystems

Das gesamte Kategoriensystem, so wie es in MAXQDA angelegt wurde, ist noch einmal in Abb. 46 dargestellt, allerdings ohne die Ergänzungen für die Codierung von 4L3.2.



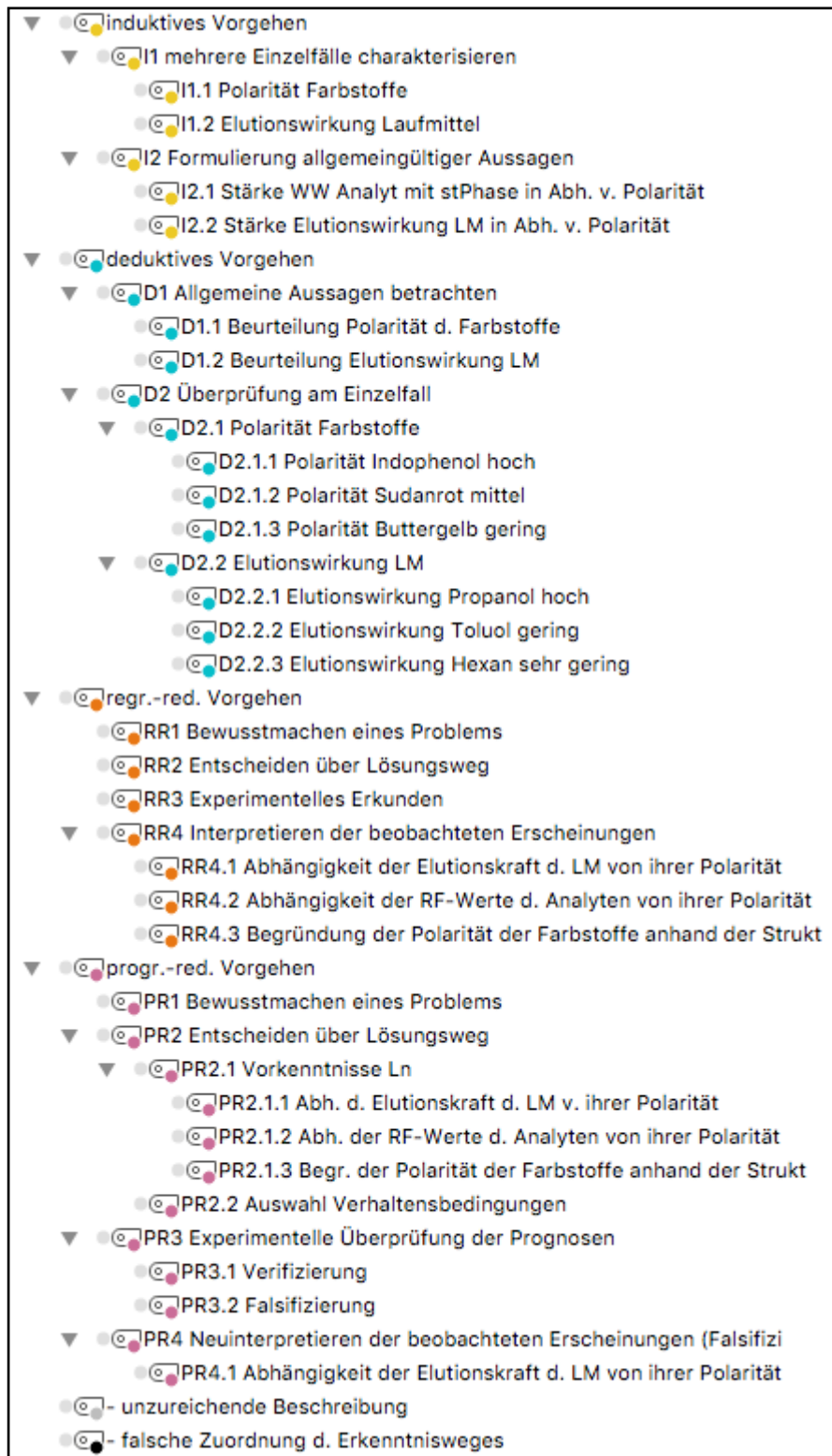


Abb. 46: Kategoriensystem möglicher Erkenntniswege zu den Aufgaben 1f und 2f

### 12.3.3.2 Codierung der Daten zu Erkenntniswegen

Beim Transkribieren der Daten wurden alle Segmente zu den jeweiligen Aufgaben mit dem entsprechenden Aufgabencode vorcodiert. Die Segmente der Aufgabe 1f, bei der die Vpn alle Varianten von Erkenntniswegen skizzieren sollten, wurden noch differenziert nach den jeweiligen Subcodes induktives, deduktives, regressiv-reduktives, begründendes und progressiv-reduktives Vorgehen. Diese Zuordnung entspricht nur der von den Vpn angegebenen. War diese Zuordnung fehlerhaft, wurde das Segment dem Code „falsche Zuordnung des Erkenntnisweges“ zugeordnet.

Die inhaltliche Analyse der beschriebenen Erkenntniswege in den Aufgaben 1f, 2f, 4L3 erfolgte nach den Kategorien in Abb. 46 (S. 212). Da es in der Fallsituation nur darum ging, mit Schülerinnen und Schülern die Interpretation der Trennergebnisse mit den Laufmitteln Hexan, Toluol und Propanol zu erarbeiten, wurden in dem Kategoriensystem keine Aspekte zur Erarbeitung der apparativen Umsetzung der dünnenschichtchromatografischen Trennung berücksichtigt. Somit bleiben solche Aspekte der Vpn unberücksichtigt.

Im weiteren Vorgehen wurden alle Segmente der Aufgabe 1f analysiert und den jeweils zutreffenden Codes zu Erkenntniswegen in Abb. 46 (S. 212) zugeordnet. Dabei kam es darauf an, dass die Vpn die Schrittfolge klar definierten. In einem Beispiel zum progressiv-reduktiven Vorgehen in 1f hat Vp08 zwar wichtige Zusammenhänge skizziert, aber nicht eingeordnet, wie diese Zusammenhänge im Erkenntnisweg eingebunden sind. Es wurde dem Segment daher nur der Code „PR2.1.2 Abh. der  $R_F$ -Werte d. Analyten von ihrer Polarität“ für die genannten Inhalte zugeordnet. Die übergeordneten Codes „PR2 Entscheiden über Lösungsweg“ und „PR2.1 Vorkenntnisse Ln“ hingegen blieben aus. Insgesamt ist die Beschreibung der Vpn unzureichend, sodass das Segment zusätzlich mit dem Code „unzureichende Beschreibung“ versehen wurde (s. Ankerbeispiel im Anhang Kap. 19.7.4, S. 481).

In vier anderen Fällen war der beschriebene Erkenntnisweg falsch eingeordnet worden (s. Tab. 74), sodass dem jeweiligen Segment u. a. der Code „falsche Zuordnung d. Erkenntnisweges“ zugeordnet wurde.

Tab. 74: Segmente mit falsch zugeordneten Erkenntniswegen von Vp01, Vp05, Vp06 und Vp11

| Dokumentname                     | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 111f<br>Erkenntniswege           | Ein induktiver Erkenntnisweg lässt sich über ein Fallbeispiel aufbauen, bei welchem durch ein „Unglück“ einige Farbstoffe miteinander vermischt wurden, die man wieder zu trennen versucht. Die Methode kann verallgemeinert werden, sofern sie zum Ziel führt.                                                                                                                                                         | FD, 08.12.18 14:24<br>Titel: Beschreibung Erkenntnisweg<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Vp beschreibt keinen rein induktiven Erkenntnisweg. Ansatz entspricht i. S. der Ersterarbeitung einem regressiv- bzw. progressiv-reduktiven Vorgehen, je nachdem ob Vorkenntnisse zu den theoretischen Grundlagen vorhanden oder nicht vorhanden sind.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 061f<br>Erkenntniswege           | regressiv-reduktiv/Deduktives Vorgehen<br>Struktur und Eigenschaften der Farbstoffe sind bekannt<br><Pfeil nach rechts> Ableiten/<br>Deuten der Beobachtungen („Erkundungsexperiment“)                                                                                                                                                                                                                                  | FD, 20.08.20 11:12<br>Titel: Beschreibung Erkenntnisweg<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Deduktives Vorgehen schließt an den regressiv-red. Erkenntnisgang an. So wie die Vp das Experiment zur Erkundung einsetzen will, würde zunächst nach einer Erklärung zur Deutung der Ergebnisse gesucht (abduktives Schließen). Aus den neu generierten Hypothesen würde dann auf den besonderen Fall geschlossen (deduktives Vorgehen) und überprüft. Wird nach der Verifikation vom besonderen Fall auf die zuvor formulierte Hypothese geschlossen, wäre das ein Induktionsschluss (qualitative Induktion bzw. progressive Reduktion).<br>Ausführung d. Vpn lässt diese Details nicht erkennen. |
| 052f regr.-red.<br>Erkenntnisweg | Da die Lernenden beim regressiv-reduktiven Vorgehen keine weiteren Vorkenntnisse besitzen, könnte wie folgt vorgegangen werden:<br>1. Vermutungen anbringen über Einfluss des Laufmittels<br>2. Aufstellen von Hypothesen<br>3. Überprüfen der Hypothesen mit einem Erkundungsexperiment <Pfeil nach rechts> Dazu Parameter vorfestlegen<br>4. Begründung der Ergebnisse über Eigenschaften und Struktur der Laufmittel | FD, 23.11.18 19:09<br>Titel: Beschreibung Erkenntnisweg<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br>Vp beschreibt streng genommen progr.-red. Erkenntnisweg, denn um Vermutungen über Einfluss Laufmittel aufzustellen, muss auf Vorkenntnisse zurückgegriffen werden.<br>Für regr.-red. Vorgehen, würde man eher eine offene Frage stellen: „Hat das Laufmittel einen Einfluss auf den Trennvorgang?“<br>Die Ergebnisse würden zeigen, dass unterschiedliche Laufmittel zu unterschiedlichen Trennergebnissen führen.<br>Daran anschließend würde eine Erklärung gesucht.                                                                                                                                                        |

| Dokumentname                   | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 014L3 regr.-red. Erkenntnisweg | <p>Zunächst könnte überlegt werden, welche Eigenschaften die einzelnen Stoffe mitbringen u. dann, wie diese mit der Struktur zu erklären sind.</p> <p>Daran könnte das Experiment erfolgen, um die Eigenschaften sichtbar zu machen u. dann für z. B. Alkohol allgemeingültige Aussagen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen abzuleiten.</p> <p>Das Experiment kann jedoch auch zuerst gemacht werden, sich dann mit der Struktur befassen werden u. am Ende allgemeine Aussagen zu treffen</p> | <p>FD, 26.11.18 12:18</p> <p>Titel: Zuordnung ErkW</p> <p>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn</p> <p>Vp beschreibt im ersten Teil eher den progr.-red. Erkenntnisweg, wobei sie so klar den Übergang zum Experiment nicht ausformuliert. Die Verallgemeinerung auf Alkohole hat nichts mehr mit Problemstellungen zu tun, die mit dem DC-Experiment in Verbindung gebracht werden können.</p> |

Anhand der Ausführungen von Vp11 wird die Codierung erläutert.

„Ein induktiver Erkenntnisweg lässt sich über ein Fallbeispiel aufbauen, bei welchem durch ein „Unglück“ einige Farbstoffe miteinander vermischt wurden, die man wieder zu trennen versucht.

Die Methode kann verallgemeinert werden, sofern sie zum Ziel führt.“  
(Dokument: 111f Erkenntniswege)

Der gewählte Einstieg des Segmentes im Dokument „111f Erkenntniswege“ ist eine Fallsituation, die zunächst eine Problemanalyse erfordert. Es ist weniger eine analytische Fragestellung für die Chromatografie, denn sie impliziert, dass verschiedene Farbstoffe in größerer Menge vermischt wurden, die wieder getrennt werden sollen. Der Ansatz entspricht i. S. der Ersterarbeitung einem regressiv- bzw. progressiv-reduktiven Vorgehen, je nachdem ob an Vorkenntnisse der Lernenden zu den theoretischen Grundlagen angeknüpft werden kann oder nicht. Die von der Vp angedachte Probleminduktion wird mit den Codes PR1 und PR2 des progressiv-reduktiven Vorgehens codiert, da dieser Erkenntnisgang dem induktiven Vorgehen entspricht (s. Kap. 6.4.2, S. 52). Insgesamt wurden folgende Codes zugeordnet:

- I1 mehrere Einzelfälle charakterisieren
- I2 Formulierung allgemeingültiger Aussagen
- PR1 Bewusstmachen eines Problems
- PR2 Entscheiden über Lösungsweg
- unzureichende Beschreibung
- falsche Zuordnung d. Erkenntnisweges

Bei den Aufgaben 2f und 4L3 waren die Erkenntniswege jeweils vorgegeben. Im ersten Durchgang war in der Aufgabe 4L3 (Teil D) ein regressiv-reduktiver Erkenntnisweg zu skizzieren, während in den anderen Durchgängen in der Aufgabe 4L3 (Teil D) ein progressiv-reduktiver Erkenntnisweg darzustellen war. Die Segmente werden nur mit den des jeweiligen Erkenntnisganges vorgesehen Codes codiert.

### 12.3.3.3 Kategoriensystem zur Auswertung der genannten Problem- und Fragestellungen als Ausgangspunkt für die didaktische Linienführung

Es wurden verschiedene Auswertungsstrategien getestet, u. a. die Zuordnung der Inhaltscodes, die hinter der genannten Problem- und Fragestellung stehen. Es sollte auf diese Weise gespiegelt werden, welche Inhaltscodes hinter der genannten Problemstellung stecken und welche davon von den Vpn in den inhaltsorientierten Aufgaben berücksichtigt wurden. Diese Auswertungsstrategie musste leider verworfen werden, weil die Zuordnung von Inhaltscodes besonders schwer zu entscheiden war, wenn Aufgabenstellungen sehr allgemein verfasst waren. Die Codierung hätte daher nicht konsistent genug erfolgen können, um daraus belastbare Schlüsse zu ziehen.

Die Kategorien zur Analyse der von den Vpn genannten Problem- und Fragestellungen wurden letztendlich induktiv nach den darin thematisierten Inhaltsaspekten hergeleitet. In Tab. 75 sind sie zusammengefasst.

Tab. 75: Kategorien zu genannten Problem- und Fragestellungen im Teil A

| Hauptkategorie                        | Subkategorie 1              | Subkategorie 2                        |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1d Problemstellungen für Unt. zu Exp. | 1d1 Trennung FG             | 1d1.1 Überprüfung auf Sudanrot G      |
|                                       |                             | 1d1.2 Überprüfung auf Verunreinigung  |
|                                       |                             | 1d1.3 Identifikation Komponenten      |
|                                       |                             | 1d1.4 Feststellung Zusammensetzung    |
|                                       | 1d2 Ermittlung Bedingung LM | 1d2.1 Einfluss unterschiedl. LM       |
|                                       |                             | 1d2.2 Einfluss (un)polare LM          |
| 1e Fragen für Unt. zu Exp.            | 1d3 Trennmethode DC         |                                       |
|                                       | 1e1 zum Laufmittel          | 1e1.1 LM f. optimale Trennung         |
|                                       |                             | 1e1.2 Eig LM                          |
|                                       |                             | 1e1.3 Str-Eig LM                      |
|                                       | 1e2 zum Stoffgemisch        | 1e2.1 Anz. Bestandteile               |
|                                       |                             | 1e2.2 Erklärung f. Verhalten A (StrM) |
|                                       |                             | 1e2.3 Überprüfung auf Sudanrot G      |
|                                       |                             | 1e2.4 Wanderungsgeschwindigkeiten     |
|                                       | 1e3 zur Methode             | 1e3.1 Begriffe                        |
|                                       |                             | 1e3.2 Auswertung                      |
|                                       |                             | 1e3.2.1 Kenngrößen                    |
|                                       |                             | 1e3.2.2 Bewegung Analyt               |
| 1e Fragen für Unt. zu Exp.            | 1e3 zur Methode             | 1e3.3 Arbeitsmittel                   |
|                                       |                             | 1e3.4 Wirkprinzip                     |
|                                       | 1e4 zu weiteren Bedingungen | 1e3.4.1 Str-Eig-Beziehungen           |
|                                       |                             | 1e4.1 Silicagelplatten                |
|                                       |                             | 1e4.2 Laufzeit                        |

Bei den Kategorien im Teil B wurden die Kategorien aus Teil A im Wesentlichen beibehalten und um die Inhaltsaspekte ergänzt, die neu hinzugekommen sind. Auf diese Weise ist besser vergleichbar, welche Inhaltsaspekte aus Teil A im Teil B nicht mehr thematisiert wurden und welche neu hinzugekommen sind. Anhand der neu hinzugekommenen Kategorien wird der Einfluss des englischen Textmaterials und der Bezug von 2e zu 2d deutlich, denn lt. 2d sollten mögliche Problemstellungen formuliert werden, über die das Experiment auf der Grundlage der im Textmaterial dargestellten Zusammenhänge im Unterricht hätte eingebunden sein können.

Tab. 76: Kategorien zu genannten Problem- und Fragestellungen im Teil B

| Hauptkategorie                                 | Subkategorie 1                     | Subkategorie 2                                              |
|------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 2d Problemstellungen aus Text für Unt. zu Exp. | 2d0 keine Problemstellung entdeckt |                                                             |
|                                                | 2d0 s. 1d                          |                                                             |
|                                                | 2d1 Trennung FG                    |                                                             |
|                                                | 2d2 Ermittlung Bedingung LM        | 2d2.1 Einfluss unterschiedl. LM                             |
|                                                |                                    | 2d2.2 Einfluss (un)polare LM                                |
|                                                |                                    | 2d2.3 mit DC geeignetes LM f. HPLC finden                   |
|                                                |                                    | 2d2.4 StrM-WW-Beziehungen                                   |
|                                                | 2d3 Trennmethode                   | 2d3.1 Trennmethode DC<br>2d3.1.1 als Ersatz f. HPLC         |
|                                                |                                    | 2d3.2 HPLC<br>2d3.2.1 teuer (-> notwendig f. Trennproblem?) |
|                                                | 2d4 weitere Bedingungen            |                                                             |
| 2e Fragen für Unt. zu Exp.                     | 2e1 zum Laufmittel                 | 2e1.1 LM f. optimale Trennung                               |
|                                                |                                    | 2e1.2 Eig LM                                                |
|                                                |                                    | 2e1.3 Str-Eig LM                                            |
|                                                |                                    | 2e1.4 Eluotrope Reihe                                       |
|                                                | 2e2 zum Stoffgemisch               | 2e2.1 Anz. Bestandteile                                     |
|                                                |                                    | 2e2.2 Erklärung f. Verhalten A (StrM)                       |
|                                                |                                    | 2e2.3 Überprüfung auf Sudanrot G                            |
|                                                |                                    | 2e2.4 Wanderungsgeschwindigkeiten                           |
|                                                |                                    | 2e2.5 Str Stoffe                                            |
|                                                | 2e3 zur Methode                    | 2e3.1 Begriffe                                              |

| Hauptkategorie             | Subkategorie 1              | Subkategorie 2                                                                                   |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2e Fragen für Unt. zu Exp. | 2e3 zur Methode             | 2e3.2 Auswertung<br>2e3.2.1 Kenngrößen<br>2e3.2.2 Quantifizierung<br>2e3.2.3 Begründung Ergebnis |
|                            |                             | 2e3.3 Arbeitsmittel                                                                              |
|                            |                             | 2e3.4 Wirkprinzip<br>2e3.4.1 Str-Eig-Beziehungen<br>2e3.4.2 Einflussgrößen                       |
|                            |                             | 2e3.5 DC<br>2e3.5.1 Methodenentwicklung für HPLC                                                 |
|                            |                             | 2e3.6 HPLC                                                                                       |
|                            |                             | 2e3.7 Vor- und Nachteile                                                                         |
|                            | 2e4 zu weiteren Bedingungen | 2e4.1 Silicagelplatten                                                                           |
|                            |                             | 2e4.2 Laufzeit                                                                                   |

#### 12.3.3.4 Codierung der Daten zu Problem- und Fragestellungen

Die Segmente, in denen Problem- bzw. Fragestellungen genannt wurden, wurden zunächst der jeweiligen Subkategorie 1 zugeordnet. Im Anschluss wurde die Spezifizierung des Hauptinhaltsaspektes der jeweiligen Subkategorie 2 zugeordnet, die im Wesentlichen selbsterklärend sind. Einige Besonderheiten werden kurz anhand der Aufgaben 1e und 2e zu Fragestellungen erklärt:

- Wird bspw. von „Eignung des Laufmittels“ gesprochen, wird die Frage dem Code 1e1.1 bzw. 2e1.1 zugeordnet.
- Unter „Begriffe“ (1e3 bzw. 2e3) bei „zur Methode“ werden solche Fragen zugeordnet, bei denen es um die Erklärung von Grundbegriffen der Chromatografie geht, wie z. B. Bedeutung von mobiler und stationärer Phase, Unterschied zwischen RPC und NPC.
- Dem Wirkprinzip werden Fragestellungen nur dann zugeordnet, wenn sie Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Komponenten und deren Wechselwirkungen im Zusammenhang mit dem Trennvorgang thematisieren. Werden Struktur-Eigenschaftsbeziehungen nur in Bezug auf eine der Komponenten betrachtet, werden sie der Kategorie der jeweiligen Komponente (Laufmittel, Stoffgemisch) zugeordnet. Ausnahme ist, wenn bei Strukturbetrachtungen des Stoffgemisches von „Verhalten“ die Rede ist, weil damit das Wechselwirken mit den anderen Komponenten impliziert wird.
- Unter Arbeitsmittel werden alle Fragen zugeordnet, die den apparativen Aufbau, die Durchführung des Experimentes oder die Funktionsweise thematisieren. Dazu gehören auch Fragen mit Formulierungen wie „auf welche Art und Weise wird Chromatografie durchgeführt“.

Diese Codes wurden abschließend den Textsegmenten aus 1f zugeordnet, um zu überprüfen, inwiefern die Problem- und Fragestellungen bei den Erkenntniswegen thematisiert wurden. Dazu wurden in MAXQDA nach der Codierung beim Erstellen der Code-Matrix zunächst nur die Codes zu 1d und 1e aktiviert. Zur Darstellung aller Inhaltsaspekte, die in den Aufgaben 1d, 1e und 1f vorkamen, wurden alle Dokumente zu 1d, 1e und 1f aktiviert (s. Tab. 115, S. 281). Zur Darstellung der Inhaltsaspekte, die nur unter 1f (den Erkenntniswegen) zum Tragen kamen, wurden nur die Dokumente zu 1f aktiviert (s. Tab. 116, S. 281). Die Code-Matrix wurde dann für die Dokumentensets erstellt, d.h. die Spalten der Code-Matrix zeigen nur die Nummern der Vpn an, für die jeweils die Sets angelegt wurden (s. Kap. 12.3.1 Aufbereitung der Daten der Vpn für die qualitative Inhaltsanalyse, S. 184).

#### **12.3.3.5 Bewertung der fachdidaktischen Verwertung des von den Vpn erworbenen Wissens**

##### **a) Erkenntniswege**

Zur Bewertung der Erkenntniswege, die von den Vpn in den Aufgaben 1f, 2f und 4L3 dargelegt wurden, wurden Code-Matrizes erstellt. In einer Code-Matrix werden alle von den jeweiligen Vpn berücksichtigten Lernschritte mit den jeweils zugrunde liegenden Inhaltsaspekten entsprechend der Codes des Kategoriensystems (s. Abb. 46, S. 212) dargestellt. An der Code-Matrix, bei der alle drei Aufgaben berücksichtigt wurden, kann abgelesen werden, wie sich die Ausführungen der Vpn in der Untersetzung der Erkenntniswege insgesamt unterscheiden. Um Rückschlüsse zu ziehen, wie sich die Auseinandersetzung mit dem englischen Textmaterial ausgewirkt hat, wird demgegenüber eine Code-Matrix erstellt, in der nur die Segmente aus Aufgabe 1f berücksichtigt wurden. In gleicher Weise werden jeweils Code-Matrizes für Aufgabe 2f und Aufgabe 4L3 erstellt. Letztere wird unterschieden nach Durchgang 1 (4L3.1 regressiv-reduktives Vorgehen) und den Durchgängen 2 bis 7 (4L3.2 progressiv-reduktives Vorgehen).

Kommt in der Code-Matrix bei einer Vp der Code „falsche Zuordnung d. Erkenntnisweges“ vor, kann in den Code-Matrizes zu „1f“ und „1f, 2f, 4L3“ nicht abgelesen werden, welcher Erkenntnisweg von der Vp falsch eingeordnet wurde. Die zugeordneten Lernschritte in den Code-Matrizes zeigen nur an, welche Lernschritte von den Vpn beschrieben wurden, unabhängig davon, welchem Erkenntnisweg die Vpn die beschriebenen Lernschritte selbst zugeordnet haben. Die Ungenauigkeiten in der Differenzierung der Erkenntniswege werden konkret an Segmenten diskutiert, wie bereits im Kap. 12.3.3.2 (S. 213) exemplarisch geschehen.

##### **b) Problem- und Fragestellungen für den Unterricht**

Bewertet wird zunächst der Umfang und die Vielfalt der in den Aufgaben 1d, 1e, 2d und 2e angedachten Problem- und Fragestellungen. Dem werden nur die im Teil A in den Aufgaben 1d, 1e und 1f abgebildeten Problem- und Fragestellungen gegenübergestellt. Über die Unterschiede wird ersichtlich, inwiefern die Textarbeit dazu geführt hat, dass weitere Inhaltsaspekte im Teil B in den Aufgaben 2d und 2e in den Blick genommen wurden. Be-



trachtet man nur die unter 1f im Teil A berücksichtigten Problem- und Fragestellungen, dann kann überprüft werden, inwiefern die in 1d und 1e angedachten Frage- und Problemstellungen auch bei den Erkenntniswegen (also in 1f) berücksichtigt wurden.

### 12.3.3.6 Zusammenfassung der Auswertung nach fachdidaktischen Gesichtspunkten

Die Aufgaben zu fachdidaktischen Fragestellungen fokussieren auf die fachdidaktische Verwertung des neu erworbenen Wissens. Die Ergebnisse der Datenauswertung sollen u. a. Rückschlüsse zulassen, wie sich der Erkenntnisgewinn der Vpn vom Teil A bis zum Teil D auf ihre Ausführungen zu Erkenntniswegen sowie den dazugehörigen Problem- und Fragestellungen für den Unterricht auswirkt. Des Weiteren werden z. T. auch Defizite im fachdidaktischen Wissen offenbar, wenn bspw. Erkenntniswege falsch zugeordnet werden.

Tab. 77: Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden der fachdidaktisch orientierten Aufgaben

| <b>Hauptuntersuchung Teil 2: Umsetzung des Lehr-Lernkonzeptes (N=13)</b>                                      |                                     |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ziel</b>                                                                                                   | <b>Methode</b>                      | <b>Auswertung</b>                                                                                                                       | <b>Ergebnisse</b>                                                                                                                                                  |
| fachdidaktische Verwertung des Vorwissens (T2_A_d_e_f)                                                        | QUAL<br>Teil A:<br>Aufgaben 1d – 1f | QIA: QUAL in quant <sup>134</sup><br>Bestimmung erfasster Codes<br>Codierung der Daten zu Problem-, Fragestellungen und Erkenntniswegen | Erstellung von Code-Matrizes<br>Klassifikation der fachdidaktischen Verwertung (hoch, mittel, gering) nach Anzahl und Abdeckung der Codes                          |
| fachdidaktische Verwertung des durch die Rezeption des englischen Textmaterials erworbenen Wissens (T2_B_d_f) | QUAL<br>Teil B:<br>Aufgaben 2d–f    | QIA: QUAL in quant<br>Bestimmung erfasster Codes<br>Codierung der Daten zu Problem-, Fragestellungen und regressiv-reduktiven Vorgehen  | Erstellung von Code-Matrizes und Code-Konfigurationen<br>Klassifikation der fachdidaktischen Verwertung (hoch, mittel, gering) nach Anzahl und Abdeckung der Codes |
| fachdidaktische Verwertung des durch die Rezeption des englischen Textmaterials erworbenen Wissens (T2_D_L3)  | QUAL<br>Teil D:<br>Aufgabe 4L3      | QIA: QUAL in quant<br>Bestimmung erfasster Codes<br>Codierung der Daten zum progressiv-reduktiven Vorgehen                              | Erstellung von Code-Matrizes und Code-Konfigurationen<br>Klassifikation der fachdidaktischen Verwertung (hoch, mittel, gering) nach Anzahl und Abdeckung der Codes |

<sup>134</sup> Aus der qualitativen Inhaltsanalyse (QIA) werden die qualitativen Daten (QUAL) in quantitative Daten (quant) überführt.

| <b>Hauptuntersuchung Teil 2: Umsetzung des Lehr-Lernkonzeptes (N=13)</b> |                              |                         |                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ziel</b>                                                              | <b>Methode</b>               | <b>Auswertung</b>       | <b>Ergebnisse</b>                                                                        |
| Gesamtauswertung und Erstellung der Teilnehmerprofile                    | Zusammenführung QUAL (quant) | deskriptiv/inferentiell | Grad der fachdidaktischen Verwertung in Abhängigkeit des fachlichen Tiefenverständnisses |

QIA: Qualitative Inhaltsanalyse; QUAL: qualitativ (hohe Priorität); quant: quantitativ (geringere Priorität);  
 QUAL (quant): quantitative Daten werden in die Auswertung der qualitativen Daten integriert;  
 Vpn: Versuchspersonen

#### **12.3.4 Analyse und Auswertung der Daten nach Gesichtspunkten der Anwendung des erworbenen Wissen**

Die auszuwertenden Daten gehören zum Teil E (dem fünften Aufgabenkomplex). Die Vpn wurden in diesem Teil mit Schülerformulierungen konfrontiert. Entsprechend der Beschreibung des Aufgabenkomplexes im Abschnitt 11.5.6.6 beziehen sich die vier zu analysierenden Schülerantworten auf drei Anwendungsaufgaben zur dünnsschichtchromatografischen Trennung eines Farbstoffgemisches, die mit 1a, 1b, und 1c unterschieden wurden. Während es in 1a darum ging, aus dem Laufverhalten der Analyten auf deren Polarität zu schließen, musste in 1b und 1c die Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel eingeschätzt werden, um daraus abzuleiten, wie sich die jeweilige Elutionskraft auf das Trennergebnis auswirkt.

In jeder Schülerantwort waren Fehlkonzepte enthalten, die von den Vpn herauszustellen waren. Die Schülerantwort 1 (A1) bezieht sich auf die Aufgabe 1a und die Schülerantworten 2, 3 und 4 (A2, A3 bzw. A4) beziehen sich auf die Aufgaben 1b und 1c. Nach der Analyse der Schülerformulierungen sollten Vorschläge gemacht werden, wie im Unterricht der nicht verstandene Sachverhalt erklärt werden würde (ggf. mit Skizzen zur Veranschaulichung).

Das Kategoriensystem wurde primär deduktiv entwickelt und wird im Folgenden dargestellt. Es wurde von zwei Experten begutachtet und akzeptiert. Ebenso wurden von ihnen die Codierungen überprüft. Die beiden Experten waren bereits an der Überprüfung des Kategoriensystems und den vorgenommenen Codierungen der ersten vier Aufgabenkomplexe beteiligt, sodass sie ausreichend mit der Thematik vertraut waren, um eine solche Überprüfung sachgerecht vornehmen zu können.

##### **12.3.4.1 Kategoriensystem zur Auswertung der Analyse der Schülerfehlkonzepte im fünften Aufgabenkomplex**

Das Kategoriensystem wurde in der Logik entwickelt, wie man eine systematische Bearbeitung der Aufgabe vornehmen würde – vom Erwartungsbild über die Analyse der Schülerantworten bis hin zum methodischen Vorgehen zur Behebung der Schülerfehlkonzepte. Das entspricht sogar der Vorgehensweise einiger Vpn. Je nachdem bis zu welchem Grad die Schülerfehlkonzepte erkannt wurden, wurde eine Gesamtbewertung nach vollständig, teilweise oder gar nicht erkannt unterschieden.

Die drei Hauptkategorien<sup>135</sup> sind: Erwartungsbild, Richtigkeit der Schüleraussagen (korrekte, falsche bzw. fehlende Aussagen) und Erklärung für den Unterricht. Jede dieser Hauptkategorien wurde für jede Schülerantwort inhaltlich entsprechend untersetzt (s. Tab. 78 für A1, Tab. 79 bis Tab. 83 für A2, A3 und A4).

#### a) Zur Schülerantwort 1 (A1)

Zur ersten Schülerantwort (A1) sind in Tab. 78 alle für die Analyse relevanten Aspekte zusammengefasst. Die ersten beiden Spalten enthalten die Kategorien des Kategoriensystems. Die dritte Spalte skizziert die Inhaltsaspekte, die beim Erwartungsbild, bei der Schülerantwort und der Erklärung für den Unterricht zu betrachten sind. In dieser Logik wären die Ausführungen der Vpn zur Schülerantwort (A1) zu erwarten.

Tab. 78: Kategorien zu Schülerfehlkonzepten (A1) bzgl. des Laufverhaltens und der Polarität der Analyten

| Hauptkategorie                                  | Subkategorien                                                                                         | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1 (v) Vp erkennt Fehlkonzentration vollständig |                                                                                                       | Es reicht aus, wenn eine der falschen Aussagen in der Schülerantwort (A1) erkannt wurde (A2.1 oder A2.2). A2.2 wäre aus Expertensicht eine weitere, wenn auch unwahrscheinliche, Option gewesen, das Fehlkonzentration der Schülerantwort zu deuten. Diese Option wird von keiner der Vpn in Erwägung gezogen. Sie wird aber der Vollständigkeit halber in der Code-Matrix belassen. |
| A1 (t) Vp erkennt Fehlkonzentration teilweise   |                                                                                                       | s. Erklärung im Ergebnisteil zu Vp10 (S. 285)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| A1 (n) Vp erkennt Fehlkonzentration nicht       |                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1a Sonstige                                     |                                                                                                       | Anmerkungen und Überlegungen der Vpn, die inhaltlich keinem anderen Code zugeordnet werden können.                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1a Erwartungsbild                               | 1a_1 Beschreibung Verhaltensbedingung<br>1a_1.1 SIL stPh hoch polar<br>1a_1.2 Toluol mPh gering polar | Unter den gegebenen Verhaltensbedingungen: stationäre Phase ist SIL und damit polar; die mobile Phase ist Toluol und damit gering polar.                                                                                                                                                                                                                                             |

<sup>135</sup> Die ersten vier Codes A1 (v), A1(t), A1 (n) und 1a Sonstige in Tab. 78 werden hier vernachlässigt.

| Hauptkategorie             | Subkategorien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1a<br>Erwartungsbild       | 1a_2 Begründung<br>Trennergebnis<br>1a_2.1 Indophenol/<br>Analyt polar<br>1a_2.2 RF/Laufstrecke<br>Indophenol/Analyt ge-<br>ring<br>1a_2.3 WW stPh und<br>Indophenol/Analyt<br>hoch<br>1a_2.4 RF/Laufstrecke<br>Analyt mittel<br>1a_2.5 WW stPh und<br>Analyt mittel<br>1a_2.6 RF/Laufstrecke<br>Analyt hoch<br>1a_2.7 WW stPh und<br>Analyt gering | <p>Da stationäre Phase (SIL) polar ist, gehen polare Analyten beson-<br/>ders hohe WW mit der stationären Phase ein und werden damit<br/>besonders stark zurückgehalten. Somit ist Indophenol weniger<br/>polar als die unterste Substanz, die am stärksten zurückgehalten<br/>wird, aber polarer als die beiden oberen Substanzen, die etwas<br/>weiter gewandert sind.</p> <p>Die WW von Analyten/stationärer Phase mit der mobilen Phase<br/>können vernachlässigt werden: WW zwischen mobiler Phase und<br/>Analyten sind eher gering, da beide (Analyten und mobile Phase)<br/>gering polar sind. Sie sind stark genug, um Analyten von der sta-<br/>tionären Phase zu desorbieren. Die unterschiedlichen <math>R_F</math>-Werte<br/>der Analyten sind auf die unterschiedlich starken WW der Analy-<br/>ten mit der stationären Phase zurückzuführen.</p> <p>WW zwischen Toluol (mPh) und SIL (stPh) sind gering, dass<br/>Moleküle der mobilen Phase, die an stationären Phase adsorbiert<br/>sind, von Analyten verdrängt werden können.</p> <p>WW der mobilen Phase mit der stationären Phase und den Analy-<br/>ten sind aber auch stark genug, um Analyten auch wieder von der<br/>stationären Phase zu lösen/desorbieren.</p> |
| 1a Analyse<br>Antw. 1 (A1) | A1_1 korrekte Aussa-<br>gen Ln<br>A1_1.1 SIL, stationäre<br>Phase, ist polar<br>A1_1.2 WW gering<br>zw. polaren und unpo-<br>laren Stoffen                                                                                                                                                                                                          | Der/Die Lernende<br>stuft SIL, die stationäre Phase, als polar ein<br>stuft WW zwischen polaren und unpolaren Stoffen als gering ein                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                            | A1_2 falsche Aussa-<br>gen Ln<br>A1_2.1 WW Analyt<br>mit statPh gering führt<br>zu ge Lst/ho Ret<br>A1_2.1.1 Indophenol<br>weniger polar als Ana-<br>lyten 3 u.4<br>A1_2.1.2 Indophenol<br>polarer als Analyt 1<br>A1_2.2 Verwechslung:<br>Ln meint mPh statt<br>stPh<br>A1_2.2.1 mPh (Tolu-<br>ol) ist polar                                       | Der/Die Lernende<br>– schlussfolgert, dass der Farbstoff, der die geringsten<br>WW mit stationärer Phase eingeht, am geringsten mit-<br>läuft, also am stärksten zurückgehalten wird („nicht weit<br>mitläuft“).<br>Aus diesem Fehlkonzentrat leitet der/die Schüler/in folgerichtig ab,<br>dass Indophenol „polarer als die erste Substanz, aber unpolarer<br>als die [...] nachfolgenden Substanzen“ ist.<br>oder<br>– verwechselt Begriff stationäre Phase mit mobiler Phase,<br>dann wäre allerdings die Einschätzung von Toluol als<br>polares Laufmittel falsch.<br>Aus diesem Fehlkonzentrat wäre ebenfalls folgerichtig abgeleitet,<br>dass Indophenol „polarer als die erste Substanz, aber unpolarer<br>als die [...] nachfolgenden Substanzen“ ist.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

| Hauptkategorie                | Subkategorien                                                                                                                                                                                                                                                                             | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1_3 Erklärung für Unterricht | <p>A1_3.1 Gegenüberstellung RF (un)polarer Analyten</p> <p>A1_3.2 Gegenüberstellung StrM u. Polarität der Analyten</p> <p>A1_3.3 Gegenüberstellung StrM u. WW</p> <p>A1_3.4 Begründen d. Laufverhaltens Analyt (gepo vs hopo)</p> <p>A1_3.5 Falsifikation Aussagen der Ln (Prognosen)</p> | <p>Im Unterricht müsste noch einmal das Laufverhalten von Indophenol und Buttergelb gegenübergestellt werden.</p> <p>Man könnte mit der falschen Aussage des Schülers/der Schülerin beginnen, die experimentell überprüft wird bzw. mit dem bereits vorhandenen Chromatogramm gegenübergestellt wird.</p> <p>Dazu muss die Polarität von Buttergelb und Indophenol anhand der Strukturmerkmale beurteilt werden.</p> <p>Indophenol und Buttergelb bestehen beide aus Benzolringen, die nur eine geringe Polarität haben, aber gut polarisierbar sind durch polare funktionelle Gruppen.</p> <p>Indophenol hat drei polare funktionelle Gruppen: Hydroxyl-, Keto- und Iminogruppe, die auch H-Brückenbindungen mit dem Silicagel eingehen können. Das sind sehr starke WW.</p> <p>Buttergelb hat dagegen nur eine Dimethylaminogruppe, die eine geringe Polarität hat, sodass nur van der Waals-Kräfte zwischen Buttergelb und Silicagel auftreten. Das sind sehr schwache WW.</p> <p>Demnach ist Indophenol polarer als Buttergelb und geht auch die stärkeren WW mit der stationären Phase ein.</p> <p>Die Prognosen entsprechend des Fehlkonzeptes der Lernenden lauten:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Buttergelb ist unpolar, geht kaum WW mit der polaren stationären Phase ein und läuft nicht weit nach oben – kurze Laufstrecke.</li> <li>2. Indophenol ist polarer, geht stärkere WW mit der stationären Phase ein und läuft weiter nach oben – größere Laufstrecke.</li> </ol> <p>Falsifikation der Prognose: Das Ergebnis zeigt, dass Buttergelb am weitesten läuft.</p> <p>Daraus folgt, dass der Analyt am weitesten läuft, der die geringsten WW mit der stationären Phase eingeht.</p> <p>Es kann noch einmal hervorgehoben werden, dass die stationäre Phase sich nicht bewegt. Wenn also ein Analyt mit ihr in WW tritt, wird er von ihr an der weiteren Bewegung gehindert, also zurückgehalten/adsorbiert.</p> <p>Erst wenn der Analyt von der mobilen Phase desorbiert wird, bewegt er sich weiter.</p> <p>Je geringer die WW des Analyten mit der stationären Phase ist, desto leichter kann er von der mobilen Phase desorbiert werden.</p> |
|                               | A1_3.6 Personifikation                                                                                                                                                                                                                                                                    | Dieser Code wurde induktiv hinzugefügt, weil eine Vp das Laufverhalten der Analyten anhand menschlicher Verhaltensmuster erklärt hat (s. Ausführungen im Ergebnisteil zu Vp01 auf S. 286).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

**b) Zu den Schülerantworten 2 bis 4 (A2, A3, A4)**

Die Schülerantworten 2 bis 4 (A2, A3, A4) beziehen sich auf die Anwendungsaufgaben 1b–c. Daher wurde für alle drei Antworten nur ein Erwartungsbild und nur eine Variante zum methodischen Vorgehen zur Behebung der Schülerfehlkonzepte erarbeitet, um daraus Kategorien zur qualitativen Inhaltsanalyse der Daten im Teil E zu erstellen. Jede der folgenden Tabellen ist wie bei der Schülerantwort A1 aufgebaut. Die ersten beiden Spalten enthalten die Kategorien des Kategoriensystems. Die dritte Spalte skizziert die Inhaltsaspekte, die beim Erwartungsbild (s. Tab. 79), bei den Schülerantworten (s. Tab. 80 bis Tab. 82) und der Erklärung für den Unterricht (s. Tab. 83) zu betrachten sind. In dieser Logik wären die Ausführungen der Vpn zu den Schülerantworten (A2, A3, A4) zu erwarten.

Tab. 79: Kategorien zum Erwartungsbild 1b–c bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse

| Hauptkategorie      | Subkategorien                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1b-c fehlerhaft     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | fehlerhafte Aussagen der Vpn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1b-c Sonstige       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Anmerkungen und Überlegungen der Vpn, die inhaltlich keinem anderen Code zugeordnet werden können.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1b–c Erwartungsbild | 1b-c_1 Begründung Elutionskraft Cyclohexan u. Ethanol<br><br>1b-c_1.1 Cyclohexan hat sehr gering Polarität<br><br>1b-c_1.2 Cyclohexan konkurriert auf hopo stPh gering um Adsorptionsplätze.<br><br>1b-c_1.3 Ethanol hat sehr hoch Polarität<br><br>1b-c_1.4 Ethanol konkurriert auf hopo stPh hoch um Adsorptionsplätze. | 1b) Cyclohexan ist ein zyklischer Kohlenwasserstoff, der nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen besteht und damit eine nur sehr geringe Polarität hat.<br><br>Die WW zwischen Cyclohexan und der polaren stationären Phase (SIL) sind nur sehr gering, sodass Cyclohexan nur gering um Adsorptionsplätze konkurriert und damit nur eine geringe Elutionskraft hat.<br><br>1c) Bei Ethanol verhält es sich genau umgekehrt. Ethanol besteht aus einem Ethylrest und einer Hydroxylgruppe und ist damit sehr polar.<br><br>Die Hydroxylgruppen von Ethanol und Silicagel können H-Brückenbindungen eingehen, die sehr stark sind. Damit konkurriert Ethanol sehr stark um Adsorptionsplätze und hat demnach eine sehr hohe Elutionskraft. |
|                     | 1b-c_2 Prognose Trennergebnis Cyclohexan u. Ethanol<br><br>1b-c_2.1 Analyt bleibt bei Cyclohexan an Startlinie<br><br>1b-c_2.2 Analyt wandert bei Ethanol bis Laufmittelfront                                                                                                                                             | 1b) Cyclohexan konkurriert deutlich geringer um Adsorptionsplätze als die Analyten, die durch polare funktionelle Gruppen deutlich stärkere WW mit der polaren stationären Phase (SIL) eingehen als Cyclohexan.<br><br>Die Analyten werden daher nahe an der Startlinie bleiben.<br><br>1c) Ethanol konkurriert deutlich stärker um Adsorptionsplätze als die Analyten, die zwar durch polare funktionelle Gruppen auch starke WW mit der polaren stationären Phase (SIL) eingehen, aber Ethanol, das als Laufmittel im Überschuss vorhanden ist, kaum/nicht von der stationären Phase verdrängen können.<br><br>Die Analyten werden daher bis zur Laufmittelfront mitgerissen.                                                             |

Tab. 80: Kategorien zu Schülerfehlkonzepten (A2) bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse

| Hauptkategorie                                  | Subkategorien                                                                                                                                                                                                                                                                          | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A2 (v) Vp erkennt Fehlkonzentration vollständig |                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Der Code wurde dann zugeordnet, wenn eine falsche und eine fehlende Aussage oder zwei fehlende Aussagen der/des Ln erkannt wurden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| A2 (t) Vp erkennt Fehlkonzentration teilweise   |                                                                                                                                                                                                                                                                                        | s. Erklärung im Ergebnisteil zu Vp04 (S. 288)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| A2 (n) Vp erkennt Fehlkonzentration nicht       |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1b–c Analyse<br>Antw. 2 (A2)                    | A2_1 korrekte Aussagen Ln<br>A2_1.1 Cyclohexan hat ge Polarität<br>A2_1.2 Indophenol bleibt bei Cyclohexan auf Startlinie<br>A2_1.3 Ethanol hat hoch WW mit stat. Phase<br>A2_1.4 Indophenol wandert bei EthOH bis Laufmittelfront                                                     | Der/Die Lernende <ul style="list-style-type: none"> <li>– schätzt Cyclohexan als unpolar ein</li> <li>– prognostiziert, dass Indophenol bei Cyclohexan auf der Startlinie bleiben würde</li> <li>– schätzt die WW zwischen Ethanol und stationärer Phase als stark ein</li> <li>– prognostiziert, dass Indophenol bei Ethanol bis zur Laufmittelfront mitläuft</li> </ul>                                                                                                                                                                                               |
|                                                 | A2_2 falsche Aussagen Ln<br>A2_2.1 keine WW bei Cyclohexan                                                                                                                                                                                                                             | Der/Die Lernende<br>schätzt ein, dass bei Cyclohexan keine WW stattfinden (fachlich korrekt wäre, dass unpolare Moleküle schwache WW [van der Waals-Kräfte] eingehen).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                                                 | A2_3 fehlende Aussagen Ln<br>A2_3.1 Charakterisierung d. Indophenols/d. FG<br>A2_3.2 Charakterisierung der Elutionskraft der Laufmittel<br>A2_3.3 WW Cyclohexan mit anderen Komponenten<br>A2_3.4 Laufverhalten der anderen drei Analyten<br>A2_3.5 Erklärung des Verdrängungsprinzips | Die Schlussfolgerungen, dass Indophenol bei Cyclohexan auf der Startlinie bleiben und bei Ethanol bis zur Laufmittelfront wandern würde, sind zwar richtig, aber die Begründungen sind unzureichend.<br>Es fehlen: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Charakterisierung des Indophenols/des Farbstoffgemisches</li> <li>– Charakterisierung der Elutionskraft der Laufmittel</li> <li>– Ausführung, zu welcher Komponente Cyclohexan keine WW eingeht</li> <li>– Laufverhalten der anderen drei Analyten</li> <li>– Erklärung des Verdrängungsprinzips</li> </ul> |

Tab. 81: Kategorien zu Schülerfehlkonzepten (A3) bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse

| Hauptkategorie                                  | Subkategorien                                                                                                                                                                        | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A3 (v) Vp erkennt Fehlkonzentration vollständig |                                                                                                                                                                                      | Der Code wurde dann zugeordnet, wenn zwei der drei falschen Aussagen der/des Ln erkannt wurden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| A3 (t) Vp erkennt Fehlkonzentration teilweise   |                                                                                                                                                                                      | s. Erklärung im Ergebnisteil zu Vp04 (S. 291)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| A3 (n) Vp erkennt Fehlkonzentration nicht       |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1b–c Analyse<br>Antw. 3 (A3)                    | A3_1 korrekte Aussagen Ln<br>A3_1.1 Toluol und Cyclohexan haben gleiche Polarität<br>A3_1.2 Toluol hat Methylgruppe                                                                  | Der/Die Lernende <ul style="list-style-type: none"> <li>– schätzt beide Laufmittel als unpolar ein</li> <li>– gibt an, dass Toluol eine CH<sub>3</sub>-Gruppe hat</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                 | A3_2 falsche Aussagen Ln<br>A3_2.1 Polarität Cyclohexan ist höher als Polarität Toluol<br>A3_2.2 Auftr. ändert sich m. Cyclohexan ggü. Toluol kaum<br>A3_2.3 LM hopo führt zu ge LsA | Der/Die Lernende <ul style="list-style-type: none"> <li>– schätzt ein, dass Toluol unpolarer als Cyclohexan ist (weiß daher nicht, dass Toluol durch den Benzolring leichter polarisierbar ist und damit etwas polarer als Cyclohexan ist)</li> <li>– schlussfolgert, dass die Substanzen mit dem etwas polaren Laufmittel eine geringere Laufstrecke zurücklegen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                                                 | A3_3 fehlende Aussagen Ln<br>A3_3.1 Charakterisierung d. Indophenols/d. FG<br>A3_3.2 Charakterisierung der Elutionskraft der Laufmittel<br>A3_3.3 Erklärung des Verdrängungsprinzips | Die Aussage, dass Cyclohexan die Stoffe/Substanzen weniger weit nach oben (Trennstrecke ist kleiner) trägt, ist zwar richtig, aber als Schlussfolgerung aus den falschen Prämissen der/des Lernende über die Polarität der Laufmittel logisch nicht ableitbar (Begründung ist falsch). Außerdem ist die Begründung unzureichend. Die Methylgruppe vom Toluolmolekül sorgt für eine höhere Elektronendichte im Benzolring.<br>Dies begünstigt WW von Toluol mit stärker elektropositiven Molekülen.<br>Es fehlen: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Charakterisierung des Indophenols/des Farbstoffgemisches</li> <li>– Charakterisierung der Elutionskraft der Laufmittel</li> <li>– Erklärung des Verdrängungsprinzips</li> </ul> |



Tab. 82: Kategorien zu Schülerfehlkonzepten (A4) bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse

| Hauptkategorie                                  | Subkategorien                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A4 (v) Vp erkennt Fehlkonzentration vollständig |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Der Code wurde dann zugeordnet, wenn zwei falsche oder eine falsche und eine fehlende Aussagen der/des Ln erkannt wurden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| A4 (t) Vp erkennt Fehlkonzentration teilweise   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Es gab keine Vp, der dieser Code zugeordnet wurde.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| A4 (n) Vp erkennt Fehlkonzentration nicht       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 1b–c Analyse<br>Antw. 4 (A4)                    | A4_1 korrekte Aussagen Ln<br>A4_1.1 stationäre Phase ist polar<br>A4_1.2 Cyclohexan, mobile Phase, ist unpolar<br>A4_1.3 Ethanol, mobile Phase, ist polar<br>A4_1.4 LM hopo wie Ethanol hat hohe Elutionskraft<br>A4_1.5 Substanz 1 am polarsten, Substanz 3 am unpolarsten<br>A4_1.6 Analyt (Nr. 1) hopo hat hoch WW mit hopo stPh<br>A4_1.7 Analyt (Nr. 3) gepo hat geringe WW mit hopo stPh<br>A4_1.8 starke WW d. Analyten m. stat. Ph führt zu ge LsA<br>A4_1.9 starke WW d. Analyten m. mob. Ph führt zu ho LsA<br>A4_1.10 geringe WW d. Analyten m. stat. Ph zu ho LsA<br>A4_1.11 geringe WW d. Analyten m. mob. Ph zu ge LsA | Der/Die Lernende <ul style="list-style-type: none"> <li>– stuft stationäre Phase als polar ein</li> <li>– stuft Cyclohexan, mobile Phase, als unpolar ein</li> <li>– stuft Ethanol, mobile Phase, als polar ein</li> <li>– schlussfolgert, dass hoch polares Laufmittel wie Ethanol hohe Elutionskraft hat</li> <li>– ordnet Substanzen nach steigender Polarität: Substanz 1 am polarsten, Substanz 3 am unpolarsten</li> <li>– schlussfolgert, dass hoch polarer Analyt (Substanz 1) hohe WW mit polarer stationären Phase und polarer mobilen Phase eingeht</li> <li>– schlussfolgert, dass gering polarer Analyt (Substanz 3) geringe WW mit polarer stationären Phase und polarer mobilen Phase eingeht</li> <li>– schlussfolgert, dass starke WW der Analyten mit stationärer Phase zu geringer Laufstrecke des Analyten führt</li> <li>– schlussfolgert, dass starke WW der Analyten mit mobiler Phase zu hoher Laufstrecke des Analyten führt</li> <li>– schlussfolgert, dass geringe WW der Analyten mit stationärer Phase zu hoher Laufstrecke des Analyten führt</li> <li>– schlussfolgert, dass geringe WW der Analyten mit mobiler Phase zu geringer Laufstrecke des Analyten führt</li> </ul> |

| Hauptkategorie               | Subkategorien                                                                                                                                                                        | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1b–c Analyse<br>Antw. 4 (A4) | A4_2 falsche Aussagen Ln<br><br>A4_2.1 Lst Analyt gepo mit Cyclohexan höher als mit Toluol<br><br>A4_2.2 Lst Analyt gepo mit Ethanol geringer als mit Toluol                         | Das Verdrängungsprinzip wurde nicht ausreichend verstanden<br><br>Der/Die Lernende <ul style="list-style-type: none"> <li>– schlussfolgert, dass unpolare Analyten mit Cyclohexan weiter wandern als mit Toluol.</li> <li>– schlussfolgert, dass unpolare Analyten mit Ethanol eine geringere Laufstrecke zurücklegen als mit Toluol</li> </ul> |
|                              | A4_3 fehlende Aussagen Ln<br>A4_3.1 WW zwischen Laufmittel und stationärer Phase<br>A4_3.2 Elutionskraft Ethanol zu hoch<br>A4_3.3 Ethanol konkurriert zu stark um Adsorptionsplätze | Der/Die Lernende <ul style="list-style-type: none"> <li>– vernachlässigt die WW zwischen Laufmittel und stationärer Phase</li> <li>– vernachlässigt, dass bei Ethanol die Elutionskraft so hoch ist, dass WW zwischen Analyt und stationärer Phase nicht möglich sind</li> </ul>                                                                |

Tab. 83: Kategorien für Erklärung im Unterricht zu Schülerfehlkonzepten (A2, A3, A4) bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse

| Hauptkategorie                  | Subkategorien                                                                                                           | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A2-4_1 Erklärung für Unterricht | A2-4_1.1 Gegenüberstellung Elutionswirkung versch. LM<br><br>A2-4_1.2 Begründen d. Laufverhaltens Analyt (gepo vs hopo) | <p>Elutionswirkung verschiedener Laufmittel</p> <p>Im Unterricht müsste noch einmal die Elutionswirkung von Hexan/Cyclohexan und Propanol/Ethanol gegenübergestellt werden.</p> <p>Bei einer polaren stationären Phase nimmt die Elutionskraft der Laufmittel mit steigender Polarität zu.</p> <p>Hierzu könnten die Chromatogramme der im Unterricht vorgenommenen Trennungen mit Hexan und Propanol analysiert werden.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                 | A2-4_1.3 Prognosen (Aussagen der Ln) zu Trennergebnissen                                                                | <p>Danach werden Prognosen formuliert, wie sich die Trennergebnisse ändern, wenn statt Hexan Cyclohexan und statt Propanol Ethanol eingesetzt werden.</p> <p>Die Lernenden könnten dazu die eluotrope Reihe für SIL zu Hilfe nehmen.</p> <p>Die Prognosen entsprechend der Fehlkonzepte der Lernenden lauten:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ethanol ist polar, hat die stärksten WW mit polaren Analyten, sodass               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) polare Analyten näher an der LM-Front sind als bei Propanol</li> <li>b) unpolare Analyten näher an der Startlinie sind als bei Propanol</li> </ol> </li> <li>2. Cyclohexan ist unpolar, hat die stärksten WW mit unpolaren Analyten, sodass               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) unpolare Analyten näher an der LM-Front sind als bei Toluol</li> <li>b) polare Analyten näher an der Startlinie sind als bei Toluol</li> </ol> </li> </ol> |

| Hauptkategorie                  | Subkategorien                                      | Inhaltsaspekte zur jeweiligen Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A2-4_1 Erklärung für Unterricht | A2-4_1.4 Falsifikation Prognosen (Aussagen der Ln) | <p>Falsifikation der Prognosen:<br/>Die Ergebnisse zeigen, dass</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. bei Ethanol die Analyten genauso bis zur Laufmittelfront wandern wie bei Propanol</li> <li>2. bei Cyclohexan die Analyten genauso an der Startlinie verbleiben wie bei Hexan</li> </ol> <p>Im ersten Fall ist die Elutionskraft zu hoch, im zweiten Fall zu niedrig, dass in beiden Fällen keine Trennung erzielt wird.</p> <p>Ethanol ist noch polarer als Propanol (und sehr viel polarer als Toluol) und hat damit bei einer polaren stationären Phase eine noch höhere Elutionskraft, sodass Analyten insgesamt sehr stark mitgerissen werden, d. h. <math>R_F</math>-Werte von allen Analyten werden größer und nähern sich im Extremfall dem Wert 1 an.</p> <p>Cyclohexan hat bei einer polaren stationären Phase eine etwas höhere Elutionskraft als Hexan, aber eine geringere als Toluol, sodass Analyten ähnlich wie bei Hexan deutlich weniger stark mitgerissen werden wie bei Toluol, d. h. <math>R_F</math>-Werte von allen Analyten werden kleiner und nähern sich im Extremfall dem Wert Null an, also verbleiben an der Startlinie.</p> <p>Je geringer die Elutionskraft eines Laufmittels, desto geringer ist die Laufstrecke der Analyten.</p> <p>Toluol ist etwas polarer als Cyclohexan/Hexan und sehr viel unpolarer als Ethanol/Propanol. Entsprechend hat es bei einer polaren stationären Phase eine Elutionskraft, die zwischen Cyclohexan/Hexan und Ethanol/Propanol liegt.</p> <p>Die Elutionskraft von Toluol ist optimal, da Analyten gut getrennt werden.</p> |
|                                 | A2-4_1.5 Trennung mit Umkehrphase                  | <p>Alternativ die Elutionswirkung verschieden starker Laufmittel auf einer Umkehrphase (RP18) zur Trennung des Farbstoffgemisches auszutesten, war ein Vorschlag eines Experten. Diese Variante ist allerdings aus didaktischer Sicht ungünstig (s. Anhang Kap. 19.8, S. 498), wenn Lernende sich noch schwer tun, das Wirkprinzip chromatografischer Trennungen zu verstehen. Variante wurde dennoch als Option aufgenommen, falls eine Vp diesen Ansatz gewählt hätte, was jedoch nicht der Fall war.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                 | A2-4_1.6 Personifikation                           | <p>Dieser Code wurde induktiv hinzugefügt, weil eine Vp das Laufverhalten der Analyten anhand menschlicher Verhaltensmuster erklärt hat (s. Ausführungen im Ergebnisteil zu Vp01 auf S. 286).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

#### 12.3.4.2 Zusammenfassung der Auswertung der von den Vpn vorgenommen Analyse der Fehlkonzepte

Das Vorgehen bei der Analyse wurde den Vpn nicht vorgegeben. Einige Vpn haben zunächst ein Erwartungsbild zur jeweiligen Aufgabe erstellt, bevor sie auf die Fehlkonzepte in den Schülerantworten eingegangen sind. Anhand der Aussagen, die die Vpn zur Richtigkeit der Schülerantworten treffen, wird abschließend bewertet, ob das jeweilige Schülerfehlkonzept nicht, teilweise oder vollständig erkannt wurde.

Die Ergebnisse der Analyse des Aufgabenkomplexes 5 werden in zwei getrennten Abschnitten dargestellt (13.4.2.1 und 13.4.2.2). Der erste Abschnitt bezieht sich auf die Ausführungen zur Schülerantwort 1 und der zweite Abschnitt auf die Schülerantworten 2, 3, und 4.

Tab. 84: Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden der anwendungsorientierten Aufgaben im Teil E

| <b>Hauptuntersuchung Teil 2: Umsetzung des Lehr-Lernkonzeptes (N=13)</b>                              |                               |                                                                                                         |                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ziel</b>                                                                                           | <b>Methode</b>                | <b>Auswertung</b>                                                                                       | <b>Ergebnisse</b>                                                                                                       |
| Anwendung des durch die Rezeption des englischen Textmaterials erworbenen Wissens (T2_E_A1)           | QUAL<br>Teil E:<br>A1         | QIA: QUAL in quant<br><br>Bestimmung erfasster Codes<br><br>Codierung der Daten zu Schülerfehlkonzepten | Erstellung von Code-Matrizes<br><br>Klassifikation Schülerfehlkonzept erkennt, teilweise erkannt und nicht erkannt      |
| Anwendung des durch die Rezeption des englischen Textmaterials erworbenen Wissens (T2_E_A2, _A3, _A4) | QUAL<br>Teil E:<br>A2, A3, A4 | QIA: QUAL in quant<br><br>Bestimmung erfasster Codes<br><br>Codierung der Daten Schülerfehlkonzepten    | Erstellung von Code-Matrizes<br><br>Klassifikation nach Schülerfehlkonzept erkennt, teilweise erkannt und nicht erkannt |
| Gesamtauswertung und Erstellung der Teilnehmerprofile                                                 | Zusammenführung QUAL (quant)  | deskriptiv/inferentiell                                                                                 | Grad des Erkennens der Schülerfehlkonzepte in Abhängigkeit des fachlichen Tiefenverständnisses                          |

QIA: Qualitative Inhaltsanalyse; QUAL: qualitativ (hohe Priorität); quant: quantitativ (geringere Priorität); QUAL (quant): quantitative Daten werden in die Auswertung der qualitativen Daten integriert; Vpn: Versuchspersonen

## 13 Beschreibung und Bewertung der Ergebnisse

### 13.1 Fachbezogene und englischsprachliche Vorkenntnisse und Erkenntnisgewinn anhand des SC-Fachtests

Bei der Auswahl der Versuchspersonen für den Teil 2<sup>136</sup> der Hauptuntersuchung wird darauf geachtet, dass die englischsprachlichen und fachlichen Vorkenntnisse in unterschiedlicher Ausprägung (niedrig, mittel, hoch) mit ein bis zwei Fällen vertreten sind.

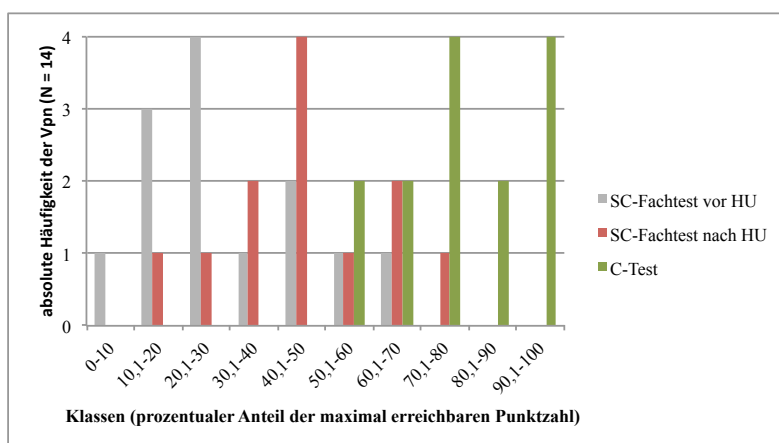


Abb. 47: Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse aus C-Test und SC-Fachtest (prä und post)

Am deutlichsten unterscheiden sich die vierzehn Vpn in ihren C-Test-Ergebnissen, also ihren Englischkenntnissen (s. Abb.47). Ihre Vorkenntnisse zur Dünnschichtchromatografie (s. Ergebnisse SC-Fachtest vor der Hauptuntersuchung) sind bei drei Vpn sehr niedrig (19% bis 29%). Die Vp, die im SC-Fachtest am besten abgeschnitten hat, hat durch ihren Berufsabschluss als Chemielaborant/-in bereits gute Vorkenntnisse zur Chromatografie erworben, die auch nach den ca. fünf Jahren, die die Berufsausbildung zurückliegt, wieder abrufbar waren. Zwei Vpn des Studienganges Lehramt für Gymnasien (LA Gym) haben sich zwar durch ihren Abschluss des Analytikmoduls im Lehramtsstudium bereits mit säulenchromatografischen Verfahren befasst, aber dabei weniger Wissen erworben, das sie für den SC-Fachtest hätten abrufen oder anwenden können. Eine differenziertere Betrachtung der fachlichen Vorkenntnisse wird noch vorgenommen, wenn die Ergebnisse des ersten Aufgabenkomplexes der Hauptuntersuchung betrachtet werden.

Der SC-Fachtest wurde am Ende der Bearbeitung des vierten Aufgabenkomplexes (Teil D) noch einmal eingesetzt. Damit konnte ein Wissenszuwachs bei allen Vpn (s. SC-Fachtest vor und nach der Hauptuntersuchung in Abb.48) nach der Beschäftigung mit dem englischen Textmaterial nachgewiesen werden, der sich bei zwei der drei Vpn mit geringen Vorkenntnissen sogar verdoppelt hat (s. Abb.49). Auf diesen Aspekt wird ebenfalls im Ergebnisteil zu den Aufgabenkomplexen ausführlich eingegangen (s. Kap. 13.3.2, S.237).

<sup>136</sup> Auswahl beschränkt sich auf 14 Vpn, die für die Teilnahme gewonnen werden konnten. Es ist aber davon auszugehen, dass innerhalb dieser Stichprobe ausreichend unterschiedliche Ausprägungen in den Merkmalen *fEnVK* und *fVK* vorhanden sind.

## 13 Beschreibung und Bewertung der Ergebnisse

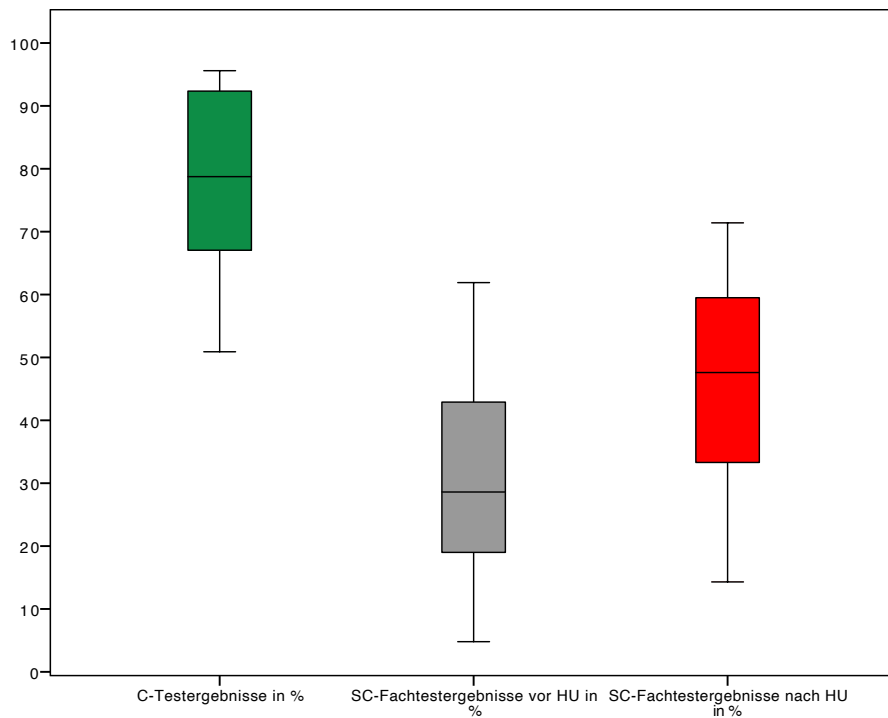


Abb. 48: Boxplot-Diagramm zu Ergebnissen aus C-Test und SC-Fachtest (prä und post) (Düwel 2018b)

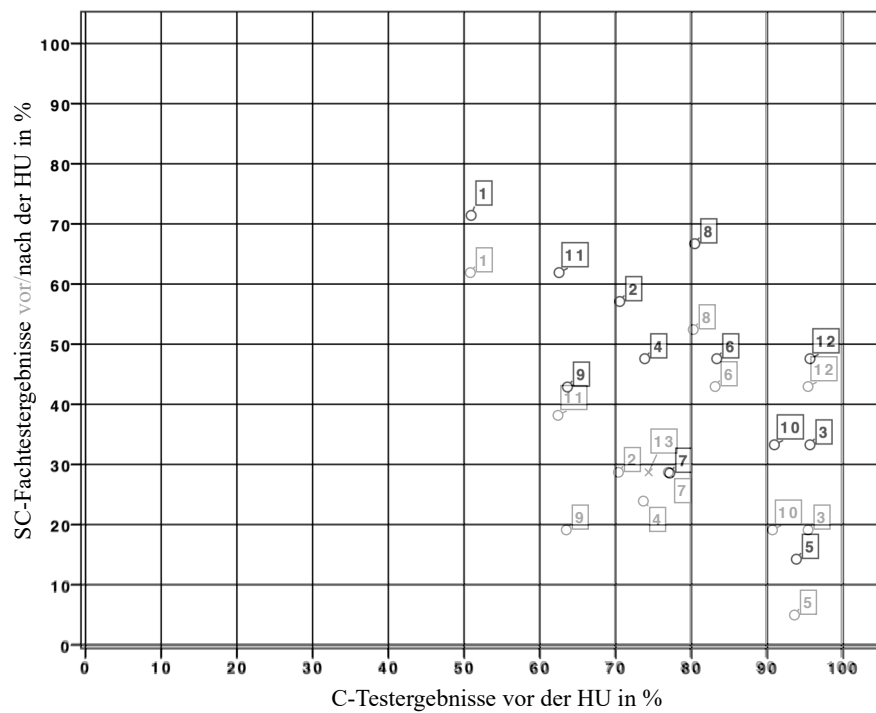


Abb. 49: Streudiagramme zum Erkenntnisgewinn SC-Fachtest (prä/post) in Bezug auf die Englischvorkenntnisse (C-Test) (ebd.)

### 13.2 Benötigter Zeitaufwand der Vpn

Jeder Vp wurde soviel Zeit eingeräumt, wie sie für die Bearbeitung der Aufgaben benötigte. Der Gesamtzeitaufwand bewegt sich zwischen 4 und 12 Stunden. In Tab.85 sind die Anzahl Durchgänge, die benötigte Zeit in Minuten für die Bearbeitung der Teile A bis D sowie des Teils E jeder einzelnen Vp aufgeführt.

Tab. 85: Zeitaufwand der Vpn für die Bearbeitung der Aufgabenkomplexe

| Vp                                                            | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13    |
|---------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Durchgang                                                     | 1   | 1   | 1   | 1   | 2   | 3   | 3   | 4   | 5   | 6   | 6   | 6   | 7     |
| Anzahl Tage<br>( $M=2.2$ ;<br>$SD=.93$ )                      | 2   | 1   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 5   | 3   | 2   | 2   | 2     |
| Zeit für Teil A<br>bis D in Min.<br>( $M=428$ ;<br>$SD=144$ ) | 258 | 188 | 293 | 395 | 318 | 455 | 402 | 551 | 627 | 512 | 596 | 609 | 354   |
| Zeit für Teil E<br>in Min.<br>( $M=62$ ;<br>$SD=29$ )         | 110 | 37  | 32  | 105 | 20  | 60  | 64  | 80  | 75  | 52  | 28  | 80  | k. A. |

Die Mehrheit der Vpn hat die Aufgaben in zwei Tagen bearbeitet ( $M=2.2$ ;  $SD=.93$ ). Nur Vp02 hat alles an einem Tag abgeschlossen und dafür knapp vier Stunden gebraucht. Vp10 hat die Bearbeitung mit ca. 9,5 Stunden (564 Min.) auf drei Tage und Vp09 mit knapp 12 Stunden auf fünf Tage aufgeteilt. Der Mittelwert zur Bearbeitung der Teile A bis D liegt bei 7,5 Stunden ( $n=13$ ;  $M=428$ ;  $SD=144$ ; ohne Vp13<sup>137</sup>:  $n=12$ ;  $M=434$ ;  $SD=148$ ) und des Teils E bei einer Stunde ( $n=12$ ;  $M=62$ ;  $SD=29$ ).

### 13.3 Ergebnisse zu den Aufgabenkomplexen nach Inhaltsaspekten zur Chromatografie

#### 13.3.1 Der „rote Faden“ entlang der Propositionsketten zur Konstruktion von Argumentationslinien – eine Vorbemerkung zur Ergebnisdarstellung

In der Art wie das Kategoriensystem aufgebaut ist, können auf beliebige Art und Weise Inhaltsaspekte herausgegriffen und argumentativ durch die Propositionen der Ketten, die für den Inhaltsaspekt relevant sind, untersetzt werden. So könnte bspw. als Ausgangspunkt einer Argumentationslinie die Proposition „K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung“ aus Tab.91 (S.241) ausgewählt werden. In dieser Tabelle werden Propositionen zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der daraus resultierenden Trennergebnisse aufgelistet. Aus der verallgemeinernden Aussage (K02V\_11) stellt sich die Frage, welche Eigenschaften und Strukturmerkmale der Laufmittel Einfluss auf das Verhalten der zu trennenden Komponenten während des Trennvorganges haben.

<sup>137</sup> Vp13 hatte die Bearbeitung im Teil C angebrochen.



Es ist bspw. bekannt, dass die Polarität der Laufmittel entscheidend ist, die wiederum, wenn sie hoch ist, aus dem Vorhandensein von funktionellen Gruppen wie z. B. der Hydroxylgruppe resultiert. Aus der Proposition „K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung“ könnte dann deduktiv der besondere Fall abgeleitet werden, dass, wenn das Laufmittel eine Verhaltensbedingung ist, das Trennergebnis mit Laufmittel 1 (unpolar, z. B. Hexan) anders aussehen müsste als mit Laufmittel 2 (polar, z. B. Propanol). Vor dem Hintergrund der bekannten Eigenschaften des Farbstoffgemisches (lipophil) und der stationären Phase (hier: Silicagel) sowie dem Wissen über die Zunahme der Elutionskraft von Laufmitteln bei einer hochpolaren stationären Phase mit zunehmender Polarität, könnte diese Prognose noch präzisiert werden. Es könnte aus dem Regelwissen

- K33W\_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft
- K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft
- K33W\_09 Elutionskraft hoch bewirkt gering k-Wert (d. h. hohe Laufstrecke d. Analyten)
- K33W\_10 Elutionskraft gering bewirkt hoch k-Wert (d. h. geringe Laufstrecke d. Analyten)

abgeleitet werden, dass das sehr gering polare Hexan eine extrem niedrige Elutionskraft hat und daher die Farbstoffe mit Hexan als Laufmittel eher an der Startlinie verbleiben. Demgegenüber würden die Farbstoffe mit Propanol als Laufmittel, das hoch polar ist und daher eine hohe Elutionskraft hat, vermutlich bis zur Laufmittelfront mitgerissen werden. Diese beiden noch ungetesteten Fälle könnten experimentell überprüft werden. Die Verifikation der Prognose bedeutet, dass diese beiden Fälle unter die Regeln der Theorie subsumiert werden können. Es wird also von diesen beiden Fällen darauf geschlossen, dass die Ausgangshypothese „K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung“, einschließlich der darunter subsumierbaren Regeln (K33W\_05, \_06, \_09, \_10), für alle Fälle (einschließlich der vielen noch ungetesteten Fälle) wahr ist (Induktionsschluss). Eine didaktische Linienführung dieser Art ist ein progressiv-reduktives Vorgehen. Der eigentliche Erkenntnisgewinn liegt in der qualitativen Induktion am Ende des Erkenntnisweges, dem Schluss auf die beste Erklärung (vgl. CP: 2.759 und 7.216; Minnameier 2004; Minnameier 2005; s. Ausführungen in Kap. 6.4.2.2 Zusammenspiel von Abduktion, Deduktion und Induktion im Prozess der Erkenntnisgewinnung, S. 47–57).

Diese Argumentationslinie kann natürlich noch kleinschrittiger aufgebaut und untersetzt werden, indem weitere Propositionen aus den drei im Folgenden betrachteten Inhaltsaspekten (s. Kap. 13.3.2.1, S. 240; Kap. 13.3.2.2, S. 247 und Kap. 13.3.2.3, S. 253) einbezogen werden.

Der Erkenntnisgewinn der Vpn (s. Kap. 13.3.2, S. 237) und deren Übertragungsleistung bei der Anwendung des neu erworbenen Wissens zur Chromatografie auf die drei Trennergebnisse der dünn-schichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches (s. Kap. 13.3.3, S. 260) wird vor dem Hintergrund des eben skizzierten Lernweges betrachtet. Denn nur, wer in dieser Detailliertheit die Zusammenhänge eines chromatografischen

Trennvorganges darlegen kann, hat später überhaupt die nötigen Voraussetzungen, um verschiedene Lernwegsvarianten zu konstruieren und Schülerfehlkonzepte zu erkennen (s. Kap. 13.4, S. 268).

### 13.3.2 Erkenntnisgewinn der Vpn der Fallstudie im Verlauf der verschiedenen Stufen des Lehr-Lernkonzeptes

In der Gesamtschau haben die Vpn in ihren Ausführungen (102 Dokumente) 16 % bis 58 % der 300 Propositionen in den Aufgaben 1a–c, 2c, 3EI–EIII, 4L1–L2 abgedeckt.

Tab. 86: Prozentualer Anteil der von den jeweiligen Vpn abgedeckten Propositionen

| Vp                   | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Anz. Dokumente       | 8   | 9   | 8   | 9   | 8   | 8   | 8   | 7   | 8   | 8   | 8   | 8   | 5   |
| abs. <i>H</i>        | 143 | 120 | 83  | 100 | 56  | 85  | 174 | 94  | 117 | 124 | 152 | 175 | 48  |
| rel. <i>H</i> (in %) | 48% | 40% | 28% | 33% | 19% | 28% | 58% | 31% | 39% | 41% | 51% | 58% | 16% |

Neun der 13 Vpn haben alle Aufgaben bearbeitet (jeweils acht Dokumente), zwei Vpn haben im ersten Aufgabenkomplex ihre Concept Maps noch ergänzt (daher jeweils 9 Dokumente), Vp08 hat Aufgabe 2c ausgelassen und Vp13 hat nur die ersten drei Aufgabenkomplexe bearbeitet (daher nur fünf Dokumente).

Der Abdeckungsgrad der 300 Propositionen ist in Tab. 87 dargestellt. Jede Proposition ist ein Code im Kategoriensystem, der bei der Analyse einem Segment aus den Dokumenten der Vpn zugeordnet wurde, wenn der Inhalt des Codes im Segment vorkam. Die erste Zeile in Tab. 87 gibt die jeweilige Anzahl der Vpn an, in deren Dokumenten ein Code mindestens einmal vorgekommen ist. Daraus ergibt sich die relative Häufigkeit, mit der ein Code bzw. eine Proposition in allen analysierten Dokumenten je Vp mindestens einmal vorkam.

Tab. 87: Anzahl der Vpn, in deren Dokumenten ein Code jeweils vorkommt (abs. *H*) und Abdeckungsgrad der Codes (rel. *H*) in den Ausführungen zu Inhaltsaspekten der Chromatografie ( $H_{\max}$ , Codes = 300)

|                            |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |
|----------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| abs. <i>H</i> Vp (max. 13) | 13  | 12   | 11   | 10   | 9    | 8    | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1   | 0   |
| rel. <i>H</i> %            | 100 | 92,3 | 84,6 | 76,9 | 69,2 | 61,5 | 53,8 | 46,2 | 38,5 | 30,8 | 23,1 | 15,4 | 7,7 | 0,0 |
| abs. <i>H</i> Codes        | 17  | 8    | 6    | 13   | 18   | 11   | 31   | 21   | 16   | 30   | 26   | 28   | 33  | 42  |

Insgesamt gibt es nur 17 Codes, die bei jeder der 13 Vpn mindestens einmal vorkamen (s. Tab. 88), gefolgt von weiteren acht und sechs Codes, die bei 12 bzw. 11 Vpn mindestens einmal in ihren Ausführungen enthalten waren (s. Tab. 89). Über diese Codes lassen sich keine wesentlichen Unterschiede im Erkenntnisgewinn ausmachen. Größtenteils wurden von den Vpn Aussagen aus der Situationsbeschreibung (s. Kap. 11.5.1, S. 155), die in der

Einführung der Aufgabenkomplexe integriert war, übernommen bzw. wiederholt. Unter den 42 Codes, die bei keiner Vp vorkamen, werden besonders die Codes interessant sein, die im englischen Textmaterial enthalten sind und von den Vpn vernachlässigt wurden.

Tab. 88: Die 17 von 300 Codes mit einem Abdeckungsgrad von 100%

| Hauptkategorie         | Propositionskette                                              | Proposition                                          |
|------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 01 Verfahren           | K00V_Anwendungs-zweck_Chromatografiearten                      | K00V_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie |
|                        | K01V_Definition                                                | K01V_01 Chromatografie ist Verfahren                 |
|                        |                                                                | K01V_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch         |
|                        |                                                                | K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt              |
|                        | K02V_AM DC-Platte                                              | K02V_02 DC-Platte ist Arbeitsmittel                  |
|                        |                                                                | K02V_05 DC-Platte <small>enthält</small> Silicagel   |
|                        |                                                                | K02V_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase     |
|                        | K02V_AM Entwicklungskammer und LM                              | K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase                  |
|                        |                                                                | K02V_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung           |
| 02 Verhaltensbedingung | K05B_Hexan                                                     | K05B_01 Hexan ist Laufmittel                         |
|                        | K06B_Propanol                                                  | K06B_01 Propanol ist Laufmittel                      |
|                        | K07B_Toluol                                                    | K07B_01 Toluol ist Laufmittel                        |
| 03 Analyt              | K09A_Analyten d. Farbstoffgemisches u. deren Farbe             | K09A_01 Buttergelb ist Analyt                        |
|                        |                                                                | K09A_02 Indophenol ist Analyt                        |
|                        |                                                                | K09A_03 Sudanrot G ist Analyt                        |
| 04 Qualitative Analyse | K13Q_allg. Verh.-bed. u. Trennung; Def. Kenngrößen             | K13Q_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung        |
| 05 Wirkprinzip         | K20W_Adsorption Def. u. Adsorbens allg. Str-Eig-WW-Beziehungen | K20W_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase             |

Die Codes (insgesamt 11, s. Tab. 90, S. 239), die speziell die unterschiedlichen Wechselwirkungen der Farbstoffe mit den Laufmitteln Hexan und Propanol spezifizieren, zeigen, dass diese Differenzierungen der Wechselwirkungen für die Vpn nicht relevant waren, weil Substanzen gleichermaßen an der Startlinie verblieben bzw. bis zur Laufmittelfront mitgelaufen sind. Diese Spezifizierung hätte in der Aufgabe 4L2 erfolgen können, hat allerdings für das Gesamtverständnis der Elutionswirkung von Laufmitteln unterschiedlicher Polarität in der Normalphasenchromatografie eine nur untergeordnete Bedeutung, da die Elutionswirkung in der Normalphasenchromatografie zu einem wesentlichen Teil davon bestimmt ist, wie stark das Laufmittel mit der stationären Phase in Wechselwirkung tritt und somit mit dem Analyten in Konkurrenz um Adsorptionsplätze tritt (ausführliche Erklärung, s. Kap. 9.2.2, S. 118).

Tab. 89: Die 14 von 300 Codes mit einem Abdeckungsgrad von 85% bis 92%

| Hauptkategorie         | Propositionskette                                                             | Proposition                                                |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 01 Verfahren           | K02V_AM DC-Platte                                                             | K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung           |
|                        | K01V_Definition                                                               | K01V_02 Verfahren zur Trennung                             |
|                        | K02V_AM Entwicklungskammer und LM                                             | K02V_15 Farbstoffgemisch ist auf DC-Platte                 |
| 02 Verhaltensbedingung | K05B_Hexan                                                                    | K05B_03 Hexan hat sehr gering Polarität                    |
|                        |                                                                               | K05B_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft                |
|                        | K06B_Propanol                                                                 | K06B_07 Propanol hat hoch Elutionskraft                    |
| 03 Analyt              | K08A_Farbstoffgemisch Löslichkeit u. Polarität                                | K08A_01 Farbstoffgemisch hat lipophil Löslichkeit          |
| 04 Qualitative Analyse | K15Q_K19Q_Laufstrecke u. Kenngrößen Analyt m. jew. LM\K15Q Laufstrecke Analyt | K15Q_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie              |
|                        |                                                                               | K15Q_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke    |
|                        |                                                                               | K17Q_02 Analyt hat mit Propanol gering k-Wert              |
| 05 Wirkprinzip         | K20W_Adsorption Def. u. Adsorbens allg. Str-Eig-WW-Beziehungen                | K20W_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens                          |
|                        | K22W_Laufmittel WW mit Analyt                                                 | K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt                       |
|                        | K33W_Eluotrope Reihe                                                          | K33W_04 Parameter Epsilon ist Kenngröße fuer Elutionskraft |
|                        |                                                                               | K33W_04a Laufmittel hat Elutionskraft                      |

Tab. 90: 11 Codes zu Wechselwirkungen und Polarität der Farbstoffkomponenten Buttergelb, Indophenol und Sudanrot mit einem Abdeckungsgrad von 0%

| Hauptkategorie | Propositionskette               | Proposition                                                      |
|----------------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 03 Analyt      | K10A_K12A_Polarität d. Analyten | K10A_07 Buttergelb hat gering WW mit Hexan                       |
|                |                                 | K10A_08 Buttergelb hat gering WW mit Propanol                    |
|                |                                 | K10A_10 Buttergelb hat in Hexan gering Löslichkeit               |
|                |                                 | K10A_11 Buttergelb hat in Propanol gering Löslichkeit            |
|                |                                 | K11A_08 Indophenol hat sehr gering WW mit Hexan                  |
|                |                                 | K11A_11 Indophenol hat in Hexan sehr gering Löslichkeit          |
|                |                                 | K11A_12 Indophenol hat in Propanol hoch Löslichkeit              |
|                |                                 | K12A_07 Sudanrot G/Vergl.-subst hat gering WW mit Hexan          |
|                |                                 | K12A_08 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Propanol       |
|                |                                 | K12A_10 Sudanrot G/Vergl.-subst hat in Hexan gering Löslichk.    |
|                |                                 | K12A_11 Sudanrot G/Vergl.-subst hat in Propanol mittel Löslichk. |

Rein quantitativ betrachtet haben Vp07 und Vp12 den höchsten Abdeckungsgrad der Codes (58,0%, s. Tab. 86, S. 237). Inwiefern sich die Ausführungen dieser Vp auch in qualitativer Hinsicht von denen der anderen Vpn abheben, wird anhand von drei inhaltlichen Schwerpunkten diskutiert (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019):

- Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse (Kap. 13.3.2.1, S. 240)
- Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten (Kap. 13.3.2.2, S. 247) und
- Begründungszusammenhänge zur Erklärung der Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie (NPC) (Kap. 13.3.2.3, S. 253).

Da unter diesen Gesichtspunkten Zusammenhänge zwischen Verhaltensbedingungen, Trennergebnissen und den zugrunde liegenden Struktur-Eigenschaftsbeziehungen betrachtet werden, stammen die ausgewählten Codes der jeweiligen Inhaltsaspekte nicht nur aus einer der fünf Hauptkategorien des Kategoriensystems (s. Tab. 62, S. 193).

### **13.3.2.1 Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse**

Wie aus der Code-Matrix (s. Tab. 91) ersichtlich ist, werden die Codes, die sich allgemein auf die Beschreibung des Verfahrens, die grundlegenden Verhaltensbedingungen und die daraus resultierenden Ergebnisse beziehen, nur von dem englischen Textmaterial sowie den Vp01, Vp11 und Vp12 vollständig abgebildet. Der Code K32W\_01 ist die Konklusion, während die anderen Codes die Prämissen darstellen. Entscheidend sind dabei die Codes K32W\_02 und K32W\_04 als Prämissen, über die nachvollziehbar ist, wie es zur unterschiedlichen Retention der Analyten kommt.

Die beiden Aussagen K32W\_02 und K32W\_04 werden nicht nur von den Vp01, Vp11 und Vp12, sondern auch von Vp02 und Vp07 getroffen. In den Ausführungen von Vp09 und Vp10 ist zwar die Konklusion enthalten, allerdings untersetzen sie diese nicht durch die Codes K32W\_02 und K32W\_04. Vier Vpn (03, 05, 06 und 08) treffen gar keine Aussagen, durch die man nachvollziehen kann, was Trennung der Analyten bedeutet. Um sicherzugehen, dass dies tatsächlich der Fall ist, wurden bewusst die Segmente durchgeschaut, in denen die Trennergebnisse zu Toluol, Propanol und Hexan betrachtet wurden. In diesen Segmenten wurden höchstens Aussagen getroffen, dass die Trennung mit Toluol optimal bzw. mit Hexan und Propanol schlecht waren. Selbst in den Segmenten zur Aufgabe 3EI, in der es um die Deutung der Kenngrößen ging, wie  $R_F$ -Wert und  $k$ -Wert, wurden die Werte ggf. genannt, aber nicht näher interpretiert.

Zur Verdeutlichung dieses Sachverhaltes werden Unterschiede zwischen Vp02 und Vp10 jeweils an den Segmenten zur Trennung mit Toluol und Propanol herausgestellt.

„[zu Toluol] abh. vom jew. Farbstoff  
[RF] kann ausgemessen werden

[zu Propanol] für alle  $R_F = 1$  d. h.  $k = 1-1/1 = 0$   
 d. h. (praktisch) keine Adsorption an Silikat“  
 (Vp02, Aufgabe 3EI)

Tab. 91: Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse ( $H_{max}$  Codes = 11)

| Verhaltensbedingungen und daraus resultierendes Trennergebnis       | Textquellen Snyder et al. (2010) und Vpn |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |     | rel. H  |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|---------|
| 01 Verfahren/K01V_Definition                                        | E17                                      | 01   | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11   | 12   | 13  | je Code |
| K01V_01 Chromatografie ist Verfahren                                | 1                                        | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1    | 1   | 100%    |
| K02V_AM DC-Platte                                                   |                                          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |     |         |
| K02V_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase                    | 1                                        | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1    | 1   | 100%    |
| K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung                    | 1                                        | 1    | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1    | 0   | 86%     |
| K20W_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase                            | 1                                        | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1    | 1   | 100%    |
| K02V_AM Entwicklungskammer und LM                                   |                                          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |     |         |
| K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase                                 | 1                                        | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1    | 1   | 100%    |
| K02V_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung                          | 1                                        | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1    | 1   | 100%    |
| 04 Qualitative Analyse                                              |                                          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |     |         |
| K13Q_allg. Verh.-bed. u. Trennung; Def. Kenngrößen                  |                                          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |     |         |
| K13Q_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung                       | 1                                        | 1    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1    | 1    | 1   | 100%    |
| K13Q_04 Laufstrecke Analyt unterschiedl. ist optimal Trennung       | 1                                        | 1    | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1    | 1    | 0   | 50%     |
| 05 Wirkprinzip                                                      |                                          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |     |         |
| K32W_Analyt Trennung, Retention u. Laufstrecke                      |                                          |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |     |         |
| K32W_01 Retention unterschiedlich bewirkt Trennung Analyt           | 1                                        | 1    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1    | 1    | 0   | 43%     |
| K32W_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/hoch RF/gering k | 1                                        | 1    | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1    | 1    | 0   | 50%     |
| K32W_04 Analyt hoch adsorbiert hat hoch Retention/gering RF/hoch k  | 1                                        | 1    | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1    | 1    | 0   | 43%     |
| abs. H                                                              | 11                                       | 11   | 9   | 7   | 8   | 8   | 7   | 10  | 7   | 8   | 8   | 11   | 11   | 6   |         |
| rel. H                                                              | 100%                                     | 100% | 82% | 64% | 73% | 73% | 64% | 91% | 64% | 73% | 73% | 100% | 100% | 55% |         |

E17: Snyder, Lloyd R./Kirkland, Joseph J./Dolan, John W. (2010): Introduction to Modern Liquid Chromatography, 3. Aufl., Hoboken: Wiley & Sons.

In dem einen Segment gibt Vp02 die Werte der beiden Kenngrößen für die Trennung mit Propanol an und trifft eine Aussage zur Interpretation, die besagt, dass bei einem RF-Wert von 1 keine Adsorption des Analyten stattfindet. Daher wurde der Code K32W\_02 zugeordnet. Die Aussage zum RF-Wert bei der Trennung mit Toluol ist dagegen unspezifisch. Sie impliziert aber, dass der RF-Wert auf der DC-Platte bestimmt wird und je nach Analyt unterschiedlich ist. Daher wurde auch der Code „K16Q\_03 Analyt hat mit Toluol unterschiedlich RF-Wert“ zugeordnet, auch wenn der Analyt in der Aussage „d. h. (praktisch) keine Adsorption an Silikat“ nicht explizit genannt wird. Alle den Segmenten zugeordneten Codes sind:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K13Q\_08 RF-Wert ist Kenngröße
- K13Q\_09 k-Wert ist Kenngröße
- K14Q\_02 Laufstrecke/RF Analyt/Vgl.-subst. best. auf DC-Platte
- K16Q\_02 Analyt hat mit Propanol hoch RF-Wert
- K17Q\_02 Analyt hat mit Propanol gering k-Wert

- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K32W\_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/ho  $R_F$ /ge  $k$

Demgegenüber beschränkt sich die Interpretation dieser Kenngröße in den beiden Segmenten von Vp10 auf die Bewegung des Analyten. Vp10 bleibt damit eher auf der phänomenologischen Ebene, ohne eine Beziehung zu Ursachen wie Wechselwirkungen herzustellen.

„Im Falle von Toluol kann eine Bewegung der Stoffe beobachtet werden, die sich von der des Laufmittels unterscheidet.

Es ließe sich damit  $R_F$  und damit auch  $k$  bestimmen.

Im Falle von Propanol kann eine Bewegung der Stoffe beobachtet werden, die sich aber nicht von der des Laufmittels unterscheidet,

daher ist  $R_F = 1$  und damit bestimmt sich  $k = 0$ .

Dies ist aber ähnlich wie bei Hexan ein Grenzfall, bei welchem die Bestimmungsmethode versagt.“ (Vp10, Aufgabe 3EI)

Diesen Segmenten wurden in erster Linie Codes zugeordnet, die sich in gleicher Weise auf die phänomenologische Ebene beziehen:

- K05B\_08 Hexan bewirkt keine Trennung
- K06B\_09 Propanol bewirkt keine Trennung
- K15Q\_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K16Q\_03 Analyt hat mit Toluol unterschiedlich  $R_F$ -Wert
- K16Q\_02 Analyt hat mit Propanol hoch  $R_F$ -Wert
- K17Q\_03 Analyt hat mit Toluol unterschiedlich  $k$ -Wert
- K17Q\_02 Analyt hat mit Propanol gering  $k$ -Wert

Darüber hinaus wurden die Segmente von Vp10 mit weiteren Codes standardisiert, über die die Fachbegriffe und genannten Bedingungen abgebildet werden:

- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung

Insgesamt wird nicht am grundlegenden Verständnis der Vp10 zum Verhalten der Analyten beim Trennvorgang unter den jeweiligen Bedingungen gezweifelt, denn sie trifft auch Aussagen, die einen Zusammenhang zwischen Verhaltensbedingungen (Laufmittel und stationäre Phase) und den Trennergebnissen herstellen. Das trifft auch auf die anderen Vpn zu, bei denen Aussagen zu den Codes K32W\_02 und K32W\_04 fehlen.

Mit Hilfe der Code-Konfiguration kann im nächsten Schritt auf effiziente Weise beurteilt werden, wie gut Argumentationslinien innerhalb der jeweiligen Aufgaben (Dokumente) ausgeführt werden (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019: 12). Für die englische

Textquelle (Snyder/Kirkland/Dolan 2010) wurde für jeden Themenschwerpunkt ein Dokument angelegt. Anders als in Düwel/Eichhorn/Niethammer (2019: 12) wurden nicht Segmente (Absätze), sondern die jeweiligen Dokumente (bestehend aus mehreren Absätzen) nach der Code-Konfiguration analysiert.

In der Darstellung der Code-Konfigurationen (s. Tab.92) werden nur die Ergebnisse einbezogen, bei denen mind. sieben der Codes innerhalb eines Dokumentes vorkommen. Auffallend ist, dass nicht ein Dokument der Vp03, Vp04, Vp06, Vp10 und Vp13 mindestens sieben der elf ausgewählten Codes aufweist, obwohl außer bei Vp13 mindestens sieben Codes in den codierten Dokumenten der fünf genannten Vpn vorkommen. Bei der englischen Textquelle und den anderen Vpn sind die Bezeichnungen der Dokumente, in denen die jeweilige Code-Konfiguration vorkommt, hinter die Bezeichnung der Quelle bzw. hinter die Nummer der Vp in Klammern gesetzt worden. Die Reihenfolge der Dokumente entspricht der Reihenfolge des Vorkommens von der höchsten zur niedrigsten Anzahl Codes.

Tab. 92: Code-Konfiguration der Codes zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse ( $H_{max}$ , Codes = 11,  $10 > N_{Codes} > 7$ )

| Fälle der in Segmenten vorkommenden Code-Konfiguration |                                                                | A  | B  | C  | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Anzahl Dokumente, in denen Code-Konfiguration vorkommt |                                                                | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Vp d. Dokumentes m. Code-Konf.                         | Snyder et al. (2010): 4, 2, 6                                  | 0  | 0  | 0  | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
|                                                        | 01 (2c; 3EII)                                                  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 02 (3EI)                                                       | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 03                                                             | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 04                                                             | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 05 (2c)                                                        | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 06                                                             | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 07 (3EI)                                                       | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
|                                                        | 08 (3EI, 3EII)                                                 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 09 (3EII)                                                      | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 10                                                             | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 11 (3EI; 1c)                                                   | 0  | 0  | 1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | 12 (3EI; 2c, 1b, 1c)                                           | 1  | 0  | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
|                                                        | 13                                                             | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ausgewählte Codes für Code-Konfiguration               | Anzahl Codes, die gleichzeitig in einem Segment vorkommen      | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
|                                                        | K01V_01 Chromatografie ist Verfahren                           | 1  | 0  | 1  | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
|                                                        | K02V_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase               | 0  | 1  | 1  | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
|                                                        | K02V_07 Silicagel/stationäre Phase ist Verhaltensbedingung     | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
|                                                        | K20W_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase                       | 1  | 1  | 0  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|                                                        | K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase                            | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
|                                                        | K02V_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung                     | 1  | 1  | 1  | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|                                                        | K13Q_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung                  | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|                                                        | K13Q_04 Laufstrecke Analyt unterschiedl. ist optimal Trennung  | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
|                                                        | K32W_01 Retention unterschiedlich bewirkt Trennung Analyt      | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | K32W_02 Analyt gering adsorb. hat gering Ret./hoch RF/gering k | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
|                                                        | K32W_04 Analyt hoch adsorbiert hat hoch Ret./gering RF/hoch k  | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Die Ziffern hinter Snyder et al. (2010) kennzeichnen den jeweiligen Themenschwerpunkt:

2: Chromatographic process (chromatografisches Verfahren); 4: Conditions (Bedingungen);

6: NPC introduction (Einführung in die Normalphasenchromatografie

(...): Aufgabenkennziffer

Es ist auffallend, dass bei den Vpn erst in den Ausführungen zu den Aufgaben 2c, 3EI und 3EII acht bis zehn der elf ausgewählten Codes gleichzeitig vorkommen. Bei Vp11 und Vp12 ist dies für sieben Codes bereits in 1c bzw. 1a der Fall. D.h., dass diese beiden Vpn



bereits im ersten Aufgabenkomplex, vor dem Beschäftigten mit dem englischen Textmaterial, die wesentlichen Zusammenhänge zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse dargelegt haben.

Die Tatsache, dass bei den anderen Vpn (außer 03, 04, 06, 10 und 13) erst im zweiten und dritten Aufgabenkomplex sieben bis zehn der Codes in ihren Ausführungen vorkommen, kann als erstes Indiz gewertet werden, dass Argumentationslinien aus dem englischen Textmaterial übernommen wurden. Die im Teil A noch fehlenden Aussagen können der Code-Matrix in Tab. 93 entnommen werden, in der nur Dokumente der Vpn aus dem Teil A berücksichtigt wurden.

Tab. 93: Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und im Teil A der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse ( $H_{max}$ , Codes = 11)

| Verhaltensbedingungen und daraus resultierendes Trennergebnis (Teil A) | Textquellen Snyder et al. (2010) und Vpn |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | rel. H  |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| 01 Verfahren/K01V_Definition                                           | E17                                      | 01  | 02 | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | je Code |
| K01V_01 Chromatografie ist Verfahren                                   | 1                                        | 0   | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 93%     |
| K02V_AM DC-Platte                                                      |                                          |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K02V_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase                       | 1                                        | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 43%     |
| K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung                       | 1                                        | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 14%     |
| K20W_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase                               | 1                                        | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 43%     |
| K02V_AM Entwicklungskammer und LM                                      |                                          |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase                                    | 1                                        | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 64%     |
| K02V_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung                             | 1                                        | 1   | 0  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 86%     |
| 04 Qualitative Analyse                                                 |                                          |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K13Q_allg. Verh.-bed. u. Trennung; Def. Kenngrößen                     |                                          |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K13Q_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung                          | 1                                        | 1   | 0  | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 79%     |
| K13Q_04 Laufstrecke Analyt unterschiedl. ist optimal Trennung          | 1                                        | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 29%     |
| 05 Wirkprinzip                                                         |                                          |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K32W_Analyt Trennung, Retention u. Laufstrecke                         |                                          |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K32W_01 Retention unterschiedlich bewirkt Trennung Analyt              | 1                                        | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 7%      |
| K32W_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/hoch RF/gering k    | 1                                        | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 7%      |
| K32W_04 Analyt hoch adsorbiert hat hoch Retention/gering RF/hoch k     | 1                                        | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 7%      |
| abs. H                                                                 | 11                                       | 2   | 1  | 4   | 4   | 2   | 4   | 6   | 5   | 4   | 4   | 6   | 7   | 6   |         |
| rel. H                                                                 | 100%                                     | 18% | 9% | 36% | 36% | 18% | 36% | 55% | 45% | 36% | 36% | 55% | 64% | 55% |         |

Bei Vp01, Vp05 und Vp12, bei denen die Code-Konfigurationen bereits im zweiten Aufgabenkomplex vorkommen, wurden relevante Inhalte eigenständig dem englischen Textmaterial entnommen, denn hier gab es keine Eingrenzung des Textmaterials wie im dritten Aufgabenkomplex.

In Tab. 94 (S.245) sind die Segmente aus Snyder et al. (ebd.) aufgeführt. Die rechte Spalte enthält alle dem jeweiligen Segment zugeordneten Codes. Die elf ausgewählten Codes sind entsprechend hervorgehoben (schwarze Schriftfarbe). Die übrigen Codes (graue Schriftfarbe) verdeutlichen, wie die ausgewählten Codes im Segment inhaltlich eingebettet sind. So werden die Verhaltensbedingungen und deren Auswirkung auf das Trennergebnis vom Allgemeinen zum Besonderen ausgeführt. Der fett hervorgehobene Code war der im Smart Coding Tool von MAXQDA ausgewählte Code, nach dem die Anzeige der Segmente erfolgte.

Tab. 94: Textsegmente aus Snyder et al. (2010) zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse, in denen mindestens sieben der ausgewählten elf Codes vorkommen

| Dokument      | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | zugeordnete Codes                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2_chr_process | The successful use of HPLC requires an understanding of how separation is affected by experimental conditions: the column, solvent, temperature, flow rate and so forth.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | K00V_05 Hochleistungsflüssigkeitschromatografie ist Chromatogr., K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung, K02V_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung, K03B_01 Laufstrecke Laufmittel ist Verhaltensbedingung, K03B_02 Entwicklungszeit ist Verhaltensbedingung, <b>K13Q_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung</b>   |
| 2_chr_process | The fundamental nature or "mode" of the separation is determined mainly by the choice of column, as summarized in Table 2.1. For sample analysis, the predominant HPLC mode in use today is reversed-phase chromatography (RPC), which features a nonpolar column in combination with a (polar) mixture of water plus an organic solvent as mobile phase. Unless noted otherwise, RPC separation will be assumed in this book. Other HPLC modes are described in later sections of the book, as noted in Table 2.1 | K00V_05 Hochleistungsflüssigkeitschromatografie ist Chromatogr., K02V_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase, K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung, K20W_06 (Ad)Sorbens gering polar ist Umkehrphase (RP), K21W_03 Laufmittel hat bei RPC hoch Polarität, <b>K13Q_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung</b> |

| Dokument     | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | zugeordnete Codes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4_conditions | <p>Reversed-phase chromatography involves a nonpolar stationary phase or column (e.g., C<sub>18</sub>) and a polar, water-containing mobile phase. Polar solutes will prefer the polar mobile phase ("like attracts like") and be less retained (larger R, smaller k), while nonpolar solutes will interact preferentially with the nonpolar stationary phase and be more retained (smaller R, larger k). The preferential interaction of a nonpolar solute (n-hexane) with the nonpolar stationary phase is illustrated in Figure 2.7a, while Figure 2.7b shows the preferential interaction of a polar solute (1,3-propanediol) with the polar mobile phase. Figure 2.7c is a chromatogram of several mono-substituted benzenes that vary in polarity or "hydrophobicity" because of the nature of the substituent group. Polar (less hydrophobic) groups such as -NHCHO, -CH<sub>2</sub>OH, or -OH reduce retention relative to the unsubstituted solute benzene (shaded peak), while less polar (more hydrophobic) groups such as chloro, methyl, bromo, iodo, and ethyl increase retention.</p> | <p><b>K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung</b>, K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase, K02V_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung, K13Q_02 Verhaltensbedingung bestimmt Laufstrecke Analyt, K20W_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase, K20W_06 (Ad)Sorbens gering polar ist Umkehrphase (RP), K21W_03 Laufmittel hat bei RPC hoch Polarität, K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt, K22W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar Analyt, K29W_03 Analyt hat Strukturmerkmal, K29W_06 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit (Ad)Sorbens, K30W_05 Analyt gepo hat hoch WW mit gepo (Ad)Sorbens, K32W_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/ho RF/ge k, K32W_04 Analyt hoch adsorbiert hat hoch Retention/ge RF/ho k, K34W_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM), K34W_02a Kohlenwasserstoffkette ist Strukturmerkmal (StrM), K34W_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen, K35W_03 Benzolring ist Strukturmerkmal, K35W_08 Hydroxylgruppe ist funktionelle Gruppe, K35W_09 Hydroxylgruppe hat sehr hoch <sup>Polarität</sup>, K35W_14 Methylgruppe ist Kohlenwasserstoffkette, K35W_16 Kohlenwasserstoffkette hat sehr gering Polarität</p> |
| 4_conditions | <p>The attraction between adjacent molecules of a solute and solvent is the result of several different intermolecular interactions, as illustrated in Figure 2.8. In principle, a quantitative understanding of these interactions should allow estimates – or even predictions – of retention as a function of molecular structure. While this is usually not possible at the present time (see Section 2.7.7), an understanding of these interactions can prove useful in other ways; for example, when selecting a different column for a change in separation (Section 5.4)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><b>K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung</b>, K13Q_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung, K21W_05 Laufmittel hat Strukturmerkmal, K21W_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel, K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt, K29W_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel, K32W_01 Retention unterschiedlich bewirkt Trennung Analyt</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

| Dokument    | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | zugeordnete Codes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6_NPC_intro | In the early 1900s, when chromatography was first developed (Section 1.2), columns were packed with polar, inorganic particles such as calcium carbonate or alumina. The mobile phase used in these experiments was a less-polar (water-free) solvent such as ligroin (a saturated hydrocarbon fraction from petroleum). For the next 60 years, this procedure continued to be the most common ("normal") way in which chromatography was carried out. For this reason the use of a polar stationary phase (with a less-polar mobile phase) is today referred to as normal-phase chromatography (NPC). Another term used to describe NPC is adsorption chromatography, in recognition of the fact that retained solute molecules are attached to (or adsorbed onto) the surface of particles within the column (Section 8.2).                                                                                                                                                            | K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase, K04B_03 Laufmittel hat unterschiedlich Pol. mit (Ad)Sorbens, K20W_01 Adsorption beruht auf WW mit (Ad)Sorbens, <b>K20W_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase</b> , K20W_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP), K20W_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche, K21W_02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität, K30W_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 6_NPC_intro | Today NPC is useful mainly for (1) analytical separations by thin-layer chromatography (TLC, Section 1.3.2), (2) the purification of crude samples (preparative chromatography and sample preparation, Chapters 15, 16), (3) the separation of very polar samples that are poorly retained and separated by RPC, or (4) the resolution of achiral isomers (Section 8.35). NPC may also prove beneficial occasionally for other samples, by virtue of its unique characteristics; for example, samples that contain very nonpolar compounds that are of no interest to the analyst. The latter sample constituents would be strongly retained by RPC, necessitating either long runtimes, sample preparation, or the use of gradient elution; with NPC, very nonpolar compounds elute near to, and do not create a problem for isocratic separation (e.g., see Section 8.4.3). In any case, it is often best to postpone the use of NPC until after RPC has been tried and found wanting. | K00V_03 Reinigung von Analyten/Stoffgemischen, K00V_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie, K01V_01 Chromatografie ist Verfahren, K01V_02 Verfahren zur Trennung, K01V_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch, K02V_02 DC-Platte ist Arbeitsmittel, K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung, K02V_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung, K13Q_02 Verhaltensbedingung bestimmt Laufstrecke Analyt, <b>K20W_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase</b> , K20W_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP), K20W_06 (Ad)Sorbens gering polar ist Umkehrphase (RP), K29W_08 Analyt hat in NPC gering Polarität, K30W_03 Analyt gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens, K30W_04 Analyt hopo hat gering WW mit gepo (Ad)Sorbens, K30W_05 Analyt gepo hat hoch WW mit gepo (Ad)Sorbens, K32W_04 Analyt hoch adsorbiert hat hoch Retention/ge RF/ho k |

### 13.3.2.2 Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten

Um zu verstehen, warum Analyten unterschiedlich stark von der stationären Phase zurückgehalten werden, müssen Wechselwirkungsbeziehungen betrachtet werden, die die Analyten und die mobile und stationäre Phase jeweils miteinander eingehen können. Hin-

sichtlich der Ausführungen zu den zugrundeliegenden Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten (s. Tab.95) weisen die analysierten Texte des englischen Lehrbuches (E17) und der Vpn extreme Unterschiede auf.

Tab. 95: Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten ( $H_{max}$ , Codes = 34)

| Struktur-Eigenschaftsbeziehungen                                | Textquellen Snyder et al. (2010) und Vpn |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    | rel. H  |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|---------|
| 01 Verfahren/K02V_AM DC-Platte                                  | E17                                      | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13 | je Code |
| K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung                | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 86%     |
| 03 Analyt/K08A_Farbstoffgemisch Löslichkeit u. Polarität        |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K08A_02 Analyt hat in LM unterschiedlich Löslichkeit            | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 14%     |
| 05 Wirkprinzip                                                  |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K20W_Adsorption Def. u. Adsorbens allg. Str-Eig-WW-Beziehungen  |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K20W_12 Strukturmerkmal (Ad)Sorbens begründet WW m. Analyt      | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 29%     |
| K20W_13 Strukturmerkmal (Ad)Sorbens begründet WW m. LM          | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 43%     |
| K21W_Laufmittel allg. Str-Eig-WW-Beziehungen                    |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K21W_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel | 1                                        | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 71%     |
| K21W_08 Strukturmerkmal LM begründet WW m. (Ad)Sorbens          | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 50%     |
| K29W_Analyt allg. Str-Eig-WW-Beziehungen                        |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K29W_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel      | 1                                        | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 64%     |
| K29W_06 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit (Ad)Sorbens     | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 36%     |
| K32W_Analyt Trennung, Retention u. Laufstrecke                  |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K32W_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/ho RF/ge k   | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 50%     |
| K32W_04 Analyt hoch adsorb. hat hoch Retention/ge RF/ho k       | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 43%     |
| K34W_allg. Str.-Eig.-Beziehungen (Polarität u. Löslichkeit)     |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K34W_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)          | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 57%     |
| K34W_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen       | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 79%     |
| K34W_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen                   | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 71%     |
| K34W_06 Polarität begründet Löslichkeit                         | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 7%      |
| K34W_08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW                 | 1                                        | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 57%     |
| K36W_Dipol-Dipol-WW                                             |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K36W_02 Dipol-Dipol-Kräfte ist hoch Wechselwirkung              | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 50%     |
| K36W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte  | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 29%     |
| K36W_04 Hydroxylgruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte            | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 50%     |
| K36W_05 Ketogruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte                | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 21%     |
| K36W_06 Iminogruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte               | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0  | 14%     |
| K37W_H-Brückenbindung                                           |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K37W_02 H-Brückenbindung ist sehr hoch Wechselwirkung           | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 29%     |
| K37W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brückenbindung    | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 43%     |
| K37W_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brückenbindung              | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 57%     |
| K37W_05 Ketogruppe bildet aus H-Brückenbindung                  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 29%     |
| K37W_06 Iminogruppe bildet aus H-Brückenbindung                 | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0  | 21%     |
| K38W_Pi-Pi-Transfer-Kräfte                                      |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K38W_02 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist ind-Dipol Wechselwirkung      | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 21%     |
| K38W_03 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist mittel Wechselwirkung         | 0                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 36%     |
| K38W_04 StrM mit Pi-Elekt. bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kr         | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 43%     |
| K38W_05 Benzolring bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte             | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 57%     |
| K39W_van der Waals-Kräfte                                       |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |         |
| K39W_03 van der Waals-Kräfte ist sehr gering Wechselwirkung     | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0  | 29%     |
| K39W_04 fkt. Gruppe gering polar bildet aus van der Waals-Kr.   | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 14%     |
| K39W_05 KW-Kette bildet aus van der Waals-Kräfte                | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0  | 14%     |
| K39W_06 Benzolring bildet aus van der Waals-Kräfte              | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0  | 14%     |
| K39W_07 Dimethylaminogruppe bildet aus van der Waals-Kräfte     | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0%      |
| abs. H                                                          | 23                                       | 12  | 13  | 11  | 13  | 4   | 6   | 24  | 5   | 5   | 15  | 29  | 26  | 0  |         |
| rel. H                                                          | 68%                                      | 35% | 38% | 32% | 38% | 12% | 18% | 71% | 15% | 15% | 44% | 85% | 76% | 0% |         |

Die Ausführungen der Vp13 enthalten keine der 34 ausgewählten Propositionen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen. Demgegenüber decken Texte des englischen Lehrbuches (E17) sowie der Vp07, Vp11 und Vp12 deutlich mehr als die Hälfte der 34 Propositionen ab. In den Texten der übrigen Vpn kommen deutlich weniger als 50% der 34 Propositionen vor.

Die Quelle E17 widmet diesen Grundlagen mehrere Absätze (acht Segmente, s. Tabelle 6 in Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019) und enthält vor allem auch Absätze, in denen Strukturmerkmale und die jeweils damit in Beziehung stehenden zwischenmolekularen

Wechselwirkungen benannt werden. Um zu sehen, wie gut diese Grundlagen in Zusammenhang mit den auf die Trennung einflussnehmenden Faktoren gebracht werden, sind die Ergebnisse in Kap. 13.3.2.3 (S. 253) besonders aufschlussreich.

Um den Einfluss der englischen Textquelle auf den Erkenntnisgewinn der Vpn zu beurteilen, gibt die Code-Konfiguration in Tab. 96 (S. 250) Aufschluss. Die Vp07, Vp11 und Vp12, die deutlich mehr als die Hälfte der 34 Propositionen abgedeckt haben, sind auch die drei Vpn, die mindestens 21 der 34 Aussagen in ihren Ausführungen zu den Aufgaben L1 und L2 des vierten Aufgabenkomplexes treffen (s. Tab. 96). Die Tatsache, dass diese Aussagen erst im vierten Aufgabenkomplex vorkommen, deutet darauf hin, dass die Vpn erst den Anstoß über die Leitfragen benötigten. Die Aussagen so gut differenziert und detailliert mit den am Trennvorgang beteiligten Komponenten (Analyt, Laufmittel und stationäre Phase) in Zusammenhang gebracht zu haben, lässt die Annahme zu, dass das erworbene Wissen aus dem englischen Textmaterial entsprechend verwertet wurde.

Mit Blick auf Tab. 96 ist auch auffallend, dass Vp02 bereits im ersten Aufgabenkomplex (1b) Aussagen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen getroffen hat. Nur beschränken sich diese noch auf Löslichkeitsbetrachtungen zu Analyt und Laufmittel. Betrachtungen zu Wechselwirkungsbeziehungen dieser beiden Komponenten mit der stationären Phase kommen an dieser Stelle noch nicht vor. D. h. die Vp02 erkennt an dieser Stelle noch nicht die Relevanz der Wechselwirkungsbeziehungen zwischen Laufmittel und stationärer Phase, über die die zu niedrige Elutionskraft von Hexan bzw. die zu hohe Elutionskraft von Propanol erklärt werden kann.

Alle sieben Vpn, die im ersten Aufgabenkomplex Aussagen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen getroffen haben, sind in Tab. 97 aufgelistet. Außer bei Vp02 waren es weniger als sechs der 34 ausgewählten Aussagen (Codes). In der Tabelle sind zu jeder Vp die Dokumentnamen, die Kennziffern der in dem jeweiligen Dokument vorgekommenen Codes und deren absolute Häufigkeit sowie die absoluten und relativen Häufigkeiten der in allen Dokumenten der jeweiligen Vp vorgekommenen Codes angegeben. Die Summe der Codes gibt nur die Anzahl unterschiedlicher Codes an. Vp02 hat bspw. je zwei Dokumente mit je zwei Codes. Diese Codes sind ebenfalls unter den sieben Codes des dritten Dokumentes enthalten. Daher ist die Summe der Codes sieben.

Tab. 96: Code-Konfiguration der Codes zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen  
 $(H_{max} \text{ Codes} = 34, 24 > N_{Codes} > 6)$

| Fälle der in Segmenten vorkommenden Code-Konfiguration    |                                                                | A  | B  | C  | D  | E  | F  | G  | H | I | J | K | L | M | N |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|
| Anzahl Dokumente, in denen Code-Konfiguration vorkommt    |                                                                | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Vp d. Dokumentes m. Code-Konf.                            | Snyder et al. (2010): 4, 5                                     | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 01 (4)                                                         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 02 (1b)                                                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
|                                                           | 03 (4, 2c)                                                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
|                                                           | 04 (4)                                                         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 05                                                             | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 06                                                             | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 07 (4)                                                         | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 08                                                             | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 09                                                             | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 10 (4, 2c)                                                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
|                                                           | 11 (4)                                                         | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 12 (4, 3EII)                                                   | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | 13                                                             | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Anzahl Codes, die gleichzeitig in einem Segment vorkommen |                                                                | 24 | 23 | 21 | 21 | 13 | 11 | 10 | 9 | 9 | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 |
| ausgewählte Codes für Code-Konfiguration                  | K02V_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung               | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K08A_02 Analyt hat in LM unterschiedlich Löslichkeit           | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
|                                                           | K20W_12 StrM (Ad)Sorbens begründet WW m. Analyt                | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K20W_13 StrM (Ad)Sorbens begründet WW m. LM                    | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K21W_07 StrM LM begründet WW m. Analyt/Lm                      | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|                                                           | K21W_08 StrM LM begründet WW m. (Ad)Sorbens                    | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K29W_05 StrM Analyt begründet WW mit Laufmittel                | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|                                                           | K29W_06 StrM Analyt begründet WW mit (Ad)Sorbens               | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K32W_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/ho RF/ge k  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K32W_04 Analyt hoch adsorbiert hat hoch Retention/ge RF/ho k   | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K34W_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)         | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|                                                           | K34W_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen      | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
|                                                           | K34W_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen                  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
|                                                           | K34W_06 Polarität begründet Löslichkeit                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
|                                                           | K34W_08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW                | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K36W_02 Dipol-Dipol-Kräfte ist hoch Wechselwirkung             | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K36W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K36W_04 Hydroxylgruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte           | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
|                                                           | K36W_05 Ketogruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte               | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K36W_06 Iminogruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte              | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K37W_02 H-Brückenbindung ist sehr hoch Wechselwirkung          | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K37W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brückenbindung   | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K37W_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brückenbindung             | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
|                                                           | K37W_05 Ketogruppe bildet aus H-Brückenbindung                 | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K37W_06 Iminogruppe bildet aus H-Brückenbindung                | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K38W_02 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist ind-Dipol Wechselwirkung     | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K38W_03 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist mittel Wechselwirkung        | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K38W_04 StrM mit Pi-Elekt. bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kr        | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K38W_05 Benzolring bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte            | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
|                                                           | K39W_03 van der Waals-Kräfte ist sehr gering Wechselwirkung    | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K39W_04 fkt. Gruppe gering polar bildet aus van der Waals-Kr.  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K39W_05 KW-Kette bildet aus van der Waals-Kräfte               | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K39W_06 Benzolring bildet aus van der Waals-Kräfte             | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|                                                           | K39W_07 Dimethylaminogruppe bildet aus van der Waals-Kräfte    | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Die Ziffern hinter Snyder et al. (2010) kennzeichnen den jeweiligen Themenschwerpunkt:

4 Conditions (Bedingungen); 5: Selectivity (Selektivität)

(...): Aufgabenkennziffer



Tab. 97: Aussagen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen im ersten Aufgabenkomplex (Teil A) – Vpn, Dokumente (in denen Codes vorkamen), Kennziffern der vorgekommenen Codes, absolute und relative Häufigkeiten der Codes

| Vp | Dokumentname zu Teil A         | Codes im Teil A                                  | abs. H Codes | $\sum_{\text{Codes}}$ | rel. H Codes |
|----|--------------------------------|--------------------------------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 01 | 011c SLS FD2                   | K02V_07                                          | 1            | 1                     | 2,9%         |
| 02 | 021a Concept Map FD2           | K08A_02, K34W_06                                 | 2            | 7                     | 20,6%        |
|    | 021a Concept Map Ergänzung FD2 | K08A_02, K34W_06                                 | 2            |                       |              |
|    | 021b Zusammenhänge FD2         | K08A_02, K21W07, K29W_05, K34W_02, _04, _05, _06 | 7            |                       |              |
| 03 | 031b Zusammenhänge FD2         | K02V_07                                          | 1            | 1                     | 2,9%         |
| 07 | 071b Zusammenhänge             | K21W_07, K29W_05                                 | 3            | 3                     | 8,8%         |
| 10 | 101a Concept Map               | K21W_07                                          | 1            | 1                     | 2,9%         |
| 11 | 111a Concept Map               | K21W_08                                          | 1            | 3                     | 8,8%         |
|    | 111c SLS                       | K20W_12, K34W_05                                 | 2            |                       |              |
| 12 | 121a Concept Map               | K21W_07, _08                                     | 2            | 5                     | 14,7%        |
|    | 121b Zusammenhänge             | K02V_07, K32W_02, _04                            | 3            |                       |              |
|    | 121c SLS                       | K02V_07, K21W_07                                 | 2            |                       |              |

rel. H: Anteil der Anzahl Codes im Verhältnis zur Gesamtzahl Codes ( $N=34$ )

$\sum_{\text{Codes}}$ : Summe verschiedener Codes

Die meisten Vpn treffen hier nur eine bis drei Aussagen aus einer Auswahl dieser Propositionen (außer der rot markierten):

- K02V\_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K08A\_02 Analyt hat in LM unterschiedlich Löslichkeit
- K20W\_12 Strukturmerkmal (Ad)Sorbens begründet WW m. Analyt
- **K20W\_13 Strukturmerkmal (Ad)Sorbens begründet WW m. LM**
- K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel
- K21W\_08 Strukturmerkmal LM begründet WW m. (Ad)Sorbens
- K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel
- **K29W\_06 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit (Ad)Sorbens**
- K32W\_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/ho RF/ge k
- K32W\_04 Analyt hoch adsorbiert hat hoch Retention/ge RF/ho k
- K34W\_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)
- K34W\_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_06 Polarität begründet Löslichkeit



Werden im ersten Aufgabenkomplex bereits Aussagen getroffen, die einen Zusammenhang zwischen Strukturmerkmalen und den daraus resultierenden Wechselwirkungen der am Trennvorgang beteiligten Komponenten herstellen (K20W\_12, K21W\_07, \_08 und K29W\_09), dann betrifft dies nur Vp02, Vp11 und Vp12. Die detaillierte Untersetzung erfolgt bei diesen und weiteren Vpn dann erst in den nachfolgenden Aufgabenkomplexen, wobei allein die Auseinandersetzung mit dem englischen Textmaterial noch nicht den großen Effekt hat, dass Struktur-Eigenschaftsbeziehungen in den Ausführungen der Vpn besser untersetzt werden. Dies ist in Tab.98 an dem geringen Anteil der berücksichtigten Codes zu sehen ( $2,9\% < \text{rel. } H \text{ Codes} < 26,5\%$ ).

Tab. 98: Aussagen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen im zweiten Aufgabenkomplex (Teil B) – Vpn, Dokumente (in denen Codes vorkamen), Kennziffern der vorgekommenen Codes, absolute und relative Häufigkeiten der Codes im Vergleich zum ersten Aufgabenkomplex

| Vp | $\sum \text{Codes im Teil A}$ | Dokumentname zu Teil B | Codes im Teil B                                                        | Anzahl Codes im Teil B | rel <i>H</i> Codes im Teil B |
|----|-------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| 01 | 2,9%                          | 012c Zusammenhänge FD2 | K02V_07, <b>K32W_02, _04</b>                                           | 3                      | 8,8%                         |
| 02 | 20,6%                         | keine Aussagen         |                                                                        | 0                      | 0%                           |
| 03 | 2,9%                          | 032c Zusammenhänge FD2 | K21W_07, <b>K29W_05, K34W_02, _04, _05, K36W_04</b>                    | 6                      | 17,6%                        |
| 04 | 0%                            | 042c Zusammenhänge FD2 | K32W_02, K34W_05                                                       | 2                      | 5,9%                         |
| 05 | 0%                            | 052c Zusammenhänge     | K02V_07                                                                | 1                      | 2,9%                         |
| 07 | 8,8%                          | 072c Zusammenhänge     | K02V_07, <b>K08A_02</b>                                                | 2                      | 5,9%                         |
| 10 | 2,9%                          | 102c Zusammenhänge     | K21W_07, <b>K29W_05, K34W_02, _04, K37W_04, K38W_05</b>                | 6                      | 17,6%                        |
| 11 | 8,8%                          | keine Aussagen         |                                                                        | 0                      | 0%                           |
| 12 | 14,7%                         | 122c Zusammenhänge     | K21W_07, _08, K21W_07, <b>K29W_06, K32W_02, _04, K34W_02, _04, _05</b> | 9                      | 26,5%                        |

rel. *H*: Anteil der Anzahl Codes im Verhältnis zur Gesamtzahl Codes ( $N=34$ )

**fett**: alle Codes, die im Teil A der Texte der Vpn noch nicht vorkamen

Im Teil B neu hinzugekommene Propositionen sind:

- K36W\_04 Hydroxylgruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte (bei Vp03)
- K37W\_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brückenbindung (bei Vp10)
- K38W\_05 Benzolring bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte (bei Vp10)

Diese Propositionen benennen konkret funktionelle Gruppen, über die Polaritätsunterschiede der Komponenten (Analyt, Laufmittel, stationäre Phase) begründet werden können. Vp03 und Vp10, in deren Ausführungen diese Propositionen vorkommen, stellen diese Aussagen auch in Beziehung zu den Wechselwirkungen zwischen Analyt und Laufmittel, jedoch nicht zu denen zwischen diesen beiden Komponenten und der stationären Phase.

Aus den fett hervorgehobenen Codes in Tab.98 wird ersichtlich, dass alle Vpn (außer Vp07), die bereits im Teil A Aussagen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen getroffen haben, im Teil B die Relevanz von zwischenmolekularen Wechselwirkungen erkennen.

Die Tatsache, dass bei Vp02 und Vp11 im Teil B keine Aussagen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen vorkommen, mag damit zusammenhängen, dass für sie alles Notwendige bereits im ersten Aufgabenkomplex genannt worden ist.

### **13.3.2.3 Begründungszusammenhänge zur Erklärung der Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie (NPC)**

Für die Analyse der Begründungszusammenhänge zur Erklärung der Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie (NPC) werden sieben Codes aus der Code-Matrix zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen in Tab.95 (S.248) einbezogen. In der Code-Matrix in Tab. 99 sind dies die letzten sieben Codes.

Auch hier weisen die analysierten Texte des englischen Lehrbuches (E17) und der Vpn zu den Begründungszusammenhängen der Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie (NPC) extreme Unterschiede auf.

Die niedrigste Abdeckung der Codes haben Vp05 und Vp13 mit drei bzw. vier der 36 ausgewählten Codes. Die Ausführungen der Vp13 enthalten die ersten drei der 36 ausgewählten Propositionen zur Elutionswirkung von Laufmitteln. Diese drei Propositionen beschränken sich auf die Beschreibung der drei Trennergebnisse mit Hexan, Toluol und Propanol. Die vierte Aussage verweist auf einen Ansatz einer Erklärung (K22W\_01 Laufmittel hat Wechselwirkung (WW) mit Analyt). Die drei Propositionen der Vp05 stellen bereits verallgemeinernde Aussagen dar, indem die polare stationäre Phase als Normalphase definiert (K20W\_05), die Auswirkung der Elutionskraft auf den k-Wert (K33W\_09) und der Zusammenhang zwischen Strukturmerkmalen und Eigenschaften der Teilchen benannt (K34W\_04) werden.

Demgegenüber decken Texte des englischen Lehrbuches (E17) sowie der Vp01, Vp02, Vp07, Vp10, Vp11 und Vp12 deutlich mehr als die Hälfte der 36 Propositionen ab (58% niedrigster Wert, 78% höchster Wert). Die höchste Abdeckung mit 78% haben E17 und Vp12. In den Ausführungen der übrigen fünf Vpn (Vp03, Vp04, Vp06, Vp08, Vp09) kommen zwischen 39% und 53% der Codes vor.

In der NPC ist das Verdrängungsprinzip entscheidend, um die Elutionswirkung unterschiedlich polarer Laufmittel zu verstehen. Zur Erklärung der Elutionswirkung unterschiedlich polarer Laufmittel gibt es unter den ausgewählten 33 Codes zum Wirkprinzip zwei Argumentationslinien (s. Tab. 100). Die eine mit dem Code K33W\_05 als Konklusion leitet die geringe Elutionswirkung gering polarer Laufmittel ab, während die andere mit dem Code K33W\_06 als Konklusion die Elutionswirkung hoch polarer Laufmittel untersetzt. Die Codes zur Untersetzung der beiden Konklusionen sind die Prämissen, wobei die Prämissen 3 und 4 für beide Argumentationslinien identisch sind. Sie sind der Vollständigkeit halber in den beiden Argumentationslinien aufgeführt, wären aber für die Erklärung des Verdrängungsprinzips in der zweiten Argumentationslinie vernachlässigbar, denn hier sind die dominierenden Wechselwirkungen des Laufmittels mit der stationären Phase entschei-

dend (K25W\_03 und K27W\_03), gegen die selbst höher polare Analyten nicht konkurrieren können. Um also zu beurteilen, ob Vpn das Verdrängungsprinzip in der NPC verstanden haben, ist maßgeblich daran erkennbar, inwiefern in ihren Ausführungen die Prämissen 1 und 2 der jeweiligen Argumentationslinie enthalten sind.

Tab. 99: Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zu Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie ( $H_{\max}$  Codes = 36)

| Elutionswirkung LM in NPC                                       | Textquellen Snyder et al. (2010) und Vpn |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     | rel. H  |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| 04 Qualitative Analyse/K15Q Laufstrecke Analyt                  | E17                                      | 01  | 02  | 03  | 04  | 05 | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | je Code |
| K15Q_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie                   | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 79%     |
| K15Q_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront         | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 71%     |
| K15Q_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke         | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 79%     |
| 05 Wirkprinzip                                                  |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K20_21W_Adsorbens/LM allg. Str-Eig-WW-Beziehungen               |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K20W_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens                               | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 86%     |
| K20W_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)             | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 1  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 71%     |
| K21W_02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität                 | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 1   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 36%     |
| K22W_Laufmittel WW mit Analyt                                   |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt                            | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 93%     |
| K22W_02 LM hoch polar hat gering WW m. gering polar Analyt      | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| K22W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar Analyt          | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 29%     |
| K22W_04 LM gering polar hat hoch WW m. gering polar Analyt      | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 14%     |
| K22W_05 LM gering polar hat gering WW m. hoch polar Analyt      | 1                                        | 0   | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 50%     |
| K23W_Laufmittel Desorption Analyt                               |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K23W_01 Laufmittel desorbiert Analyt                            | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0  | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 57%     |
| K23W_02 LM gepo desorb. gering auf hopo stat. Phase Analyt      | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 14%     |
| K23W_03 LM hopo desorb. hoch auf hopo stat. Phase Analyt        | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 7%      |
| K25W_Laufmittel WW mit (Ad)Sorbens                              |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K25W_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens                       | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 79%     |
| K25W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens     | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 71%     |
| K25W_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens              | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 71%     |
| K27W_Laufmittel konkurrieren um Adsorptionsplätze               |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K27W_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze             | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 71%     |
| K27W_02 LM gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Ads.-pl.    | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 29%     |
| K27W_03 LM hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Ads.-pl       | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 64%     |
| K29W_Analyt allg. Str-Eig-WW-Beziehungen                        |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K29W_08 Analyt hat in NPC gering Polarität                      | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 7%      |
| K31W_Analyt Konkurrieren um Adsorptionsplätze                   |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K31W_01 Analyt belegt Adsorptionsplätze                         | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 29%     |
| K31W_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze                 | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 71%     |
| K31W_03 Analyt gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Ads.-pl | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 36%     |
| K31W_04 Analyt hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Ads.-pl.  | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 36%     |
| K33W_Eluotrope Reihe                                            |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K33W_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft  | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 57%     |
| K33W_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft    | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 64%     |
| K33W_09 Elutionskraft hoch bewirkt gering k-Wert                | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 79%     |
| K33W_10 Elutionskraft gering bewirkt hoch k-Wert                | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 57%     |
| K34W_allg. Str-Eig.-Beziehungen (Polarität u. Löslichkeit)      |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K34W_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)          | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 57%     |
| K34W_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen       | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 79%     |
| K34W_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen                   | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 71%     |
| K34W_08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW                 | 1                                        | 1   | 0   | 1   | 1   | 0  | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 57%     |
| K37W_H-Brückenbindung                                           |                                          |     |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| K37W_02 H-Brückenbindung ist sehr hoch Wechselwirkung           | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 29%     |
| K37W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brückenbindung    | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 43%     |
| K37W_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brückenbindung              | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0  | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 57%     |
| abs. H                                                          | 28                                       | 24  | 22  | 14  | 18  | 3  | 15  | 25  | 19  | 19  | 21  | 26  | 28  | 4   |         |
| rel. H                                                          | 78%                                      | 67% | 61% | 39% | 50% | 8% | 42% | 69% | 53% | 53% | 58% | 72% | 78% | 11% |         |

Unter den elf Vpn, die mehr als 39% der Propositionen abdecken, fehlt bei Vp03, Vp06 und Vp11 der Verweis, dass die hohe Elutionskraft hoch polarer Laufmittel nur bei polaren stationären Phasen (NP) gilt. Bei Vp06, Vp07 und Vp11 fehlen zwar die Konklusionen (die Codes K33W\_05 und K33W\_06), dennoch ist in ihren Ausführungen der Code K27W\_03 enthalten, der im Zusammenhang mit dem Trennergebnis von Propanol steht (K15Q\_02). Obwohl die Argumentationslinien nicht vollständig ausgeführt wurden, haben diese drei Vpn das Verdrängungsprinzip verstanden. Demgegenüber trifft Vp03 zwar die

Konklusion, dass hoch polare Laufmittel auf einer hoch polaren stationären Phase eine hohe Elutionskraft haben (K33W\_06), aber nennt keine der entscheidenden Prämissen (P1, P2), sodass davon ausgegangen werden kann, dass Vp03 das Verdrängungsprinzip noch nicht vollständig verstanden hat. Insgesamt haben zehn der elf Vpn, die mehr als 39 % der Propositionen abdecken, das Verdrängungsprinzip vollständig verstanden, auch wenn die Argumentationslinien in ihren Ausführungen Lücken aufweisen. Darunter schneiden Vp01 und Vp12 am besten ab, denn unter den in Tab. 100 berücksichtigten Codes, fehlt bei ihnen nur der Code K27W\_02. Im englischen Textmaterial (E17) sind alle Codes der Tabelle enthalten (vgl. ebd.).

Tab. 100: Die zwei Argumentationslinien zur Erklärung der Elutionswirkung unterschiedlich polarer Laufmittel bei der NPC

|    | Argumentationslinie 1                                                     | Argumentationslinie 2                                                     |
|----|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| P1 | K25W_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens                        | K25W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens               |
| P2 | K27W_02 LM gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Adsorptionsplätze     | K27W_03 LM hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Adsorptionsplätze       |
| P3 | K31W_03 Analyt gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Adsorptionsplätze | K31W_03 Analyt gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Adsorptionsplätze |
| P4 | K31W_04 Analyt hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Adsorptionsplätze   | K31W_04 Analyt hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Adsorptionsplätze   |
| K  | <b>K33W_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft</b>     | <b>K33W_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft</b>       |

Um den Einfluss der englischen Textquelle auf den Erkenntnisgewinn der Vpn zu beurteilen, gibt die Code-Konfiguration in Tab. 101 (S. 256) Aufschluss. Vp07 und Vp12, die deutlich mehr als die Hälfte der 36 Propositionen abgedeckt haben, sind auch die zwei Vpn, die mindestens 19 der 36 Aussagen in ihren Ausführungen zu den Aufgaben L1 und L2 des vierten Aufgabenkomplexes treffen (s. Tab. 101). Die Tatsache, dass dieser Umfang an Aussagen erst im vierten Aufgabenkomplex vorkommt, deutet darauf hin, dass die Vpn erst den Anstoß über die Leitfragen benötigten.

Wirft man den Blick auf die Codes der Argumentationslinien in Tab. 100, werden die Aussagen zur Elutionswirkung von Laufmitteln bei den zehn Vpn, die das Verdrängungsprinzip nahezu bis vollständig erfasst haben, erst ab dem zweiten Aufgabenkomplex so gut differenziert und detailliert mit den am Trennvorgang beteiligten Komponenten (Analyt, Laufmittel und stationäre Phase) in Zusammenhang gebracht. Dies lässt die Annahme zu, dass das erworbene Wissen aus dem englischen Textmaterial entsprechend verwertet wurde.

Mit Blick auf Tab. 102 (S. 257) ist auffallend, dass nur Vp02 und Vp12 bereits im ersten Aufgabenkomplex (1b) einen Zusammenhang zwischen Strukturmerkmalen (K34W\_04), Polarität (K34W\_05) und zwischenmolekularen Wechselwirkungen (K22W\_01, \_05, K25W\_01) herstellen. Allerdings beschränken sich ihre Aussagen zu den Wechselwirkun-

gen noch auf den Analyten und das Laufmittel. Betrachtungen zu Wechselwirkungsbeziehungen dieser beiden Komponenten mit der stationären Phase kommen, wie unter dem vorherigen Inhaltsaspekt (Struktur-Eigenschaftsbeziehungen), an dieser Stelle noch nicht vor. Auch an dieser Stelle erkennen die Vp02 und Vp12 noch nicht die Relevanz der Wechselwirkungsbeziehungen zwischen Laufmittel und stationärer Phase, über die die zu niedrige Elutionskraft von Hexan bzw. die zu hohe Elutionskraft von Propanol erklärt werden kann.

Tab. 101: Code-Konfiguration der Codes zu Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie ( $H_{max}$ , Codes = 36,  $20 > N_{Codes} > 10$ )

| Fälle der in Segmenten vorkommenden Code-Konfiguration    |                                                                  | A  | B  | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I  | J  | K  | L  | M  | N  |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Anzahl Dokumente, in denen Code-Konfiguration vorkommt    |                                                                  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| Vp d. Dokumentes m. Code-Konf.                            | Snyder et al. (2010): 7                                          | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 01 (4, 3EII, 2c)                                                 | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 02                                                               | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 03                                                               | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 04                                                               | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 05                                                               | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 06                                                               | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 07 (4)                                                           | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 08 (3EII)                                                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  |
|                                                           | 09 (4, 3EII)                                                     | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|                                                           | 10 (3EII)                                                        | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
|                                                           | 11 (3EII, 4)                                                     | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 12 (4, 2c, 3EII)                                                 | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | 13                                                               | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Anzahl Codes, die gleichzeitig in einem Segment vorkommen |                                                                  | 20 | 19 | 19 | 16 | 15 | 14 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 11 | 11 | 10 |
| ausgewählte Codes für Code-Konfiguration                  | K15Q_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie                    | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K15Q_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront          | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K15Q_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke          | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K20W_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens                                | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  |
|                                                           | K20W_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)              | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  |
|                                                           | K21W_02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität                  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  |
|                                                           | K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt                             | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  |
|                                                           | K22W_02 LM hoch polar hat gering WW m. gering polar Analyt       | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K22W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar Analyt           | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  |
|                                                           | K22W_04 LM gering polar hat hoch WW m. gering polar Analyt       | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  |
|                                                           | K22W_05 LM gering polar hat gering WW m. hoch polar Analyt       | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|                                                           | K23W_01 Laufmittel desorbiert Analyt                             | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K23W_02 LM gepo desorb. gering auf hopo stat. Phase Analyt       | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K23W_03 LM hopo desorb. hoch auf hopo stat. Phase Analyt         | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K25W_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens                        | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
|                                                           | K25W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens      | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
|                                                           | K25W_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens               | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
|                                                           | K27W_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze              | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
|                                                           | K27W_02 LM gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Ads.-pl.     | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  |
|                                                           | K27W_03 LM hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Ads.-pl.       | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  |
|                                                           | K29W_08 Analyt hat in NPC gering Polarität                       | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K31W_01 Analyt belegt Adsorptionsplätze                          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K31W_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze                  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  |
|                                                           | K31W_03 Analyt gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Ads.-pl. | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K31W_04 Analyt hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Ads.-pl.   | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K33W_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft   | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K33W_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft     | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K33W_09 Elutionskraft hoch bewirkt gering k-Wert                 | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K33W_10 Elutionskraft gering bewirkt hoch k-Wert                 | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K34W_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)           | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K34W_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen        | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  |
|                                                           | K34W_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen                    | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  |
|                                                           | K34W_08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW                  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K37W_02 H-Brückenbindung ist sehr hoch Wechselwirkung            | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K37W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brückenbindung     | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
|                                                           | K37W_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brückenbindung               | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

Tab. 102: Aussagen zur Erklärung der Elutionswirkung unterschiedlich polarer Laufmittel bei der NPC im ersten Aufgabenkomplex (Teil A) – Vpn, Dokumente (in denen Codes vorkamen), Kennziffern der vorgekommenen Codes, absolute und relative Häufigkeiten der Codes

| Vp | Dokumentname zu Teil A | Codes im Teil A                                                            | abs. H Codes | $\sum$ Codes | rel. H Codes |
|----|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 01 | 011a Concept Map FD2   | K15Q_01, _02                                                               | 2            | 3            | 8,3%         |
|    | 011b Zusammenhänge FD2 | K15Q_01, _02, K22W_01                                                      | 3            |              |              |
|    | 011c SLS FD2           | K22W_01                                                                    | 1            |              |              |
| 02 | 021a Concept Map FD2   | K22W_01                                                                    | 1            | 5            | 13,9%        |
|    | 021b Zusammenhänge FD2 | K22W_01, _05, <b>K34W_02, _04, _05</b>                                     | 5            |              |              |
| 03 | 031a Concept Map FD2   | K22W_01                                                                    | 1            | 4            | 11,1%        |
|    | 031b Zusammenhänge FD2 | K15Q_01, _02, K22W_01                                                      | 3            |              |              |
|    | 031c SLS FD2           | K15Q_01, _03, K22W_01                                                      | 3            |              |              |
| 06 | 061a Concept Map       | K22W_01, K25W_01                                                           | 2            | 3            | 8,3%         |
|    | 061b Zusammenhänge     | K20W_03, K25W_01                                                           | 2            |              |              |
|    | 061c SLS               | K20W_03, K25W_01                                                           | 2            |              |              |
| 07 | 071a Concept Map       | K22W_01                                                                    | 1            | 2            | 5,6%         |
|    | 071b Zusammenhänge     | K22W_01, <b>K34W_04</b>                                                    | 2            |              |              |
|    | 071c SLS               | K22W_01                                                                    | 1            |              |              |
| 08 | 081a Concept Map       | K22W_01, K25W_01                                                           | 2            | 3            | 8,3%         |
|    | 081b Zusammenhänge     | K21W_02, K22W_01                                                           | 3            |              |              |
|    | 081c SLS               | K22W_01, K25W_01                                                           | 2            |              |              |
| 09 | 091a Concept Map       | K22W_01                                                                    | 1            | 1            | 2,8%         |
|    | 091b Zusammenhänge     | K22W_01                                                                    | 1            |              |              |
|    | 091c SLS               | K22W_01                                                                    | 1            |              |              |
| 11 | 111a Concept Map       | K22W_01, K25W_01                                                           | 2            | 2            | 5,6%         |
|    | 111c SLS               | K22W_01, K25W_01                                                           | 2            |              |              |
| 12 | 121a Concept Map       | K22W_01, K25W_01                                                           | 2            | 9            | 25,0%        |
|    | 121b Zusammenhänge     | K15Q_01, _02, _03, K20W_03, K22W_01, K23W_01, K25W_01, <b>K34W_04, _05</b> | 9            |              |              |
|    | 121c SLS               | K22W_01, K25W_01                                                           | 2            |              |              |
| 13 | 131a Concept Map       | K15Q_01, _02                                                               | 2            | 3            | 8,3%         |
|    | 131b Zusammenhänge     | K15Q_01, _02, _03                                                          | 3            |              |              |
|    | 131c SLS               | K15Q_01, _02                                                               | 2            |              |              |

rel. H: Anteil der Anzahl Codes im Verhältnis zur Gesamtzahl Codes ( $N=36$ )

**fett:** Codes zu Strukturmerkmalen und Polarität;  $\sum$ Codes: Summe verschiedener Codes

Tab. 103: Aussagen zur Erklärung der Elutionswirkung unterschiedlich polarer Laufmittel bei der NPC im zweiten Aufgabenkomplex (Teil B) – Vpn, Dokumente (in denen Codes vorkamen), Kennziffern der vorgekommenen Codes, absolute und relative Häufigkeiten der Codes im Vergleich zum ersten Aufgabenkomplex

| Vp | $\sum$ Codes<br>im Teil A | Dokumentname zu Teil B | Codes im Teil B                                                                                                            | Anzahl Codes<br>im Teil B | rel H Codes<br>im Teil B |
|----|---------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 01 | 3                         | 012c Zusammenhänge FD2 | K15Q_01, _02, _03,<br><b>K20W_03, K23W_01,</b><br><b>K25W_01, _03, _05,</b><br><b>K27W_01, _03,</b><br><b>K33W_05, _06</b> | 12                        | 33,3%                    |
| 02 | 5                         | keine Aussagen         |                                                                                                                            |                           |                          |
| 03 | 6                         | 032c Zusammenhänge FD2 | K15Q_02,<br>K22W_01, _03, _05,<br><b>K34W_02, _04, _05</b>                                                                 | 7                         | 19,4%                    |
| 04 |                           | 042c Zusammenhänge FD2 | <b>K34W_05</b>                                                                                                             | 1                         | 2,8%                     |
| 05 |                           | 052c Zusammenhänge     | <b>K34W_04</b>                                                                                                             | 1                         | 2,8%                     |
| 06 | 3                         | 062c Zusammenhänge     | K20W_03, K25W_01                                                                                                           | 2                         | 5,6%                     |
| 09 | 1                         | 092c Zusammenhänge     | K22W_01, <b>K25W_01</b>                                                                                                    | 2                         | 5,6%                     |
| 10 |                           | 102c Zusammenhänge     | <b>K20W_05, K21W_02,</b><br><b>K34W_02, _04</b>                                                                            | 5                         | 13,9%                    |
| 11 | 2                         | 112c Zusammenhänge     | K22W_01, K25W_01                                                                                                           | 2                         | 5,6%                     |
| 12 | 9                         | 122c Zusammenhänge     | K15Q_01, _02, K20W_03,<br>K22W_01, _03, _05<br>K23W_01,<br>K25W_01, _03, _05,<br><b>K34W_02, _04, _05</b>                  | 13                        | 36,1%                    |

rel. H: Anteil der Anzahl Codes im Verhältnis zur Gesamtzahl Codes ( $N=36$ )

**fett:** alle Codes, die im Teil A der Texte der Vpn noch nicht vorkamen;

**grün:** Codes zum Verdrängungsprinzip in der NPC

Die anderen Vpn beschränken ihre Aussagen auf Codes der Propositionsketten K15Q (Trennergebnisse v. Hexan, Propanol und Toluol), K20W (Benennung der stationären Phase), K21W (Polarität des Laufmittels in der NPC), K22–23W und K25W (Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt).

Insgesamt kommt im Teil A eine Auswahl folgender Propositionen vor:

- K15Q\_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K15Q\_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K21W\_02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K22W\_05 LM gering polar hat gering WW m. hoch polar Analyt
- K23W\_01 Laufmittel desorbiert Analyt
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens



- K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft
- K33W\_09 Elutionskraft hoch bewirkt gering k-Wert
- K33W\_10 Elutionskraft gering bewirkt hoch k-Wert
- K34W\_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)
- K34W\_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen

Alle zehn Vpn, die im ersten Aufgabenkomplex Aussagen zur Elutionswirkung von Laufmitteln getroffen haben, sind in Tab. 102 aufgelistet. Außer bei Vp12 waren es weniger als sechs der 36 ausgewählten Aussagen (Codes). In der Tabelle sind zu jeder Vp die Dokumentnamen, die Kennziffern der in dem jeweiligen Dokument vorgekommenen Codes und deren absolute Häufigkeit sowie die absoluten und relativen Häufigkeiten der in allen Dokumenten der jeweiligen Vp vorgekommenen Codes angegeben. Die Summe der Codes gibt nur die Anzahl unterschiedlicher Codes an. Vp06 hat bspw. drei Dokumente mit je zwei Codes, wobei sich nur ein Dokument in einem Code von den anderen unterscheidet. Daher ist die Summe der Codes drei.

Die detaillierte Übersetzung erfolgt bei diesen und weiteren Vpn dann erst in den nachfolgenden Aufgabenkomplexen, wobei allein die Auseinandersetzung mit dem englischen Textmaterial noch nicht den großen Effekt hat, dass das Verdrängungsprinzip in der NPC in den Ausführungen der Vpn ausreichend übersetzt bzw. verstanden wurde. Dies ist in Tab. 103 zu Teil B an dem geringen Anteil der berücksichtigten Codes ( $2,8\% < \text{rel. } H \text{ Codes} < 36,1\%$ ) bzw. an den fehlenden Codes aus Tab. 100 (S. 255) zu erkennen.

Im Teil B sind nur noch folgende Propositionen neu hinzugekommen:

- K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze
- K27W\_03 LM hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Adsorptionsplätze
- K33W\_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft
- K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft

Diese Propositionen, die nur bei Vp01 vorgekommen sind, benennen konkret das Verdrängungsprinzip in der NPC, was entscheidend ist, um die sehr hohe Elutionswirkung von Propanol bzw. die sehr niedrige Elutionswirkung von Hexan zu erklären.

Aus den fett hervorgehobenen Codes in Tab. 103 (S. 258) wird ersichtlich, dass nur Vp01 im Teil B das Verdrängungsprinzip in der NPC vollständig verstanden hat, auch wenn sie nur zwölf der 36 ausgewählten Propositionen abdeckt.

Die Tatsache, dass bei Vp02 im Teil B keine Aussagen zur Elutionswirkung von Laufmitteln vorkommen, mag damit zusammenhängen, dass für sie alles Notwendige bereits im ersten Aufgabenkomplex genannt worden ist.



### 13.3.3 Übertragungsleistung der Vpn bei der Anwendung des erworbenen Wissens auf die Trennergebnisse der dünnschichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches

In Kap. 13.3.2.1 bis Kap. 13.3.2.3 wurde dargestellt, wie tiefgründig die Vpn vor, während und nach der Auseinandersetzung mit dem englischen Textmaterial die theoretischen Zusammenhänge zu chromatografischen Trennungen durchdrungen haben. Dabei wurden primär Codes verallgemeinernder Aussagen berücksichtigt, die auch über das englische Textmaterial erschließbar waren. Der Fokus in diesem Kapitel liegt darauf, inwiefern diese verallgemeinernden Aussagen mit den experimentellen Befunden zur dünnschichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches in Beziehung gebracht werden.

Durch die Konfrontation der Vpn mit der Fallsituation war die didaktische Linienführung im Lehr-Lernkonzept im Sinne eines abduktiven Vorgehens konstruiert. Die Vpn wurden mit den besonderen Fällen (Trennergebnisse mit Hexan, Toluol und Propanol) konfrontiert, für die sie eine Erklärung finden sollten. Dazu waren sie im ersten Aufgabenkomplex gefordert, zunächst ihr bereits in Schule und Studium erworbenes Wissen zur Thematik zu aktivieren. Im zweiten und dritten Aufgabenkomplex erhielten sie Textmaterial aus dem englischen Lehrbuch (Snyder/Kirkland/Dolan 2010), in dem sie nach theoretischen Grundlagen suchen konnten, um (weitere) Erklärungen für die Trennergebnisse mit Hexan, Toluol und Propanol zur dünnschichtchromatografischen Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches zu finden. Dazu mussten sie im zweiten Aufgabenkomplex eigenständig relevante Textpassagen erkennen, während sie im dritten Aufgabenkomplex, wo diese Auswahl bereits getroffen war, die dargelegten theoretischen Zusammenhänge in den Textabschnitten auf die Trennergebnisse übertragen mussten.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten (s. Tab. 104) und die Begründungszusammenhänge zur Erklärung der Elutionswirkung der Laufmittel Hexan, Toluol und Propanol (s. Tab. 105).

In Tab. 104 sind die 34 Codes in roter Schriftfarbe identisch mit denen in Tab. 95 (S. 248). Die anderen 43 Codes beziehen sich auf die Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten mit den Analyten (Buttergelb, Indophenol, Sudanrot), den Laufmitteln (Hexan, Toluol und Propanol) und der stationären Phase (Silicagel).

## 13.3 Ergebnisse zu den Aufgabenkomplexen nach Inhaltsaspekten zur Chromatografie

Tab. 104: Übertragungsleistung der Vpn zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten anhand der Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) ( $H_{max}$  Codes = 77)

| Struktur-Eigenschaftsbeziehungen (FG, LM, SIL)                  |  | Textquellen Snyder et al. (2010) und Vpn |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | rel. H |         |
|-----------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|---------|
|                                                                 |  | E17                                      | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13     | je Code |
| 01 Verfahren K02V AM DC-Platte                                  |  | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 86%     |
| K02V_07 Stationäre Phase ist Verhältnissbedingung               |  | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      |         |
| 02 Verhältnissbedingungen/K04B Silicagel u. LM allg.            |  | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 36%     |
| K04B_01 Silicagel hat Hydroxylgruppe                            |  | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      |         |
| K04B_02 Silicagel hat sehr hoch Polarität                       |  | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| 02 Verhältnissbedingungen/K05B Hexan                            |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 21%     |
| K05B_02 Hexan ist Kohlenwasserstoffkette                        |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      |         |
| K05B_03 Hexan hat sehr gering Polarität                         |  | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1      | 93%     |
| K05B_04b Analyt hat in Hexan hat gekeine Löslichkeit            |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 7%      |
| K05B_05 Hexan hat sehr gering WW mit Silicagel                  |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0      | 43%     |
| 02 Verhältnissbedingungen/K06B Propanol                         |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K06B_02 Propanol hat Hydroxylgruppe                             |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      |         |
| K06B_03 Propanol hat Propylgruppe                               |  | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 21%     |
| K06B_04 Propanol hat hoch Polarität                             |  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K06B_05b Analyt hat in Propanol mittel/hoch Löslichkeit         |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0      | 21%     |
| K06B_06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel                 |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 64%     |
| 02 Verhältnissbedingungen/K07B Toluol                           |  | 0                                        | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 64%     |
| K07B_02 Toluol hat Benzolring                                   |  | 0                                        | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      |         |
| K07B_03 Toluol hat Methylgruppe                                 |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 7%      |
| K07B_04 Toluol hat gering Polarität                             |  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K07B_05b Analyt hat in Toluol mittel Löslichkeit                |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0      | 14%     |
| K07B_06 Toluol hat gering WW mit Silicagel                      |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| 03 Analyt/K08A Farbstoffgemisch Löslichkeit u. Polarität        |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 14%     |
| K08A_02 Analyt hat in LM unterschiedlich Löslichkeit            |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      |         |
| 03 Analyt/K10A, K12A Polarität d. Analyten                      |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      |         |
| K10A Buttergelb                                                 |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K10A_02 Buttergelb hat Azogruppe                                |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      |         |
| K10A_03 Buttergelb hat Benzolring                               |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K10A_04 Buttergelb hat Dimethylamino-Gruppe                     |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K10A_05 Buttergelb hat gering Polarität                         |  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K10A_06 Buttergelb hat gering WW mit Silicagel                  |  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K10A_07 Buttergelb hat gering WW mit Hexan                      |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K10A_08 Buttergelb hat gering WW mit Propanol                   |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K11A Indophenol                                                 |  | 0                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K11A_02 Indophenol hat Benzolring                               |  | 0                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      |         |
| K11A_03 Indophenol hat Hydroxylgruppe                           |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K11A_04 Indophenol hat Imino-Gruppe                             |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 36%     |
| K11A_05 Indophenol hat Ketogruppe                               |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K11A_06 Indophenol hat hoch Polarität                           |  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K11A_07 Indophenol hat hoch WW mit Silicagel                    |  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K11A_08 Indophenol hat sehr gering WW mit Hexan                 |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K11A_09 Indophenol hat hoch WW mit Propanol                     |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0      | 7%      |
| K11A_10 Indophenol hat mittel WW mit Toluol                     |  | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 14%     |
| K12A Sudanrot G                                                 |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K12A_02 Sudanrot G hat Azogruppe                                |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      |         |
| K12A_03 Sudanrot G hat Benzolring                               |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K12A_04 Sudanrot G hat Hydroxylgruppe                           |  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K12A_05 Sudanrot G hat mittel Polarität                         |  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0      | 50%     |
| K12A_06 Sudanrot G hat mittel WW mit Silicagel                  |  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 29%     |
| K12A_07 Sudanrot G/Vergl.-subst hat gering WW mit Hexan         |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K12A_08 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Propanol      |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K12A_09 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Toluol        |  | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 14%     |
| 04 Qualitative Analyse/K15Q Laufstrecke Analyt                  |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1      | 79%     |
| K15Q_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie                   |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1      |         |
| K15Q_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront         |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1      | 71%     |
| K15Q_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke         |  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1      | 79%     |
| 05 Wirkprinzip                                                  |  |                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K20W Adsorption Def. u. Adsorbens allg. Str-Eig-WW-Beziehungen  |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K20W_12 Strukturmerkmal (Ad)Sorbens begründet WW m. Analyt      |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      |         |
| K20W_13 Strukturmerkmal (Ad)Sorbens begründet WW m. LM          |  | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K21W Laufmittel allg. Str-Eig-WW-Beziehungen                    |  | 1                                        | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K21W_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel |  | 1                                        | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      |         |
| K21W_08 Strukturmerkmal LM begründet WW m. (Ad)Sorbens          |  | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K29W Analyt allg. Str-Eig-WW-Beziehungen                        |  | 1                                        | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 64%     |
| K29W_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel      |  | 1                                        | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      |         |
| K29W_06 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit (Ad)Sorbens     |  | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0      | 36%     |
| K32W Analyt Trennung, Retention u. Laufstrecke                  |  | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K32W_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/ho RF/ge k   |  | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      |         |
| K32W_04 Analyt hoch adsorbiert hat hoch Retention/ge RF/ho k    |  | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K34W allg. Str-Eig-Beziehungen (Polarität u. Löslichkeit)       |  | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K34W_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)          |  | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      |         |
| K34W_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen       |  | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 79%     |
| K34W_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen                   |  | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K34W_06 Polarität begründet Löslichkeit                         |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 7%      |
| K34W_08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW                 |  | 1                                        | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K36W Dipol-Dipol-WW                                             |  | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K36W_02 Dipol-Dipol-Kräfte ist hoch Wechselwirkung              |  | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      |         |
| K36W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte  |  | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 29%     |
| K36W_04 Hydroxylgruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte            |  | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K36W_05 Ketogruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte                |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 21%     |
| K36W_06 Iminogruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte               |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 14%     |
| K37W H-Brückenbindung                                           |  | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K37W_02 H-Brückenbindung ist sehr hoch Wechselwirkung           |  | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      |         |
| K37W_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brückenbindung    |  | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K37W_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brückenbindung              |  | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K37W_05 Ketogruppe bildet aus H-Brückenbindung                  |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K37W_06 Iminogruppe bildet aus H-Brückenbindung                 |  | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 21%     |
| K38W Pi-Pi-Transfer-Kräfte                                      |  | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 21%     |
| K38W_02 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist ind-Dipol Wechselwirkung      |  | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      |         |
| K38W_03 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist mittel Wechselwirkung         |  | 0                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 36%     |
| K38W_04 StrM mit Pi-Elekt. bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kr         |  | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K38W_05 Benzolring bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte             |  | 0                                        | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K39W van der Waals-Kräfte                                       |  | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0      | 29%     |
| K39W_03 van der Waals-Kräfte ist sehr gering Wechselwirkung     |  | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0      |         |
| K39W_04 ft. Gruppe gering polar bildet aus van der Waals-Kr.    |  | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 14%     |
| K39W_05 KW-Kette bildet aus van der Waals-Kräfte                |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0      | 14%     |
| K39W_06 Benzolring bildet aus van der Waals-Kräfte              |  | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0      | 14%     |
| K39W_07 Dimethylamino-Gruppe bildet aus van der Waals-Kräfte    |  | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| abs. H (gesamt)                                                 |  | 26                                       | 35  | 38  | 22  | 30  | 6   | 14  | 46  | 23  | 18  | 40  | 58  | 56  | 4      |         |
| rel. H (gesamt)                                                 |  | 34%                                      | 45% | 49% | 29% | 39% | 8%  | 18% | 60% | 30% | 23% | 62% | 75% | 73% | 5%     |         |
| rel. H (FG, LM, SIL; 43 Codes)                                  |  | 7%                                       | 53% | 58% | 26% | 40% | 5%  | 19% | 51% | 42% | 30% | 58% | 67% | 70% | 9%     |         |
| rel. H (nur vereinigtemeinernde Codes)                          |  | 68%                                      | 35% | 38% | 32% | 38% | 12% | 18% | 71% | 15% | 15% | 44% | 85% | 76% | 0%     |         |

Die mit Abstand beste Abdeckung der insgesamt 77 Codes haben Vp11 (75 %) und Vp12 (73 %), gefolgt von Vp07 (60 %), Vp10 (52 %), Vp02 (49 %), Vp01 (45 %) und Vp04 (39 %). Sie stellen einen ausreichenden Zusammenhang zwischen Strukturmerkmalen der Komponenten und den daraus resultierenden Wechselwirkungsbeziehungen her, wobei sich Vp04 bei den Farbstoffen nur auf Indophenol beschränkt. Alle anderen Vpn decken weniger als 30 % der Codes ab.

Auffallend ist die hohe Diskrepanz der Codeabdeckung zwischen den 43 Codes zu „FG, LM, SIL“ (schwarze Schriftfarbe) und den 34 verallgemeinernden Codes (graue Schriftfarbe) bei Vp08 und Vp09. Bei beiden liegt der Anteil der verallgemeinernden Codes bei nur 15 %, während der Anteil der Codes zu „FG, LM, SIL“ mindestens doppelt so hoch ist (42 % bei Vp08 und 30 % bei Vp09). Bei Vp09 fehlt der Zusammenhang zwischen den herausgearbeiteten Strukturmerkmalen zu „FG, LM, SIL“ und den daraus resultierenden Wechselwirkungsbeziehungen. Vp08 stellt diesen Zusammenhang wenigstens für die Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen her, beschränkt sich allerdings auf die polaren funktionellen Gruppen des Indophenols und Sudanrots. Die korrespondierenden funktionellen Gruppen von Propanol und Silicagel werden nicht genannt. Das andere Extrem ist Vp06, die nicht ein Strukturmerkmal der Farbstoffkomponenten nennt. Diese werden allerdings benötigt, um die unterschiedliche Retention der Farbstoffe bei der Trennung mit Toluol zu begründen.

In Tab. 105 sind die 33 Codes in roter Schriftfarbe und die drei Codes der Kette K15Q identisch mit denen in Tab. 99 (S. 254). Die anderen 40 Codes beziehen sich wie in Tab. 104 auf die am Trennprozess beteiligten Komponenten mit den Analyten (Buttergelb, Indophenol, Sudanrot), den Laufmitteln (Hexan, Toluol und Propanol) und der stationären Phase (Silicagel), diesmal allerdings mit dem Fokus auf die Elutionswirkung der drei Laufmittel. Wieder die mit Abstand beste Abdeckung der insgesamt 76 Codes haben Vp11 (68 %) und Vp12 (72 %), gefolgt von Vp01, Vp02, Vp07 (mit je 58 %), Vp10 (57 %), Vp08 (49 %), Vp04 (42 %), Vp09 (39 %) und Vp06 (29 %). Sie stellen ausreichend einen Zusammenhang zwischen Strukturmerkmalen der Laufmittel und der daraus resultierenden Elutionswirkung her, wobei die Texte von Vp04 keine Aussagen zum Konkurrieren der Laufmittel mit den Analyten um Adsorptionsplätze enthält. Es ist daher nicht ganz sicher, ob Vp04 das Verdrängungsprinzip vollständig verstanden hat. Den niedrigsten Abdeckungsgrad haben Vp05 und Vp13 mit nur 7 % der Codes.

## 13.3 Ergebnisse zu den Aufgabenkomplexen nach Inhaltsaspekten zur Chromatografie

Tab. 105: Übertragungsleistung der Vpn zu Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie anhand der Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) ( $H_{\max}$  Codes = 76)

| Elutionswirkung LM in NPC (FG, LM, SIL)                         | Textquellen Snyder et al. (2010) und Vpn |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     | rel. H |         |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|---------|
|                                                                 | E17                                      | 01  | 02  | 03  | 04 | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13     | je Code |
| 02 Verhaltensbedingungen                                        |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K04B Silicagel u. LM allg.                                      |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K04B 01 Silicagel hat Hydroxylgruppe                            | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 36%     |
| K04B 02 Silicagel hat sehr hoch Polarität                       | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1  | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| 02 Verhaltensbedingungen/K05B Hexan                             |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K05B 02 Hexan ist Kohlenwasserstoffkette                        | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 1  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0      | 21%     |
| K05B 03 Hexan hat sehr gering Polarität                         | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1      | 93%     |
| K05B 04b Analyt hat in Hexan hat ge'keine Löslichkeit           | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 7%      |
| K05B 05 Hexan hat sehr gering WW mit Silicagel                  | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0      | 43%     |
| 02 Verhaltensbedingungen/K06B Propanol                          |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K06B 02 Propanol hat Hydroxylgruppe                             | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K06B 03 Propanol hat Propylgruppe                               | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0      | 21%     |
| K06B 04 Propanol hat hoch Polarität                             | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 1  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K06B 05b Analyt hat in Propanol mittel/hoch Löslichkeit         | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0      | 21%     |
| K06B 06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel                 | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 64%     |
| 02 Verhaltensbedingungen/K07B Toluol                            |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K07B 02 Toluol hat Benzolring                                   | 0                                        | 1   | 0   | 1   | 1  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 64%     |
| K07B 03 Toluol hat Methylgruppe                                 | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 7%      |
| K07B 04 Toluol hat gering Polarität                             | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 1  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K07B 05b Analyt hat in Toluol mittel Löslichkeit                | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0      | 14%     |
| K07B 06 Toluol hat gering WW mit Silicagel                      | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| 03 Analyt/K10A, K12A, Polarität d. Analyten                     |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K10A Buttergell                                                 |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K10A 02 Buttergell hat Azogruppe                                | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K10A 03 Buttergell hat Benzolring                               | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K10A 04 Buttergell hat Dimethylaminogruppe                      | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K10A 05 Buttergell hat gering Polarität                         | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K10A 06 Buttergell hat gering WW mit Silicagel                  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K10A 07 Buttergell hat gering WW mit Hexan                      | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K10A 08 Buttergell hat gering WW mit Propanol                   | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K11A Indophenol                                                 |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K11A 02 Indophenol hat Benzolring                               | 0                                        | 0   | 0   | 1   | 1  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K11A 03 Indophenol hat Hydroxylgruppe                           | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K11A 04 Indophenol hat Iminogruppe                              | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 1  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 36%     |
| K11A 05 Indophenol hat Ketogruppe                               | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K11A 06 Indophenol hat hoch Polarität                           | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K11A 07 Indophenol hat hoch WW mit Silicagel                    | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K11A 08 Indophenol hat sehr gering WW mit Hexan                 | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K11A 09 Indophenol hat hoch WW mit Propanol                     | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0      | 7%      |
| K11A 10 Indophenol hat mittel WW mit Toluol                     | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 14%     |
| K12A Sudanrot G                                                 |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K12A 02 Sudanrot G hat Azogruppe                                | 0                                        | 0   | 1   | 0   | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K12A 03 Sudanrot G hat Benzolring                               | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K12A 04 Sudanrot G hat Hydroxylgruppe                           | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K12A 05 Sudanrot G hat mittel Polarität                         | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0      | 50%     |
| K12A 06 Sudanrot G hat mittel WW mit Silicagel                  | 0                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 29%     |
| K12A 07 Sudanrot G/Vergl.-subst hat gering WW mit Hexan         | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K12A 08 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Propanol      | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K12A 09 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Toluol        | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 14%     |
| 04 Qualitative Analyse/K15Q Laufstrecke Analyt                  |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K15Q 01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie                   | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1      | 79%     |
| K15Q 02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront         | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1      | 71%     |
| K15Q 03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke         | 0                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1      | 79%     |
| 05 Wirkprinzip                                                  |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K20 21W Adsorbens/LM allg. Str-Eig-WW-Beziehungen               |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K20W 03 Silicagel ist (Ad)Sorbens                               | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 86%     |
| K20W 05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)             | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1  | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0      | 71%     |
| K21W 02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität                 | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0      | 36%     |
| K22W Laufmittel WW mit Analyt                                   |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K22W 01 Laufmittel hat WW mit Analyt                            | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1      | 93%     |
| K22W 02 LM hoch polar hat gering WW m. gering polar Analyt      | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0%      |
| K22W 03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar Analyt          | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0      | 29%     |
| K22W 04 LM gering polar hat hoch WW m. gering polar Analyt      | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 14%     |
| K22W 05 LM gering polar hat gering WW m. hoch polar Analyt      | 1                                        | 0   | 1   | 1   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0      | 50%     |
| K23W Laufmittel Desorption Analyt                               |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K23W 01 Laufmittel desorbiert Analyt                            | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K23W 02 LM gepo desorb. gering auf hopo stat. Phase Analyt      | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 14%     |
| K23W 03 LM gepo desorb. hoch auf hopo stat. Phase Analyt        | 0                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 7%      |
| K25W Laufmittel WW mit (Ad)Sorbens                              |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K25W 01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens                       | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 79%     |
| K25W 03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens     | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K25W 05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens              | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K27W Laufmittel konkurrieren um Adsorptionsplätze               |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K27W 01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze             | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K27W 02 LM gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Ads.-pl.    | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K27W 03 LM gepo konkurriert hoch auf hopo stPh um Ads.-pl       | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 64%     |
| K29W Analyt allg. Str-Eig-WW-Beziehungen                        |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K29W 08 Analyt hat in NPC gering Polarität                      | 1                                        | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 7%      |
| K31W Analyt konkurrieren um Adsorptionsplätze                   |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K31W 01 Analyt belegt Adsorptionsplätze                         | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0      | 29%     |
| K31W 02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze                 | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 0  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K31W 03 Analyt gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Ads.-pl | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 36%     |
| K31W 04 Analyt gepo konkurriert hoch auf hopo stPh um Ads.-pl.  | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 36%     |
| K33W Elutrope Reihe                                             |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K33W 05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft  | 1                                        | 1   | 1   | 0   | 1  | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0      | 57%     |
| K33W 06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft    | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0      | 64%     |
| K33W 09 Elutionskraft hoch bewirkt gering k-Wert                | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0      | 79%     |
| K33W 10 Elutionskraft gering bewirkt hoch k-Wert                | 1                                        | 0   | 0   | 1   | 1  | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K34W allg. Str-Eig.-Beziehungen (Polarität u. Löslichkeit)      |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K34W 02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)          | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K34W 04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen       | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0      | 79%     |
| K34W 05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen                   | 1                                        | 1   | 1   | 1   | 1  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 71%     |
| K34W 08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW                 | 1                                        | 1   | 0   | 1   | 1  | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| K37W H-Brückenbindung                                           |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| K37W 02 H-Brückenbindung ist sehr hoch Wechselwirkung           | 0                                        | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 29%     |
| K37W 03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brückenbindung    | 1                                        | 1   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0      | 43%     |
| K37W 04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brückenbindung              | 1                                        | 0   | 1   | 0   | 0  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0      | 57%     |
| abs. H (gesamt)                                                 |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| 31                                                              | 41%                                      | 44  | 44  | 22  | 32 | 5   | 20  | 44  | 37  | 30  | 43  | 52  | 55  | 5      |         |
| rel. H (gesamt)                                                 |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| 41%                                                             | 58%                                      | 58% | 26% | 42% | 7% | 26% | 58% | 49% | 39% | 57% | 68% | 72% | 7%  |        |         |
| rel. H (FG, LM, SIL; 43 Codes)                                  |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| 7%                                                              | 53%                                      | 58% | 26% | 40% | 5% | 19% | 51% | 42% | 30% | 58% | 67% | 70% | 9%  |        |         |
| rel. H (nur vereinigtemeinerde Codes; 36 Codes)                 |                                          |     |     |     |    |     |     |     |     |     |     |     |     |        |         |
| 78%                                                             | 67%                                      | 61% | 39% | 50% | 8% | 42% | 69% | 53% | 53% | 58% | 72% | 78% | 11% |        |         |

Während sich vier der fünf Aussagen von Vp13 auf die Polaritätseinschätzung von Hexan (K05B\_03) und die Trennergebnisse (K15Q\_01, \_02, \_03) beschränken und eine Aussage die Wechselwirkung zwischen Analyt und Laufmittel benennt (K22W\_01), fokussieren die fünf Aussagen von Vp05 auf die Azogruppe von Buttergelb und Sudanrot G zur Begründung der Eigenschaft der Teilchen sowie den Zusammenhang zwischen hoher Elutionskraft und geringem k-Wert (K33W\_09).

Anders als in Tab. 104 unterscheidet sich bei Vp08 und Vp09 in Tab. 105 die Codeabdeckung zwischen den 43 Codes zu „FG, LM, SIL“ (schwarze Schriftfarbe, einschließlich der drei Codes der Kette K15Q) und den 36 verallgemeinernden Codes (rote Schriftfarbe und die drei Codes der Kette K15Q) kaum. Der Anteil der verallgemeinernden Codes liegt bei beiden Vpn deutlich über 50% (gegenüber 15% in Tab. 104). Während bei Vp09 in Tab. 104 der Zusammenhang zwischen den herausgearbeiteten Strukturmerkmalen zu „FG, LM, SIL“ und den daraus resultierenden Wechselwirkungsbeziehungen fehlte, ist in Tab. 105 zu erkennen, dass die Polarität der Laufmittel in Zusammenhang mit deren Elutionswirkung gebracht wird. Die entscheidenden Codes aus den Propositionsketten K25W (Wechselwirkung des Laufmittels mit dem (Ad)Sorbens) und K27W (Konkurrieren des Laufmittels um Adsorptionsplätze) sind vorhanden. Dies gilt auch für Vp06, die zwar nicht ein Strukturmerkmal der Farbstoffkomponenten nennt, aber die Polarität der Laufmittel in Zusammenhang mit deren Elutionswirkung bringt.

### 13.3.4 Zusammenfassung des Erkenntnisgewinns der Vpn der Fallstudie

Die Ergebnisse in Kap. 13.3.2.1 bis Kap. 13.3.2.3 verdeutlichen, dass die Vorkenntnisse der Vpn zur Thematik nicht ausreichend waren und eine Auseinandersetzung mit dem englischen Textmaterial erforderlich war, um die Wissenslücken zu schließen. Vp01 hat das Verdrängungsprinzip bei der Elutionswirkung von Laufmitteln in der NPC bereits im Teil B verstanden. Alle anderen Vpn benötigten die Eingrenzung des Textmaterials (Teil C) und auch die Leitfragen (Teil D), um die Zusammenhänge des Verdrängungsprinzips zu erfassen, wobei Vp03, Vp04 und Vp05 es nicht vollständig durchdrungen haben.

Wie die Zunahme des Anteils der 300 Propositionen im Verlauf der Aufgabenbearbeitung zugenommen hat, ist abschließend in Tab. 106 zusammengefasst worden. In den Zeilen ist angegeben, welche Aufgabenkomplexe berücksichtigt wurden. Zu beachten ist, dass in den farbig markierten Zeilen, in denen Ergebnisse aus mehr als einem Teil berücksichtigt wurden, mehrfach vorgekommene Propositionen nur einfach gezählt wurden. In Tab. 106 wird deutlich, dass Vp01, Vp07 und Vp12 bereits im Teil A am höchsten abschneiden (mit 15%, 17% bzw. 22%) und sich dieser Wissensvorsprung bis zum Ende auswirkt<sup>138</sup>, denn

<sup>138</sup> Vp13 hat zwar im Teil A mit 14,7% einen nahezu gleich hohen Wert wie Vp01, aber hat ab Teil C die Bearbeitung der Aufgaben abgebrochen. In diesem Fall wirkte sich der Zeitpunkt der Durchführung der Fallstudie nachteilig aus (zu große Belastungen während des Semesters). Die Lernmotivation war zum Ende des zweiten Aufgabenkomplexes nicht mehr ausreichend (MOT-Items:  $M=3$ , wobei das Item 1 „Die Aufgabe macht mir noch Spaß“ und das Item 2 „Ich bin sicher, die richtige Lösung zu finden.“ jeweils mit dem Skalenwert 1 und das Item 3 „Mir ist klar, wie ich weiter vorgehen soll.“ mit dem Skalenwert 7 bewertet wurden; der Skalenwert 1 entspricht „trifft nicht zu“ und der Skalenwert 7 „trifft zu“).

sie erreichen am Ende die höchsten Werte mit 48% und 58%. Weiterhin erreichen Vp01 und Vp12 im Teil B mit deutlichem Abstand zu allen anderen Vpn bereits 28% bzw. 31%, wobei nur Vp01 im Teil B bereits das Verdrängungsprinzip verstanden und daher gegenüber Vp12 einen Erkenntnisvorsprung hatte, obwohl sie neun Propositionen weniger berücksichtigt. Dieser Umstand zeigt, dass der Abdeckungsgrad nur ein Indiz dafür sein kann, wie umfassend Ausführungen dargelegt werden.

Tab. 106: Zusammenfassung der Ergebnisse zum Erkenntnisgewinn im Verlauf der verschiedenen Stufen des Lehr-Lernkonzepts (Teile A bis D) – rel. Anteil in Prozent der in den Texten der Vpn vorgekommenen Propositionen ( $H_{max}$ , Codes=300)

| Vp           | 01   | 02   | 03   | 04   | 05   | 06   | 07   | 08   | 09   | 10   | 11   | 12   | 13   |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Teil A       | 15,0 | 15,0 | 12,0 | 8,0  | 10,7 | 8,7  | 16,7 | 9,3  | 7,7  | 8,7  | 8,7  | 22,0 | 14,7 |
| Teil B       | 20,7 | 0,0  | 9,3  | 4,0  | 6,3  | 2,0  | 8,7  | 0,0  | 1,3  | 6,3  | 3,7  | 21,3 | 1,3  |
| Teil A_B     | 28,3 | 15,0 | 17,0 | 10,7 | 16,0 | 9,7  | 18,7 | 9,3  | 8,7  | 14,0 | 10,3 | 31,3 | 14,7 |
| Teil C       | 26,0 | 18,7 | 11,7 | 19,0 | 2,0  | 17,7 | 27,3 | 19,3 | 24,0 | 20,7 | 34,0 | 31,3 | 2,0  |
| Teil A_B_C   | 41,3 | 32,0 | 25,0 | 25,0 | 17,7 | 23,0 | 38,7 | 22,3 | 28,7 | 29,7 | 38,3 | 47,0 | 16,0 |
| Teil D       | 22,7 | 16,3 | 5,7  | 12,3 | 2,0  | 8,0  | 31,7 | 17,3 | 21,0 | 21,7 | 23,3 | 34,7 | 0,0  |
| Teil A_B_C_D | 47,7 | 40,0 | 27,7 | 33,3 | 18,7 | 28,3 | 58,0 | 31,3 | 39,0 | 41,3 | 50,7 | 58,3 | 16,0 |

Die Vorkenntnisse der Vpn (s. Kap. 13.1, S. 233) sind sehr unterschiedlich. Insbesondere ab dem zweiten Aufgabenkomplex zeigt sich, wie gut das Leseverstehen<sup>139</sup> der Vpn ist, um eigenständig relevante Textpassagen aus dem umfangreichen englischen Textmaterial zu erkennen und für die eigene Argumentation zur Darlegung der Begründungszusammenhänge zu nutzen. Am Beispiel von Vp01, die im C-Test das geringste und im SC-Fachtest das höchste Ergebnis erreicht hat (s. Abb. 49, S. 234), wird deutlich, dass die englischen Vorkenntnisse nicht allein maßgeblich für den (Lese)Verstehensprozess sind, sondern auch die fachlichen Vorkenntnisse. Letztere wurden während der Bearbeitung des ersten Aufgabenkomplexes aktiviert (Top-down Prozesse). Wenn das Textmaterial nicht direkt an die Vorkenntnisse der Vpn angeknüpft hat (z. B. Vp02 bis Vp11 und Vp13), mag das Zusammenspiel zwischen bottom-up und top-down Prozessen nur unzureichend vonstatten gegangen sein, sodass die Vpn kein vollständiges mentales Modell zum Text generieren konnten (vgl. ebd.: 53). An dieser Stelle konnten die Eingrenzung des Textumfanges (im Teil C) und die Leitfragen (im Teil D) den Verstehensprozess unterstützen, sodass mehr als die Hälfte der Vpn in der Lage war, die drei Trennergebnisse und die damit verbundene Elutionswirkung der Laufmittel zu interpretieren.

Vp01 hingegen, die bereits im Teil B den entscheidenden Erkenntnisgewinn aufzeigt, scheint auch über eine gute Strategieranwendung hinsichtlich ihrer Selbstregulationskompetenz beim Lernen aus Sachtexten zu verfügen (vgl. Schütte/Wirth/Leutner 2010: 254–255). Eine davon ist, dass sie, im Unterschied zu den anderen Vpn, im Textmaterial in dem

<sup>139</sup> Leseverstehen ist „eine Art des Verstehens, die darin besteht, dass der Leser den Text sowohl reproduzieren und zusammenfassen kann als auch textrelevante Fragen zu beantworten weiss [sic!]“ [...] aufgefasst. Es wird weiterhin ‚als Interaktion und Verschmelzung des Textes mit dem aktualisierten Wissen bzw. dem persönlichen Erfahrungsschatz des Verstehenden gesehen‘ (Kintsch, 1994, S. 43)“ (Landgraf/Rutsch 2018: 53)“.

einen entscheidenden Chromatogramm (zur Darstellung der Retention von monosubstituierten Benzolen in der NPC in Abhängigkeit ihrer Polarität) Markierungen<sup>140</sup> vorgenommen hat (s. Abb. 50).

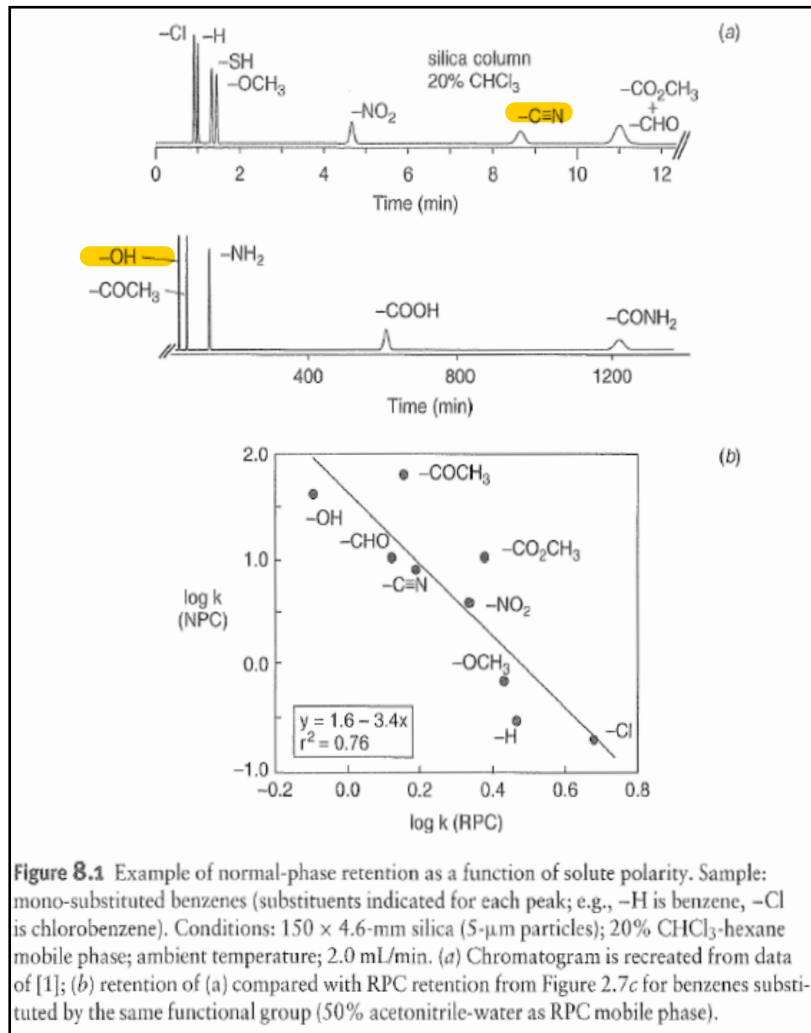


**Figure 8.1** Example of normal-phase retention as a function of solute polarity. Sample: mono-substituted benzenes (substituents indicated for each peak; e.g.,  $-\text{H}$  is benzene,  $-\text{Cl}$  is chlorobenzene). Conditions:  $150 \times 4.6$ -mm silica ( $5\text{-}\mu\text{m}$  particles); 20%  $\text{CHCl}_3$ -hexane mobile phase; ambient temperature; 2.0 mL/min. (a) Chromatogram is recreated from data of [1]; (b) retention of (a) compared with RPC retention from Figure 2.7c for benzenes substituted by the same functional group (50% acetonitrile-water as RPC mobile phase).

Abb. 50: Markierung von Vp01 im Chromatogramm einer HPLC-Analyse von monosubstituierten Benzolen unter Bedingungen der Normalphasenchromatografie (NPC) (Abbildung aus Snyder et al. 2010: 364)

<sup>140</sup> Textmarkierungen wurden nicht explizit ausgewertet. Für die Daten des ersten Durchganges wurden exemplarisch alle markierten Textstellen codiert und in Form einer Excel-Tabelle exportiert. Die Markierung des Chromatogramms von Vp01 war insofern hervorhebenswert, als Vp01 die einzige Vp war, die das Verdrängungsprinzip bereits im Teil B verstanden hatte.

Das kann als Indiz gewertet werden, dass sie die im Text ausgeführten Erklärungen an ausgewählten Chromatogrammen nachvollzogen und auf die analytische Problemstellung zur dünnsschichtchromatografischen Trennung des Farbstoffgemisches richtig übertragen hat. Vp01 hat bspw. Markierungen in den Chromatogrammen vorgenommen, aus denen im Text erklärte Zusammenhänge entnommen werden können.

Die Verständnisprobleme, die sich bei einigen Vpn zeigten (z. B. ging Vp04 davon aus, dass an Kohlenstoff gebundene Wasserstoffatome Wasserstoffbrückenbindungen eingehen; Vp01 hat Toluol mit Phenol verwechselt<sup>141</sup>), decken sich auch mit Befunden von Herzog/Parchmann (2013), die das Fachwissen von Lehramtsstudierenden zum Struktur-Eigenschaftskonzept untersucht haben:

„Vier Items, die den Aspekt der Wasserstoffbrückenbindungen explizit in der Aufgabe enthalten bzw. bei denen dieser zur Beantwortung der Aufgabe herangezogen werden muss, weisen nicht nur unterschiedliche Itemschwierigkeiten auf, sie unterscheiden sich auch in den enthaltenen Beispielen (von konkreten zu allgemeinen bzw. von schulnahen zu schulfernen Substanzen). Darüber hinaus scheinen die Vorgabe expliziter Strukturformeln die Aufgaben leichter, das eigene Konstruieren von Strukturformeln die Aufgaben schwerer zu machen. Ebenso deutet sich bei der Übertragung des Konzepts der Wasserstoffbrückenbindungen auf Substanzen mit Stickstoff anstelle des üblicherweise verwendeten Sauerstoffs auch eine Erhöhung der Schwierigkeit an.“ (ebd.: 231–232)

Die Strukturformeln der Farbstoffkomponenten waren vorgegeben, die von den Laufmitteln und der stationären Phase nicht. Die Vielzahl der funktionellen Gruppen und Wechselwirkungsbeziehungen werden in den ersten drei Aufgabenkomplexen kaum benannt. Erst im Teil D werden diese differenzierter betrachtet, von fünf Vpn allerdings auch nicht. Dazu sind die Propositionen zu Strukturmerkmalen und den daraus resultierenden Polaritätseinschätzungen der stationären Phase (Silicagel), der Laufmittel (Hexan, Propanol, Toluol) und der Analyten (Buttergelb, Indophenol, Sudanrot G) in Tab. 107 noch einmal zusammengefasst. Insbesondere bei den Farbstoffkomponenten wird am häufigsten die Hydroxylgruppe vom Indophenol genannt. Die Strukturmerkmale der anderen Farbstoffkomponenten werden nur von vier bis sechs Vpn berücksichtigt.

Für die Bewertung der von den Vpn erwogenen Erkenntniswege für die Erarbeitung der Zusammenhänge mit Schülerinnen und Schülern im Unterricht ist dieser Sachverhalt entscheidend. Ohne Struktur-Eigenschaftsbeziehungen in der Tiefe durchdrungen zu haben, werden regressiv- oder progressiv-reduktive didaktische Linienführungen, wie sie in den Aufgaben 2f und 4L3 zu skizzieren waren, nur oberflächlich dargelegt werden können. Die Ergebnisse der Auswertung der didaktisch orientierten Aufgaben, werden im nächsten Kapitel ausführlich dargestellt und diskutiert.

---

<sup>141</sup> Liste falscher Propositionen ist im Anhang (Kap. 20.1, S. 501).



Tab. 107: Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn benannten Strukturmerkmale der am Trennprozess beteiligten Komponenten (abs. und rel. H) ( $H_{\max}$ , Codes = 25)

| Strukturmerkmale und Polarität/Löslichkeit                 | Vpn   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      | abs. H  |
|------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
|                                                            | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13   | je Code |
| K04B 01 Silicagel hat Hydroxylgruppe                       | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0    | 4       |
| K04B 02 Silicagel hat sehr hoch Polarität                  | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0    | 9       |
| K04B 03 Laufmittel hat unterschiedlich Polarität           | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0    | 4       |
| K05B Hexan/K05B 02 Hexan ist Kohlenwasserstoffkette        | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0    | 3       |
| K05B Hexan/K05B 03 Hexan hat sehr gering Polarität         | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 12      |
| K06B Propanol/K06B 02 Propanol hat Hydroxylgruppe          | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0    | 7       |
| K06B Propanol/K06B 03 Propanol hat Propylgruppe            | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0    | 3       |
| K06B Propanol/K06B 04 Propanol hat hoch Polarität          | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0    | 10      |
| K07B Toluol/K07B 02 Toluol hat Benzolring                  | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0    | 9       |
| K07B Toluol/K07B 03 Toluol hat Methylgruppe                | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 1       |
| K07B Toluol/K07B 04 Toluol hat gering Polarität            | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0    | 10      |
| K08A 01 Farbstoffgemisch hat lipophil Löslichkeit          | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1    | 12      |
| K08A 02 Analyt hat in LM unterschiedlich Löslichkeit       | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 2       |
| K08A 03 Analyt hat unterschiedlich Polarität               | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0    | 8       |
| K10A Buttergelb/K10A 02 Buttergelb hat Azogruppe           | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0    | 4       |
| K10A Buttergelb/K10A 03 Buttergelb hat Benzolring          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0    | 4       |
| K10A Buttergelb/K10A 04 Buttergelb hat Dimethylaminogruppe | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0    | 4       |
| K11A Indophenol/K11A 02 Indophenol hat Benzolring          | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0    | 6       |
| K11A Indophenol/K11A 03 Indophenol hat Hydroxylgruppe      | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0    | 10      |
| K11A Indophenol/K11A 04 Indophenol hat Iminogruppe         | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0    | 5       |
| K11A Indophenol/K11A 05 Indophenol hat Ketogruppe          | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0    | 6       |
| K12A Sudanrot G/K12A 02 Sudanrot G hat Azogruppe           | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0    | 4       |
| K12A Sudanrot G/K12A 03 Sudanrot G hat Benzolring          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0    | 4       |
| K12A Sudanrot G/K12A 04 Sudanrot G hat Hydroxylgruppe      | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0    | 7       |
| K12A Sudanrot G/K12A 05 Sudanrot G hat mittel Polarität    | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0    | 7       |
| abs. H (max. 25 Codes)                                     | 12    | 16    | 6     | 14    | 3     | 7     | 16    | 15    | 7     | 16    | 22    | 19    | 2    |         |
| rel. H                                                     | 48,0% | 64,0% | 24,0% | 56,0% | 12,0% | 28,0% | 64,0% | 60,0% | 28,0% | 64,0% | 88,0% | 76,0% | 8,0% |         |

### 13.4 Anwendung des erworbenen Wissens auf didaktische Überlegungen

Die didaktisch orientierten Aufgaben verteilen sich auf die Teile A, B, D und E. In den Teilen A, B und D lag der Schwerpunkt auf Frage- und Problemstellungen für den Unterricht sowie Überlegungen zu möglichen didaktischen Linienführungen. Diese Ergebnisse werden im Kap. 13.4.1 zusammengefasst und diskutiert. Im Kap. 13.4.2 (S.282) folgt dann die Ergebnisdarstellung zum Teil E, in dem der Fokus auf der Analyse von Schülerfehlkonzepten lag.

#### 13.4.1 Überlegungen zu möglichen didaktischen Linienführungen

Die Häufigkeitsverteilung der bearbeiteten Aufgaben zur didaktischen Einbindung des im Lehr-Lernkonzept dargelegten Experimentes ist in Tab. 108 dargestellt.

Tab. 108: Häufigkeitsverteilung der beantworteten didaktisch orientierten Aufgaben

| Didaktische Aufgaben                           | Vpn |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | rel. H  |
|------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
|                                                | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | je Code |
| <b>Aufgaben Teil A</b>                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| 1d Problemstellungen für Unt. zu Exp.          |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 69%     |
| 1e Fragen für Unt. zu Exp.                     | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%     |
| <b>If Erkenntniswege</b>                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| induktives Vorgehen                            | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 54%     |
| deduktives Vorgehen                            | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 54%     |
| regr.-red. Vorgehen                            | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 85%     |
| progr.-red. Vorgehen                           | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%     |
| 1g Aufg. für Unt. zu Exp. u. Erkenntniswegen   |     |     | 1   |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 77%     |
| <b>Aufgaben Teil B</b>                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| 2d Problemstellungen aus Text für Unt. zu Exp. |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 69%     |
| 2e Fragen für Unt. zu Problemstellungen        | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%     |
| 2f regr.-red. Erkenntnisweg                    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| 2g Aufg. für Unt. zu regr.-red. Erkenntnisweg  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| <b>Aufgaben Teil D</b>                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| 4 L3.1 Erkenntnisweg (regr.-red.)              | 1   | 1   | 1   | 1   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 31%     |
| 4 L3.2 Erkenntnisweg (progr.-red.)             | 1   | 1   | 1   |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 38%     |
| abs. H (max. 13 Codes ab Vp05)                 | 9   | 9   | 9   | 8   | 11  | 11  | 8   | 11  | 9   | 10  | 9   | 9   | 11  |         |
| max. Anzahl Codes                              | 11  | 11  | 11  | 10  | 13  | 13  | 13  | 13  | 13  | 13  | 13  | 13  | 13  |         |
| rel. H                                         | 82% | 75% | 75% | 80% | 85% | 85% | 62% | 85% | 69% | 77% | 69% | 69% | 85% |         |

Insgesamt werden die Aufgaben zu 69% bis 85% bearbeitet. Durch die Änderungen der Aufgaben nach dem ersten Durchgang (s. Tab.48, S.164), an dem die ersten vier Vpn teilgenommen haben (gelb hervorgehoben), weicht die maximale Anzahl der bearbeiteten Aufgaben für diese vier Vpn gegenüber den anderen Vpn ab. Es sind mit den untergeordneten Punkten zu 1f insgesamt zehn Aufgaben bzw. Codes, wobei Vp01 bis Vp03 die Aufgabe 4L3.2 nachträglich noch bearbeitet haben, sodass sie auf insgesamt elf Codes kommen. Für die Durchgänge 2 bis 7 sind es insgesamt jeweils maximal 13 Codes. Sie hatten im Teil D ausschließlich die Aufgabe 4L3.2 zu bearbeiten.

Die Aufgaben, die bei den jeweiligen Vpn keine Rolle gespielt haben, sind in der jeweiligen Zelle mit einem Querstrich versehen. Das betrifft im ersten Durchgang die Aufgaben 1d, 1g, und 2d. Die Tatsache, dass bei Vp03 ein Textsegment der Aufgabe 1g zugeordnet wurde, hängt damit zusammen, dass Vp03 unter 1e („Nennen Sie Fragestellungen/Aufgabenstellungen, die mit dem Experiment thematisiert werden können.“), Aufgaben statt Fragen formuliert hat und dieses Segment in der Codierung somit besser zu 1g passt.

Bei Aufgabe 1f sollten die Vpn mögliche Varianten der Einbindung des Experimentes in verschiedene Erkenntniswege skizzieren. Dabei dominierten erwartungsgemäß die Betrachtungen zum regressiv-reduktiven und progressiv-reduktiven Vorgehen. Die Tatsache, dass deduktives und induktives Vorgehen von jeweils nur 54% der Vpn benannt wurden, mag darin begründet liegen, dass den Vpn die Differenzierungen, wie sie im Kap.6.4.2 (S.47) dargelegt wurden, nicht bewusst sind. In den Aufgaben, in denen regressiv-reduktives (2f u. 4L3.1) und progressiv-reduktives Vorgehen (4L3.2) skizziert werden sollten, wurden deduktive und induktive Teilschritte zwar beschrieben, aber nicht als solche benannt.

Bei den anderen Aufgaben 1d, 1e, 1g, 2d, 2e und 2g waren Problem- und Fragestellungen sowie Aufgabenstellungen für den Unterricht zu formulieren, die von den Durchgängen 2 bis 7 vollständig bearbeitet wurden. Die fehlenden Einträge beim ersten Durchgang sind auf die nachträglichen Änderungen bei den didaktisch orientierten Aufgaben zurückzuführen.

#### 13.4.1.1 Erkenntniswege

Um die qualitativen Unterschiede in den Ausführungen der Vpn herauszustellen, werden zunächst die Segmente der Aufgaben 1f, 2f, 4L3.1 und 4L3.2 zu den jeweiligen Erkenntniswegen danach analysiert, welche Lernschritte von den Vpn benannt werden (s. Tab. 109).

Im Detail betrachtet, ist bei allen Vpn die Beschreibung der Erkenntniswege unzureichend, wobei Vp02 und Vp03 mit 51% und 49% noch am besten abschneiden, gefolgt von Vp01 (32%), Vp11 und Vp12 (je 30%), Vp13 (27%), Vp06 (24%), Vp05 und Vp10 (mit je 22%). Alle anderen Vpn (insgesamt vier) decken weniger als 20% der Codes ab. Überwiegend wird allgemein der Erkenntnisweg genannt, aber nicht untersetzt. Die bessere Untersetzung des regressiv-reduktiven und progressiv-reduktiven Vorgehens kann sowohl auf den Fokus der Aufgabenstellung in 2f und 4L3 als auch auf den Erkenntnisgewinn durch das englische Textmaterial zurückgeführt werden. Hier heben sich besonders Vp01, Vp02, Vp03, Vp10 und Vp12 von den anderen Vpn positiv ab.

In vier Fällen kam es vor, dass Lernschritte nicht korrekt dem zugrunde liegenden Erkenntnisweg zugeordnet wurden (s. Tab. 74, S.214), zumindest auf der Grundlage der grob umrissenen Ausführungen der Vpn. Das betrifft Vp01 und Vp11, die im inhaltlichen Teil mit 47,7% bzw. 50,7% das dritt- bzw. zweitbeste Ergebnis erzielt hatten, sowie Vp05 und Vp06, die im inhaltlichen Teil mit 18,7% bzw. 28,3% am schlechtesten bzw. dritt-schlechtesten abgeschnitten hatten (s. Tab. 106, S.265).

Tab. 109: Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn betrachteten Erkenntniswege in den Aufgaben 1f, 2f, 4L3 und deren Untersetzung

| Aufgaben 1f, 2f, 4L3.1 und 4L3.2                                        | Vpn |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | rel. H  |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| Erkenntniswege/induktives Vorgehen                                      | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | je Code |
| I1 mehrere Einzelfälle charakterisieren                                 | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 54%     |
| I1 mehrere Einzelfälle charakterisieren/I1.1 Polarität Farbstoffe       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| I1 mehrere Einzelfälle charakterisieren/I1.2 Elutionswirkung Laufmittel | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| I2 Formulierung allgemeingültiger Aussagen                              | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 54%     |
| I2.1 Stärke WW Analyt mit stPhase in Abh. v. Polarität                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| I2.2 Stärke Elutionswirkung LM in Abh. v. Polarität                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| Erkenntniswege/deduktives Vorgehen                                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| D1 Allgemeine Aussagen betrachten                                       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 54%     |
| D1.1 Beurteilung Polarität d. Farbstoffe                                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D1.2 Beurteilung Elutionswirkung LM                                     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| D2 Überprüfung am Einzelfall                                            | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 54%     |
| D2.1 Polarität Farbstoffe                                               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.1.1 Polarität Indophenol hoch                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.1.2 Polarität Sudanrot mittel                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.1.3 Polarität Buttergelb gering                                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.2 Elutionswirkung LM                                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.2.1 Elutionswirkung Propanol hoch                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.2.2 Elutionswirkung Toluol gering                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.2.3 Elutionswirkung Hexan sehr gering                                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| Erkenntniswege/regr.-red. Vorgehen                                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| RR1 Bewusstmachen eines Problems                                        | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 69%     |
| RR2 Entscheiden über Lösungsweg                                         | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 46%     |
| RR3 Experimentelles Erkunden                                            | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%     |
| RR4 Interpretieren der beobachteten Erscheinungen                       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%     |
| RR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität          | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 31%     |
| RR4.2 Abhängigkeit der RF-Werte d. Analyten von ihrer Polarität         | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 31%     |
| RR4.3 Begründung der Polarität der Farbstoffe anhand der Strukt         | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 31%     |
| Erkenntniswege/progr.-red. Vorgehen                                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| PR1 Bewusstmachen eines Problems                                        | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 46%     |
| PR2 Entscheiden über Lösungsweg                                         | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 77%     |
| PR2.1 Vorkenntnisse Ln                                                  | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 62%     |
| PR2.1.1 Abh. d. Elutionskraft d. LM v. ihrer Polarität                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| PR2.1.2 Abh. der RF-Werte d. Analyten von ihrer Polarität               | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 31%     |
| PR2.1.3 Begr. der Polarität der Farbstoffe anhand der Strukt            | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| PR2.2 Auswahl Verhaltensbedingungen                                     | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 23%     |
| PR3 Experimentelle Überprüfung der Prognosen                            | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 62%     |
| PR3.1 Verifizierung                                                     | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 23%     |
| PR3.2 Falsifizierung                                                    | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 23%     |
| PR4 Neuinterpretieren der beobachteten Erscheinungen (Falsifizi         | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%     |
| PR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität          | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| Defizite bei der Beschreibung der Erkenntniswege                        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |         |
| Erkenntniswege/- unzureichende Beschreibung                             | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| Erkenntniswege/- falsche Zuordnung d. Erkenntnisweges                   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 31%     |
| abs. H (max. 37 Codes)                                                  | 12  | 19  | 18  | 7   | 8   | 9   | 5   | 6   | 6   | 8   | 11  | 11  | 10  |         |
| rel. H                                                                  | 32% | 51% | 49% | 19% | 22% | 24% | 14% | 16% | 16% | 22% | 30% | 30% | 27% |         |

Die rot markierten Codes werden nicht bei der Berechnung der rel. H berücksichtigt.

Betrachtet man die Ausführungen zu 1f (s. Tab. 110) im Vergleich zu allen Segmenten der Aufgaben 1f, 2f, 4L3.1 und 4L3.2, wird deutlich, dass sich der Erkenntnisgewinn ab dem zweiten Aufgabenkomplex (Teile B bis D, s. Tab. 109) positiv auf die Untersetzung des regressiv-reduktiven und progressiv-reduktiven Vorgehens auswirken. Die Codes, die für

Aufgabe 4L3.2 induktiv ergänzt wurden, werden in Tab.109 noch nicht berücksichtigt, sondern erst in Tab.113, wenn die Ergebnisse der Teilaufgaben im Detail betrachtet werden.

Tab. 110: Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn betrachteten Erkenntniswege in Aufgabe 1f und deren Untersetzung

| Aufgabe 1f                                                              | Vpn |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     | rel. H  |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| von Vpn in 1f berücksichtigte Erkenntniswege                            | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07 | 08 | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | je Code |
| induktives Vorgehen                                                     | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0  | 1  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 54%     |
| deduktives Vorgehen                                                     | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 54%     |
| regr.-red. Vorgehen                                                     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 1  | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 85%     |
| progr.-red. Vorgehen                                                    | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%     |
| <b>Erkenntniswege/induktives Vorgehen</b>                               |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |         |
| I1 mehrere Einzelfälle charakterisieren                                 | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0  | 1  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 54%     |
| I1 mehrere Einzelfälle charakterisieren/I1.1 Polarität Farbstoffe       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| I1 mehrere Einzelfälle charakterisieren/I1.2 Elutionswirkung Laufmittel | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| I2 Formulierung allgemeingültiger Aussagen                              | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0  | 1  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 54%     |
| I2.1 Stärke WW Analyt mit stPhase in Abh. v. Polarität                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| I2.2 Stärke Elutionswirkung LM in Abh. v. Polarität                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| <b>Erkenntniswege/deduktives Vorgehen</b>                               |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |         |
| D1 Allgemeine Aussagen betrachten                                       | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 46%     |
| D1.1 Beurteilung Polarität d. Farbstoffe                                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D1.2 Beurteilung Elutionswirkung LM                                     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| D2 Überprüfung am Einzelfall                                            | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 46%     |
| D2.1 Polarität Farbstoffe                                               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.1.1 Polarität Indophenol hoch                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.1.2 Polarität Sudanrot mittel                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.1.3 Polarität Buttergelb gering                                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.2 Elutionswirkung LM                                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.2.1 Elutionswirkung Propanol hoch                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.2.2 Elutionswirkung Toluol gering                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| D2.2.3 Elutionswirkung Hexan sehr gering                                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| <b>Erkenntniswege/regr.-red. Vorgehen</b>                               |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |         |
| RR1 Bewusstmachen eines Problems                                        | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| RR2 Entscheiden über Lösungsweg                                         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| RR3 Experimentelles Erkunden                                            | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0  | 0  | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 62%     |
| RR4 Interpretieren der beobachteten Erscheinungen                       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 77%     |
| RR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität          | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| RR4.2 Abhängigkeit der RF-Werte d. Analyten von ihrer Polarität         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| RR4.3 Begründung der Polarität der Farbstoffe anhand der Strukt         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| <b>Erkenntniswege/progr.-red. Vorgehen</b>                              |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |         |
| PR1 Bewusstmachen eines Problems                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 8%      |
| PR2 Entscheiden über Lösungsweg                                         | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1  | 0  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 77%     |
| PR2.1 Vorkenntnisse Ln                                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 23%     |
| PR2.1.1 Abh. d. Elutionskraft d. LM v. ihrer Polarität                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| PR2.1.2 Abh. der RF-Werte d. Analyten von ihrer Polarität               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| PR2.1.3 Begr. der Polarität der Farbstoffe anhand der Strukt            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| PR2.2 Auswahl Verhaltensbedingungen                                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| PR3 Experimentelle Überprüfung der Prognosen                            | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0  | 0  | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 62%     |
| PR3.1 Verifizierung                                                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%      |
| PR3.2 Falsifizierung                                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%      |
| PR4 Neuinterpretieren der beobachteten Erscheinungen (Falsifiz)         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| PR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität          | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| <b>Defizite bei der Beschreibung der Erkenntniswege</b>                 |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |         |
| Erkenntniswege/- unzureichende Beschreibung                             | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| Erkenntniswege/- falsche Zuordnung d. Erkenntnisweges                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 15%     |
| abs. H (max. 37 Codes)                                                  | 6   | 6   | 8   | 6   | 7   | 6   | 1  | 3  | 4   | 4   | 4   | 7   | 9   |         |
| rel. H                                                                  | 16% | 16% | 22% | 16% | 19% | 16% | 3% | 8% | 11% | 11% | 11% | 19% | 24% |         |

Die rot markierten Codes werden nicht bei der Berechnung der rel. H berücksichtigt.

Da die Aufgaben 2f, 4L3.1 und 4L3.2 nicht von allen Vpn bearbeitet wurden, werden die Ergebnisse zu diesen Aufgaben auch noch einmal separat dargestellt. Hier ist zu beachten, dass die Aufgaben 2f und 4L3 nach dem ersten Durchgang geändert wurden (s. Tab.48, S.164). Für die Aufgabe 4L3 wurde daher die Unterscheidung durch die Bezeichnung 4L3.1 für das regressiv-reduktive Vorgehen (betrifft nur Durchgang 1) und 4L3.2 für das progressiv-reduktive Vorgehen getroffen.

Die Aufgabe 2f hatte im ersten Durchgang die Bezeichnung 2d. Statt nur des regressiv-reduktiven Vorgehens sollten die Vpn im ersten Durchgang wie in 1f alle Varianten an Erkenntniswegen darstellen. In Tab. 111 werden zur besseren Vergleichbarkeit mit den Vpn der späteren Durchgänge nur die Ausführungen zum regressiv-reduktiven Vorgehen berücksichtigt. Da die vier Vpn des ersten Durchganges zum induktiven, deduktiven und progressiv-reduktiven Vorgehen keine weiteren Ergänzungen im Vergleich zu 1f hatten, kann auf eine gesonderte Darstellung der Ergebnisse zu 2f für den ersten Durchgang unter Berücksichtigung aller Erkenntniswege verzichtet werden.

Bei Aufgabe 4L3.1 werden die Ergebnisse des ersten Durchganges gesondert in Tab. 112 abgebildet. Bei Aufgabe 4L3.2 in Tab. 113 werden wieder alle Vpn berücksichtigt, auch wenn die Aufgabe nur von fünf Vpn (Vp01, Vp02, Vp03, Vp06, Vp10) bearbeitet wurde. Damit wird verdeutlicht, dass alle Codierungen in Tab. 109 zum progressiv-reduktiven Vorgehen bei den meisten Vpn (außer bei Vp01, Vp02, Vp03, Vp06, Vp10) aus Aufgabe 1f hervorgehen und somit die neu gewonnenen Erkenntnisse durch die Textarbeit nicht eingeflossen sind.

Wie aus Tab. 111 hervorgeht, erreichen eine vollständige bis nahezu vollständige Abdeckung der Codes nur Vp02, Vp11 und Vp12. Der Code „unzureichende Beschreibung“ bezieht sich bei Vp02 auf das erste Segment zur Problementfaltung und Hinführung zum experimentellen Erkunden.

„<regr.-red.>

oder auch etwas analyt.-syn/genetisch

Problem: Stoffgemisch trennen

(Idee der Chromatografie (DC) vorhanden)

welches Lsm?

Wasser wahrscheinlich ähnlich Propanol <Folgepfeil> schlecht  
(im Experiment probieren!)“

(erstes Segment aus Dokument 022f Erkenntniswege)

Im zweiten Teil erschließt sich dann, wie Vp02 die Erkundung des passenden Laufmittels erarbeiten will:

„dann halt unpolar: Hexen: funktioniert nicht

dann zwei polarere Propanol, Toluol

Erkenntnis: Trennung möglich, Abh. von Polarität

<Folgepfeil> wie sieht Struktur aus?

(alternativ könnten Schüler auch %B-Ansatz nutzen)

x1: aus Strukturen könne mit Ergebnis Exp und Anleitung des Lehrers  
begründet werden, warum welche Stoffe wie weit gewandert sind

z. B. Buttergelb keine OH-Gruppe o. ä.

wenig Adsorption an SiOH

sehr weit getragen

Indophenol OH-Gruppe, Ketogruppe viel Adsorption

kurzer Weg“

(zweites Segment aus Dokument 022f Erkenntniswege)

Daher wurden bei Vp02 alle Codes des regressiv-reduktiven Erkenntnisganges zugeordnet. Bei allen anderen Vpn wird der Erkenntnisweg nur allgemein beschrieben, ohne inhaltliche Untersetzung. Vp08 hingegen thematisiert zwar Inhaltsaspekte wie die Abhängigkeit des  $R_F$ -Wertes der Analyten von deren Polarität und der Einfluss der Polarität der Laufmittel auf das Trennergebnis, aber ordnet diese Inhaltsaspekte nicht in den Erkenntnisgang ein. Daher wurden die übergeordneten Codes RR2, RR3 und RR4 nicht zugeordnet.

Tab. 111: Zusammenfassende Darstellung des von den Vpn dargelegten regressiv-reduktiven Vorgehens in Aufgabe 2f

| Aufgabe 2f                                                          | Vpn |      |    |    |     |     |     |     |     |    |      |     |     | rel. H  |
|---------------------------------------------------------------------|-----|------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|-----|-----|---------|
| Erkenntniswege\regr.-red. Vorgehen                                  | 01  | 02   | 03 | 04 | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10 | 11   | 12  | 13  | je Code |
| RR1 Bewusstmachen eines Problems                                    | 0   | 1    | 0  | 0  | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 1    | 1   | 1   | 62%     |
| RR2 Entscheiden über Lösungsweg                                     | 0   | 1    | 0  | 0  | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0  | 1    | 1   | 0   | 46%     |
| RR3 Experimentelles Erkunden                                        | 1   | 1    | 0  | 0  | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0  | 1    | 1   | 1   | 62%     |
| RR4 Interpretieren der beobachteten Erscheinungen                   | 1   | 1    | 0  | 0  | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0  | 1    | 1   | 1   | 62%     |
| RR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität      | 0   | 1    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0  | 1    | 1   | 0   | 31%     |
| RR4.2 Abhängigkeit der $R_F$ -Werte d. Analyten von ihrer Polarität | 0   | 1    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0  | 1    | 0   | 0   | 23%     |
| RR4.3 Begründung der Polarität der Farbstoffe anhand der Strukt     | 0   | 1    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 1    | 1   | 0   | 23%     |
| <b>Defizite bei der Beschreibung der Erkenntniswege</b>             |     |      |    |    |     |     |     |     |     |    |      |     |     |         |
| Erkenntniswege/- unzureichende Beschreibung                         | 1   | 1    | 0  | 0  | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0  | 0    | 0   | 1   | 54%     |
| Erkenntniswege/- falsche Zuordnung d. Erkenntnisweges               | 0   | 0    | 0  | 0  | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0    | 0   | 0   | 8%      |
| <b>abs. H (max. 7 Codes)</b>                                        | 2   | 7    | 0  | 0  | 3   | 1   | 4   | 3   | 4   | 0  | 7    | 6   | 3   |         |
| <b>rel. H</b>                                                       | 29% | 100% | 0% | 0% | 43% | 14% | 57% | 43% | 57% | 0% | 100% | 86% | 43% |         |

Die rot markierten Codes werden nicht bei der Berechnung der rel. H berücksichtigt.

Für den ersten Durchgang war im Teil D erneut ein regressiv-reduktiver Erkenntnisgang zu schildern (s. Tab. 112). Das brachte zumindest bei Vp03 und Vp04 einen Gewinn, wobei Vp04, wie auch Vp01, das Interpretieren der beobachteten Erscheinungen inhaltlich nicht untersetzt. Das Bewusstmachen eines Problems sowie das Entscheiden über einen Lösungsweg werden von allen Vpn des ersten Durchganges in diesem Aufgabenteil vernachlässigt.

Tab. 112: Zusammenfassende Darstellung des von den Vpn des ersten Durchganges dargelegten regressiv-reduktiven Vorgehens in Aufgabe 4L3.1

| Aufgabe 4L3.1                                                       | Vpn vom 1. Durchgang |     |     |     | rel. H  |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------|-----|-----|-----|---------|
| Erkenntniswege\regr.-red. Vorgehen                                  | 01                   | 02  | 03  | 04  | je Code |
| RR1 Bewusstmachen eines Problems                                    | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| RR2 Entscheiden über Lösungsweg                                     | 0                    | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| RR3 Experimentelles Erkunden                                        | 1                    | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| RR4 Interpretieren der beobachteten Erscheinungen                   | 1                    | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| RR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität      | 0                    | 1   | 0   | 0   | 25%     |
| RR4.2 Abhängigkeit der $R_F$ -Werte d. Analyten von ihrer Polarität | 0                    | 0   | 1   | 0   | 25%     |
| RR4.3 Begründung der Polarität der Farbstoffe anhand der Strukt     | 0                    | 1   | 1   | 0   | 50%     |
| <b>Defizite bei der Beschreibung der Erkenntniswege</b>             |                      |     |     |     |         |
| Erkenntniswege/- unzureichende Beschreibung                         | 1                    | 0   | 0   | 1   | 50%     |
| Erkenntniswege/- falsche Zuordnung d. Erkenntnisweges               | 1                    | 0   | 0   | 0   | 25%     |
| <b>abs. H (max. 7 Codes)</b>                                        | 2                    | 4   | 4   | 2   |         |
| <b>rel. H</b>                                                       | 29%                  | 57% | 57% | 29% |         |

Die rot markierten Codes werden nicht bei der Berechnung der rel. H berücksichtigt.

Wie schwer es Vpn fällt, die im Textmaterial gelieferten experimentellen Daten zu verwenden, veranschaulichen die Ergebnisse zur Aufgabe 4L3.2 in Tab. 113. Die Aufgabe wurde allerdings nur von fünf Vpn bearbeitet.

Tab. 113: Zusammenfassende Darstellung des von den Vpn dargelegten progressiv-reduktiven Vorgehens in Aufgabe 4L3.2

| Aufgaben 4L3.2                                                         | Vpn |     |     |    |    |     |    |    |    |     |    |    |    | rel. H  |
|------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|----|----|---------|
| Erkenntniswege/progr.-red. Vorgehen                                    | 01  | 02  | 03  | 04 | 05 | 06  | 07 | 08 | 09 | 10  | 11 | 12 | 13 | je Code |
| <b>PR1 Bewusstmachen eines Problems</b>                                | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 38%     |
| PR1.1 optimale Trennbedingungen für FG                                 | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0%      |
| PR1.2 Retentionszeiten Analyt NPC vs. RPC                              | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 0%      |
| <b>PR2 Entscheiden über Lösungsweg</b>                                 | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 38%     |
| PR2.1 Vorkenntnisse Ln                                                 | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 38%     |
| PR2.1.1 Abh. d. Elutionskraft d. LM v. ihrer Polarität                 | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 8%      |
| PR2.1.2 Abh. der RF-Werte d. Analyten von ihrer Polarität              | 1   | 0   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 23%     |
| PR2.1.3 Begr. der Polarität der Farbstoffe anhand der Strukt           | 0   | 0   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 8%      |
| PR2.2 Auswahl Verhaltensbedingungen                                    | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 23%     |
| <b>PR3 Experimentelle Überprüfung der Prognosen</b>                    | 1   | 1   | 1   | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 38%     |
| PR3.1 Verifizierung                                                    | 0   | 1   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 15%     |
| PR3.2 Falsifizierung                                                   | 0   | 1   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 15%     |
| <b>PR4 Neuinterpretieren der beobachteten Erscheinungen (Falsifiz)</b> | 0   | 1   | 1   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 15%     |
| PR4.1 Abhängigkeit der Elutionskraft d. LM von ihrer Polarität         | 0   | 1   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 8%      |
| <b>Bezug zu Abb. aus Snyder et al. (2010)</b>                          | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 15%     |
| Bezug zu Abb. aus Snyder et al. (2010)Fig. 8.1                         | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 8%      |
| Bezug zu Abb. aus Snyder et al. (2010)Fig. 8.2                         | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 15%     |
| Bezug zu Abb. aus Snyder et al. (2010)Fig. 8.3                         | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 8%      |
| Bezug zu Abb. aus Snyder et al. (2010)Tab 8.1                          | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 8%      |
| Bezug zu Abb. aus Snyder et al. (2010)Fig. 2.7                         | 1   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 15%     |
| <b>Bezug zu Fehlkonzent in Teil E</b>                                  | 0   | 1   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 8%      |
| <b>Defizite bei der Beschreibung der Erkenntniswege</b>                |     |     |     |    |    |     |    |    |    |     |    |    |    | 0%      |
| Erkenntniswege/- unzureichende Beschreibung                            | 1   | 0   | 1   | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 31%     |
| Erkenntniswege/- falsche Zuordnung d. Erkenntnisweges                  | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0%      |
| abs. H (max. 20)                                                       | 8   | 10  | 11  | 0  | 0  | 4   | 0  | 0  | 0  | 7   | 0  | 0  | 0  |         |
| rel. H                                                                 | 40% | 50% | 55% | 0% | 0% | 20% | 0% | 0% | 0% | 35% | 0% | 0% | 0% |         |

Die rot markierten Codes werden nicht bei der Berechnung der rel. H berücksichtigt.

Wie bereits im Kap. 12.3.3.1d (S. 206) ausgeführt wurde, haben nur Vp01 und Vp10 Bezug auf die Abbildungen im Textmaterial genommen und die Unterschiede zwischen NPC und RPC thematisiert. Die Tatsache, dass die anderen drei Vpn (Vp02, Vp03, Vp06) in ihren Ausführungen weder einen Bezug zu den Abbildungen noch zur RPC hergestellt haben, zeigt, dass sie die in den Abbildungen dargestellten und im Text erläuterten Zusammenhänge nicht gut genug durchdrungen haben, um sie im Erkenntnisweg zu verwenden.

Vp02 und Vp03 haben sich in ihrer Problemstellung nur auf die Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches bezogen. Vp03 hatte im Vorfeld das Verdrängungsprinzip in der NPC noch nicht durchdrungen, sodass dieser Aspekt im Erkenntnisgang fehlt, was an den fehlenden Codes PR2.1.1 und PR4.1 ersichtlich ist. Vp02 hingegen hatte das Verdrängungsprinzip in der NPC durchdrungen und wählt eine Ausgangsproblemstellung, die an eines der Schülerfehlkonzeppte (Antwort 4, s. S. 161 im Kap. 21.4.6) anknüpft (s. rot markierten Teil des Segmentes), allerdings ohne selbst explizit auf die Schülerantwort zu verweisen. Da die Bearbeitung der Aufgabe 4L3.2 erst nach dem Teil E (Analyse Schülerfehlkonzeppte) erfolgte, ist davon auszugehen, dass Vp02, die das Fehlkonzeppt der Schülerantwort 4 vollständig erfasst hat, die Details noch in Erinnerung hatte. Der in 4L3.2 dargestellte Erkenntnisgang ist gegenüber der Darstellung im Teil E zur Begegnung des Schülerfehlkonzepptes deutlich besser untersetzt.

„- SuS kennen Struktur der Farbstoffe

- haben schon mal Filzstifte mit Chromatografie getrennt

<Pfeil nach rechts> Frage: Stoffgemisch (die 3 Farbstoffe) soll aufgetrennt werden mit DC, Auswahl LöMi, wie?

- Sind Stoffe eher polar oder unpolar

<Pfeil nach rechts> SuS leiten anhand der Struktur begründete Vermutungen ab

<Pfeil nach rechts> Schlussfolgerungen zu LöMi

Buttergelb gut in Hexan

Indophenol gut in Propanol

- mit Blick auf DC: wie müsste Trennung ablaufen

<Pfeil nach rechts> SuS vermuten nach Löslichkeit

d. h.

bei Hexan: Buttergelb oben, Rest unten <geschweifte Klammer> Hypothese sichtbar in ...

bei Propanol: Indophenol oben, Rest unten <geschweifte Klammer> Hypothese sichtbar in ...

(je nach Löslichkeit des Farbstoffes in LöMi/LM)

- Experiment <Pfeil nach rechts> Widerspruch zur Prognose / Falsifizierung. Löslichkeit ist nicht das wesentliche Konzept

- Betrachtung der polaren Platte (stat. Ph.)

<Pfeil nach rechts> Erkenntnis: auch hier WW möglich

- alle Farbstoffe können mit stat. Ph. ww.

- Propanol sehr, Toluol mittel, Hexan nicht

- Propanol ww stark (OH-Gruppe), verdrängt Farbstoffe

<Pfeil nach rechts> passt zum Exp Ergebnis

(könnte ggf. auch vor Exp besprochen werden, sodass Exp als Verifizierung läuft (motivierender bei so komplexem Problem))“

(Segment aus Dokument 024L3.2)

In dem von Vp02 skizzierten Erkenntnisgang wird die Prognose, dass der unpolarste Farbstoff (Buttergelb) aufgrund der besseren Löslichkeit mit dem sehr unpolaren Laufmittel Hexan am weitesten läuft und der polarste Farbstoff (Indophenol) mit dem polarsten Laufmittel, experimentell überprüft und widerlegt. Von da aus wird mit den Schülerinnen und Schülern nach einer Erklärung gesucht (Neuinterpretation des experimentellen Befundes).



Abschließend werden die Ausführungen von Vp01 und Vp10 in den Blick genommen. Wie bereits in Kap. 12.3.3.1d (S.206) angedeutet, sind auch die Ausführungen der beiden Vpn nicht so gut untersetzt, dass das für die Aufgabe 4L3.2 vorgesehene Kategoriensystem (s. Tab. 73, S.211) hätte angewendet werden können.

Vp01 wählt eine etwas praxisfremde Problemstellung:

„Problemstellung:

Bei Propanol wurden im Experiment die Substanzen stark mitgerissen.

Wie kann man das verhindern, wenn weiterhin ein polares Laufmittel zum Einsatz kommen soll?“

(Das zweite Segment aus Dokument 014L3.2)

Die Wahl des Laufmittels wird in Abhängigkeit vom Analyten und den dafür geeigneten Trennbedingungen vorgenommen, während Vp01 in der Problemstellung das Laufmittel festlegt. Im Textmaterial war in „Table 2.1“ (s. Tab. A 25, S.510) vorgegeben, dass Bedingungen der NPC eher für unpolare Analyten geeignet sind und Bedingungen der RPC eher für polarere Analyten. Dieser Aspekt scheint bei Vp01 eher nebensächlich zu sein, wenn man sich die Segmente vor der Problemstellung anschaut:

„RPC <Pfeil nach rechts> Säule = unpolar  
mobile Phase = Polar (Wasser + organ. Substanzen)

NPC <Pfeil nach rechts> Säule = polar  
mobile Phase = wenig polar (Mischung organ. Substanzen)

RPC <Pfeil nach rechts> **polare Stoffe reduzieren Retentionszeit**, da Wechselwirkung mit mobiler Phase groß  
<Pfeil nach rechts> **unpolare Stoffe erhöhen Retentionszeiten**, da sie stärker mit stationärer Phase wechselwirken

NPC <Pfeil nach rechts> **polare Stoffe erhöhen Retentionszeit**, da Wechselwirkung mit stationärer Phase  
<Pfeil nach rechts> **unpolare Stoffe verkürzen Retentionszeit**, da mehr Wechselwirkung mit mobiler Phase größer“

(Das erste Segment aus Dokument 014L3.2)

Vp01 sind die Trennbedingungen von mobiler und stationärer Phase in der NPC und RPC klar. Ungewöhnlich sind die rot markierten Formulierungen. Im ersten Moment entsteht der Eindruck, als wäre vom Laufmittel die Rede, das je nach Polarität die Retentionszeit der Analyten reduziert oder erhöht. Die Begründungssätze indizieren allerdings, dass es in den rot markierten Hauptsätzen um den Analyten geht, der je nach Polarität niedrigere oder höhere Retentionszeiten aufweist. Dass diese Retentionszeiten je nach Polarität des Laufmittels beeinflusst werden können, wird von Vp01 vernachlässigt. Die Fortführung des Erkenntnisganges nach der Problemstellung verdeutlicht, dass Vp01 den erkenntnistheoretischen Gehalt der einbezogenen Abbildungen nicht erfasst hat (s. rot markierte Formulierungen).

„<Pfeil nach rechts> kurze Wiederholung der Bedingungen bei Experiment (d.h. Polarität der Säule, Wechselwirkungen der einzelnen Substanzen mit mobiler Phase/stationärer Phase und Begründung dessen im Zusammenhang mit der Struktur der Substanzen)

Was kann jetzt getan werden, um bei einem polaren LM trotzdem eine gute Trennung zu erzeugen?

<Pfeil nach rechts> Änderung der Polarität der Platte

<Pfeil nach rechts> Anschauen von 2.7 und erläutern lassen, was dort zu sehen ist

<Pfeil nach rechts> Überlegung dessen auf die Strukturen, der im Experiment verwendeten Substanzen

<Pfeil nach rechts> Vorhersage über Trennung d. Substanzen, wenn stationäre Phase unpolar ist

<Pfeil nach rechts> Durchführung Experiment, um Prognosen zu überprüfen u. Interpretation d. Ergebnisse u. Einsichten, ob Prognose richtig war

<Pfeil nach rechts> Erläuterung, dass es sich dabei um RPC handelt und kurze Erläuterung dazu

<Pfeil nach rechts> 8.1 (a) zeigen und ableiten lassen, wie das bei RPC aussehen müsste (Überprüfung dessen durch (b))

Ich habe gerade keine Idee, wie ich Fig. 8.1 einfügen kann, da diese mir gerade nicht den Unterschied wie die anderen Abbildungen zwischen NPC und RPC zeigen.“

(Das letzte Segment aus Dokument 014L3.2)

Vp01 lässt offen, auf welcher Grundlage Lernende darauf kommen sollen, dass die Polarität der Platte geändert werden müsste. So wie dann „Figure 2.7“<sup>142</sup> eingebunden wird, wäre als Ausgangsproblemstellung die Trennbarkeit des Farbstoffgemisches unter RPC Bedingungen naheliegend gewesen. Die Tatsache, dass Vp01 die aus „Figure 2.7“ ablesbaren Zusammenhänge und Analogien zum Farbstoffgemisch nicht expliziert, lässt vermuten, dass ihr selbst die Zusammenhänge und Analogien zum Farbstoffgemisch nicht oder nur

<sup>142</sup> Fig. 2.7 veranschaulicht, dass unpolare Analyten besonders stark in WW mit der unpolaren stationären Phase treten, während die polarerer Analyten stärkere WW mit der polaren mobilen Phase eingehen. Anders als in 8.1a sind hier im Chromatogramm die Benzolderivate nach abnehmender Polarität sortiert. Insgesamt fällt auf, dass unter diesen Bedingungen die Retentionszeiten nicht ausufern. Somit scheint eine unpolare stationäre Phase für polarerer Analyten auch besser geeignet zu sein, um alle Analyten gut voneinander zu trennen. In Fig. 8.1 ist das Chromatogramm zur Trennung der Benzolderivate unter NPC-Bedingungen dargestellt. Aus den sehr hohen Retentionszeiten der polarerer Benzolderivate von mehr als 100 Min lässt sich ableiten, dass die WW zur SIL-Oberfläche über die polaren funktionellen Gruppen sehr viel stärker sind, als dass sie durch die Chloroform-Moleküle von der Oberfläche verdrängt werden können (zeigt sich in Fig 8.1).

ansatzweise klar sind. Die Einbindung von „Figure 8.1“ am Ende ist nicht nachvollziehbar und auch für Vp01 nicht begründbar, wie sich dem abschließenden Kommentar entnehmen lässt.

Vp10 hingegen scheint grundlegend die Zusammenhänge der in den Erkenntnisweg eingebundenen Abbildungen verstanden zu haben, führt nur die den Abbildungen entnehmbaren Zusammenhänge nicht vollständig aus (s. rot markierte Formulierungen).

„Die SuS sind vertraut mit der NPC, DC und SC.

Die Problemstellung lautet, welche Unterschiede beim Experiment sich für RPC im Gegensatz zur NPC ergeben.

Da die SuS die NPC und ihre Funktionsweise kennen, lässt sich die Frage stellen, welche Auswirkungen das Austauschen von Polarität der stat. Phase u. mobilen Phase haben könnte.

Dies führt auf die WW von stationärer Phase und Laufmittel, die über die Struktur (Polarität) der Moleküle erklärt werden kann.

Grafik 8.3 kann genutzt werden, um diesen Sachverhalt im Anschluss an die Prognose grafisch darzustellen.

Über die WW können Aussagen über die Retentionszeit von verschied. Laufmitteln getroffen werden und nach Prognosen der SuS lässt sich dies mit Grafik 8.1 überprüfen.

Ausgehend von der WW des Laufmittels und mobiler Phase können Aussagen getroffen werden über die Laufmittelstärke verschieden polarer Lösungsmittel.

Die SuS können mit Tab. 8.1 qual. Aussagen über Epsilon Null von den aufgeführten LM treffen.

Nachdem LM und stat. Phase untersucht worden sind, tritt nun auch die Probensubstanz hinzu.

Diese interagiert sowohl mit stat. Phase als auch mit LM und die SuS können hier über die Polarität Aussagen zur Retention verschied. Substanzen für RPC und NPC sagen.

Diesen Sachverhalt stellt Grafik 2.7 dar. (a) b) die WW und c) die Retention).

Zusätzlich kann mittels 8.2 weiterführend aufgestellte Prognose zur Trennleistung überprüfen.“

(Segment aus Dokument 104L3.2)

Ausgehend von der Problemstellung, mit Lernenden Unterschiede zwischen NPC und RPC herauszuarbeiten, sollen anhand möglicher Wechselwirkungen Prognosen darüber abgeleitet werden, wie sich das Trennergebnis ändert, wenn die Polarität von stationärer Phase und mobiler Phase umgekehrt werden. Bei diesen Betrachtungen „Figure 8.3“ einzubinden ist sinnvoll, da darin Wechselwirkungen verschiedener funktioneller Gruppen von Analyten, Laufmitteln und stationärer Phase dargestellt werden, allerdings unter NPC-Bedingun-

gen.<sup>143</sup> Daher ist nicht klar, inwiefern die Abbildungen 8.3 und 8.1 im Nachgang zur Prognose unter RPC-Bedingungen dienlich sein können. Abgesehen davon wären die Abbildungen zu den schematischen Darstellungen der Wechselwirkungsbeziehungen (wie in „Figure 8.3“ und „Figure 2.7a, b“) während der Erarbeitung der Prognose zielführend, um dann im Nachhinein an den jeweiligen Chromatogrammen die Prognosen zu überprüfen.

#### 13.4.1.2 Frage- und Problemstellungen für den Unterricht

Die inhaltliche Schwerpunktsetzung der in den Aufgaben 1d, 1e, 2d und 2e angedachten Problem- und Fragestellungen sind in Tab.114 zusammengefasst. Auch hier sind die vier Vpn des ersten Durchganges gelb hervorgehoben, weil bei ihnen die Aufgaben 1d und 2d nicht vorkamen und daher die relative Häufigkeit der insgesamt vorgekommenen Codes auf maximal 24 Codes bezogen wird. Im Mittelpunkt der genannten Problem- und Fragestellungen stehen erwartungsgemäß die Trennung des Farbstoffgemisches, die Wahl eines geeigneten Laufmittels und das Wirkprinzip. Hervorzuheben ist, dass nach der Textarbeit Aspekte der Trennmethode stärker in den Blick genommen wurden, die auch im Text thematisiert waren (HPLC vs. DC).

Die insgesamt im Teil A in den Aufgaben 1d, 1e und 1f abgebildeten Problem- und Fragestellungen sind in Tab.115 dargestellt. Wenn unter 1f von einer Vp noch weitere Aspekte als unter 1d und 1e genannt wurden, wurden sie zusätzlich zugeordnet. Somit erreichen einige Vpn eine höhere Abdeckung der unter den Problem- und Fragestellungen berücksichtigten Inhaltsaspekte als in Tab. 114.

---

<sup>143</sup> Figure 8.3 veranschaulicht, dass selbst das unpolarste der Benzolderivate stärkere WW mit SIL-Oberfläche eingeht als Chloroform, das als Monoschicht auf der stationären Phase adsorbiert ist und somit vom Analyt verdrängt werden kann. Da Unterschiede in der WW-Stärke nicht so groß sind, ist der umgekehrte Vorgang durch den Überschuss an LM-Molekülen des Laufmittels auch gut möglich.

Tab. 114: Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn betrachteten Problem- und Fragestellungen für den Unterricht in Teil A und B

| Problemstellungen/Fragen (1d, 1e, 2d, 2e)                    | Vpn |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | rel. H  |
|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
|                                                              | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | je Code |
| <b>1d Problemstellungen für Unt. zu Exp.</b>                 |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 69%     |
| <b>1d1 Trennung FG</b>                                       |     |     |     |     | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 38%     |
| 1d1.1 Überprüfung auf Sudanrot G                             |     |     |     |     | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 23%     |
| 1d1.2 Überprüfung auf Verunreinigung                         |     |     |     |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 1d1.3 Identifikation Komponenten                             |     |     |     |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 15%     |
| 1d1.4 Feststellung Zusammensetzung                           |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 8%      |
| <b>1d2 Ermittlung Bedingung LM</b>                           |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 62%     |
| 1d2.1 Einfluss unterschiedl. LM                              |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 15%     |
| 1d2.2 Einfluss (un)polare LM                                 |     |     |     |     | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%     |
| <b>1d3 Trennmethode DC</b>                                   |     |     |     |     | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 46%     |
| <b>1e Fragen für Unt. zu Exp. (bei Vp03 1g)</b>              | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| <b>1e1 zum Laufmittel</b>                                    | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 85%     |
| 1e1.1 LM f. optimale Trennung                                | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 54%     |
| 1e1.2 Eig LM                                                 | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 46%     |
| 1e1.3 Str-Eig LM                                             | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 23%     |
| <b>1e2 zum Stoffgemisch</b>                                  | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 54%     |
| 1e2.1 Anz. Bestandteile                                      | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%     |
| 1e2.2 Erklärung f. Verhalten A (StrM)                        | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 1e2.3 Überprüfung auf Sudanrot G                             | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%     |
| 1e2.4 Wanderungsgeschwindigkeiten                            | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| <b>1e3 zur Methode</b>                                       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 85%     |
| 1e3.1 Begriffe                                               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 15%     |
| 1e3.2 Auswertung                                             | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 23%     |
| 1e3.2.1 Kenngrößen                                           | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 1e3.2.2 Bewegung A                                           | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| 1e3.3 Arbeitsmittel                                          | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 62%     |
| 1e3.4 Wirkprinzip                                            | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 77%     |
| 1e3.4 Wirkprinzip/1e3.4.1 Str-Eig-Beziehungen                | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 46%     |
| <b>1e4 zu weiteren Bedingungen</b>                           | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 54%     |
| 1e4.1 Silicagelplatten                                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 23%     |
| 1e4.2 Laufzeit                                               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%      |
| <b>2d Problemstellungen aus Text für Unt. zu Exp.</b>        |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 69%     |
| 2d0 keine Problemstellung entdeckt                           |     |     |     |     | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 2d0 s. 1d                                                    |     |     |     |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| <b>2d1 Trennung FG</b>                                       |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 15%     |
| <b>2d2 Ermittlung Bedingung LM</b>                           |     |     |     |     | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 38%     |
| 2d2.1 Einfluss unterschiedl. LM                              |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%      |
| 2d2.2 Einfluss (un)polare LM                                 |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 2d2.3 mit DC geeignetes LM f. HPLC finden                    |     |     |     |     | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 2d2.4 StrM-WW-Beziehungen                                    |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 8%      |
| <b>2d3 Trennmethode</b>                                      |     |     |     |     | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 46%     |
| 2d3.1 DC                                                     |     |     |     |     | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 31%     |
| 2d3.1 DC/2d3.1.1 als Ersatz f. HPLC                          |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%      |
| 2d3.2 HPLC                                                   |     |     |     |     | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 23%     |
| 2d3.2 HPLC/2d3.2.1 teuer (-> notwendig f. Trennproblem?)     |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%      |
| <b>2d4 weitere Bedingungen</b>                               |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 8%      |
| <b>2e Fragen für Unt. zu Problemstellungen (bei Vp03 2g)</b> | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%    |
| <b>2e1 zum Laufmittel</b>                                    | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 62%     |
| 2e1.1 LM f. optimale Trennung                                | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 23%     |
| 2e1.2 Eig LM                                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 23%     |
| 2e1.3 Str-Eig LM                                             | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 15%     |
| 2e1.4 Eluotrope Reihe                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| <b>2e2 zum Stoffgemisch</b>                                  | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 31%     |
| 2e2.1 Anz. Bestandteile                                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| 2e2.2 Erklärung f. Verhalten A (StrM)                        | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%     |
| 2e2.3 Überprüfung auf Sudanrot G                             | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| 2e2.4 Wanderungsgeschwindigkeiten                            | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 2e2.5 Str Stoffe                                             | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%      |
| <b>2e3 zur Methode</b>                                       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 85%     |
| 2e3.1 Begriffe                                               | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%     |
| 2e3.2 Auswertung                                             | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 31%     |
| 2e3.2 Auswertung/2e3.2.1 Kenngrößen                          | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 31%     |
| 2e3.2 Auswertung/2e3.2.2 Quantifizierung                     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 2e3.2 Auswertung/2e3.2.3 Begründung Ergebnis                 | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 2e3.3 Arbeitsmittel                                          | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%     |
| 2e3.4 Wirkprinzip                                            | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 62%     |
| 2e3.4.1 Str-Eig-Beziehungen                                  | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 31%     |
| 2e3.4.2 Einflussgrößen                                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 2e3.5 DC                                                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 23%     |
| 2e3.5.1 Methodenentwicklung für HPLC                         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 8%      |
| 2e3.6 HPLC                                                   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 15%     |
| 2e3.7 Vor- und Nachteile                                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%      |
| 2e3.8 Historscher Exkurs (Methodenentwicklung)               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 8%      |
| <b>2e4 zu weiteren Bedingungen</b>                           | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 15%     |
| 2e4.1 Silicagelplatten                                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| 2e4.2 Laufzeit                                               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%      |
| <b>abs. H (max. 51 bzw 74 Codes)</b>                         | 12  | 13  | 18  | 19  | 21  | 15  | 26  | 25  | 18  | 25  | 18  | 35  | 23  |         |
| <b>rel. H</b>                                                | 24% | 25% | 35% | 37% | 41% | 29% | 51% | 49% | 35% | 49% | 35% | 69% | 45% |         |

Betrachtet man nur die unter 1f im Teil A berücksichtigten Problem- und Fragestellungen (s. Tab. 116), dann wird auch deutlich, dass in 1f vereinzelt in 1d und 1e genannte Inhaltsaspekte vernachlässigt wurden.

Tab. 115: Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn betrachteten Problem- und Fragestellungen für den Unterricht in den Aufgaben 1d, 1e, und 1f im Teil A

| Problemstellungen/Fragen u. Erkenntniswege (1d, 1e, 1f) | Vpn |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | rel. H |
|---------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
|                                                         | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  |        |
| <b>1d Problemstellungen für Unt. zu Exp.</b>            |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 69%    |
| <b>1d1 Trennung FG</b>                                  |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 46%    |
| 1d1.1 Überprüfung auf Sudanrot G                        |     |     |     |     | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 23%    |
| 1d1.2 Überprüfung auf Verunreinigung                    |     |     |     |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%     |
| 1d1.3 Identifikation Komponenten                        |     |     |     |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 15%    |
| 1d1.4 Feststellung Zusammensetzung                      |     |     |     |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 15%    |
| <b>1d2 Ermittlung Bedingung LM</b>                      |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 62%    |
| 1d2.1 Einfluss unterschiedl. LM                         |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 15%    |
| 1d2.2 Einfluss (un)polare LM                            |     |     |     |     | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%    |
| <b>1d3 Trennmethode DC</b>                              |     |     |     |     | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 46%    |
| <b>1e Fragen für Unt. zu Exp. (bei Vp03 1g)</b>         | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%   |
| <b>1e1 zum Laufmittel</b>                               | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 100%   |
| 1e1.1 LM f. optimale Trennung                           | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 85%    |
| 1e1.2 Eig LM                                            | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 54%    |
| 1e1.3 Str-Eig LM                                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 38%    |
| <b>1e2 zum Stoffgemisch</b>                             | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 69%    |
| 1e2.1 Anz. Bestandteile                                 | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%    |
| 1e2.2 Erklärung f. Verhalten A (StrM)                   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 38%    |
| 1e2.3 Überprüfung auf Sudanrot G                        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%    |
| 1e2.4 Wanderungsgeschwindigkeiten                       | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%     |
| <b>1e3 zur Methode</b>                                  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%    |
| 1e3.1 Begriffe                                          | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 15%    |
| 1e3.2 Auswertung                                        | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 38%    |
| 1e3.2.1 Kenngrößen                                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%     |
| 1e3.2.2 Bewegung A                                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%     |
| 1e3.3 Arbeitsmittel                                     | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 69%    |
| 1e3.4 Wirkprinzip                                       | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 85%    |
| 1e3.4.1 Str-Eig-Beziehungen                             | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 69%    |
| <b>1e4 zu weiteren Bedingungen</b>                      | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 62%    |
| 1e4.1 Silicagelplatten                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 31%    |
| 1e4.2 Laufzeit                                          | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%     |
| <b>1f Erkenntniswege</b>                                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |        |
| induktives Vorgehen                                     | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 54%    |
| deduktives Vorgehen                                     | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 54%    |
| regr.-red. Vorgehen                                     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 85%    |
| progr.-red. Vorgehen                                    | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%    |
| abs. H (max. 21 bzw 31 Codes)                           | 7   | 9   | 7   | 11  | 17  | 12  | 17  | 21  | 10  | 14  | 12  | 19  | 16  |        |
| rel. H                                                  | 33% | 43% | 33% | 52% | 55% | 39% | 55% | 68% | 32% | 45% | 39% | 61% | 52% |        |

Die rot markierten Codes werden nicht bei der Berechnung der rel. H berücksichtigt.

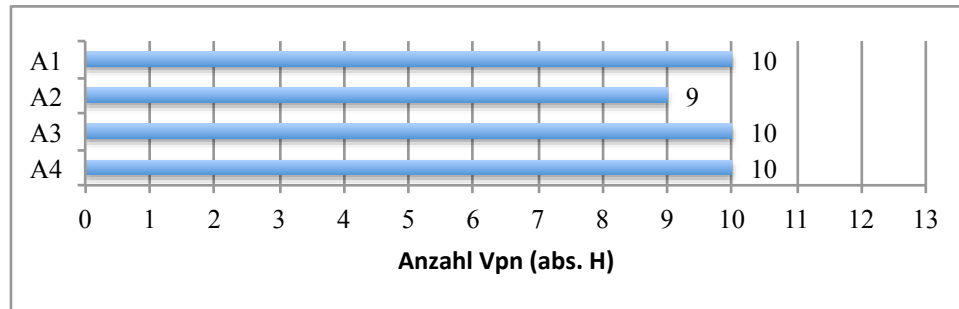
Tab. 116: Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn bei den Erkenntniswegen in 1f des Teils A berücksichtigten Problem- und Fragestellungen aus 1d und 1e

| Problemstellungen/Fragen u. Erkenntniswege (nur Dokumente v. 1f codiert m. Codes 1d-e) | Vpn |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | rel. H |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
|                                                                                        | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  |        |
| <b>1d Problemstellungen für Unt. zu Exp.</b>                                           |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 69%    |
| <b>1d1 Trennung FG</b>                                                                 |     |     |     |     | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 38%    |
| 1d1.1 Überprüfung auf Sudanrot G                                                       |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%     |
| 1d1.2 Überprüfung auf Verunreinigung                                                   |     |     |     |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%     |
| 1d1.3 Identifikation Komponenten                                                       |     |     |     |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%     |
| 1d1.4 Feststellung Zusammensetzung                                                     |     |     |     |     | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 15%    |
| <b>1d2 Ermittlung Bedingung LM</b>                                                     |     |     |     |     | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 46%    |
| 1d2.1 Einfluss unterschiedl. LM                                                        |     |     |     |     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 15%    |
| 1d2.2 Einfluss (un)polare LM                                                           |     |     |     |     | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%     |
| <b>1d3 Trennmethode DC</b>                                                             |     |     |     |     | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 31%    |
| <b>1e Fragen für Unt. zu Exp. (bei Vp03 1g)</b>                                        | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%    |
| <b>1e1 zum Laufmittel</b>                                                              | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 85%    |
| 1e1.1 LM f. optimale Trennung                                                          | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 62%    |
| 1e1.2 Eig LM                                                                           | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 46%    |
| 1e1.3 Str-Eig LM                                                                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 38%    |
| <b>1e2 zum Stoffgemisch</b>                                                            | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 1   | 62%    |
| 1e2.1 Anz. Bestandteile                                                                | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%     |
| 1e2.2 Erklärung f. Verhalten A (StrM)                                                  | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 46%    |
| 1e2.3 Überprüfung auf Sudanrot G                                                       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%     |
| 1e2.4 Wanderungsgeschwindigkeiten                                                      | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%     |
| <b>1e3 zur Methode</b>                                                                 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%    |
| 1e3.1 Begriffe                                                                         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%     |
| 1e3.2 Auswertung                                                                       | 0   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 23%    |
| 1e3.2.1 Kenngrößen                                                                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%     |
| 1e3.2.2 Bewegung A                                                                     | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 8%     |
| 1e3.3 Arbeitsmittel                                                                    | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 31%    |
| 1e3.4 Wirkprinzip                                                                      | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 85%    |
| 1e3.4.1 Str-Eig-Beziehungen                                                            | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 1   | 1   | 69%    |
| <b>1e4 zu weiteren Bedingungen</b>                                                     | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 15%    |
| 1e4.1 Silicagelplatten                                                                 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 8%     |
| 1e4.2 Laufzeit                                                                         | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0%     |
| <b>1f Erkenntniswege</b>                                                               |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |        |
| induktives Vorgehen                                                                    | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   | 1   | 54%    |
| deduktives Vorgehen                                                                    | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 54%    |
| regr.-red. Vorgehen                                                                    | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 85%    |
| progr.-red. Vorgehen                                                                   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 92%    |
| abs. H (max. 21 bzw 31 Codes)                                                          | 7   | 9   | 9   | 10  | 10  | 5   | 12  | 17  | 8   | 10  | 7   | 16  | 14  |        |
| rel. H                                                                                 | 33% | 43% | 43% | 48% | 32% | 16% | 39% | 55% | 26% | 32% | 23% | 52% | 45% |        |

Die rot markierten Codes werden nicht bei der Berechnung der rel. H berücksichtigt.

### 13.4.2 Analyse der Schülerfehlkonzepte

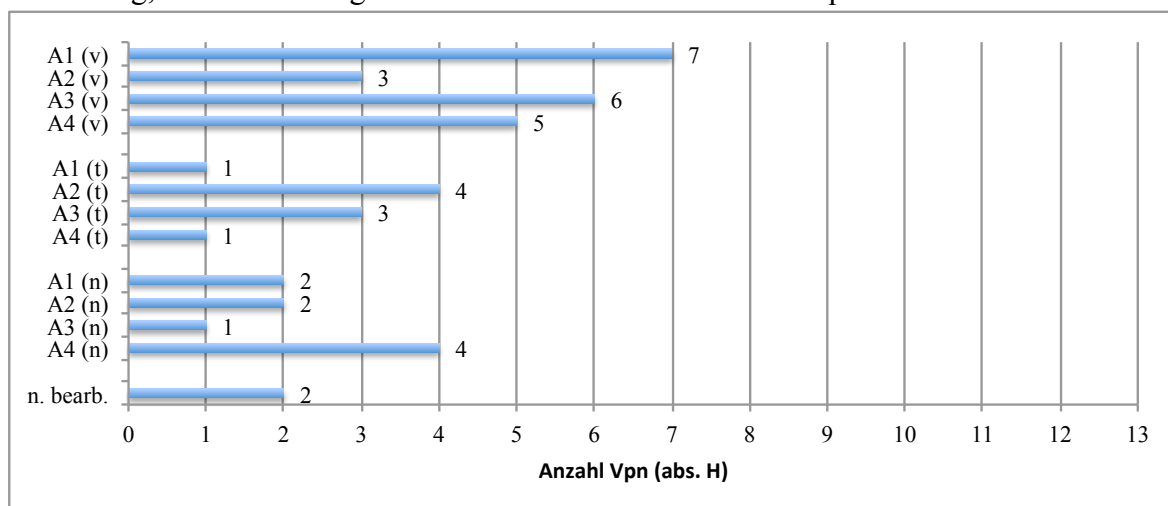
Abb. 51 stellt zusammengefasst die Häufigkeitsverteilung der analysierten Schülerantworten dar. Demnach sind die insgesamt vier zu analysierenden Schülerantworten im Aufgabenkomplex 5 von jeweils maximal zehn Vp der 13 Vp bearbeitet worden.



A1: Antwort 1; A2: Antwort 2; A3: Antwort 3; A4: Antwort 4; abs. *H*: absolute Häufigkeit

Abb. 51: Häufigkeitsverteilung der jeweils analysierten Schülerantworten ( $N = 13$ )

In Abb. 52 wird diese Häufigkeitsverteilung noch differenziert nach den Häufigkeiten der vollständig, teilweise oder gar nicht erkannten Schülerfehlkonzepten.



A1: Antwort 1; A2: Antwort 2; A3: Antwort 3; A4: Antwort 4

(v): vollständig erkannt; (t): teilweise erkannt; (n): nicht erkannt; n. bearb.: nicht bearbeitet

Abb. 52: Häufigkeiten der vollständig, teilweise oder gar nicht erkannten Schülerfehlkonzepte ( $N = 13$ )

Demnach wurde am häufigsten das Fehlkonzep in Schülerantwort 1 vollständig oder teilweise erkannt ( $H = 8$ ), gefolgt von Schülerantwort 3 ( $H = 9$ ), Schülerantwort 2 ( $H = 7$ ) und Schülerantwort 4 ( $H = 6$ ). Das Fehlkonzep in Schülerantwort 4 wurde demgegenüber am häufigsten nicht erkannt.

In detaillierter Form zeigt die Tab. 117, welche Schülerantworten von den jeweiligen Vpn analysiert und inwiefern die jeweiligen Fehlkonzep von ihnen erfasst wurden. In der unteren Zeile wird zusammengefasst, wie viel Prozent der Vpn die jeweilige Schülerantwort vollständig, teilweise oder gar nicht erkannt bzw. nicht bearbeitet haben. In den unteren acht Zeilen sind die absoluten und relativen Häufigkeiten der bereits in Abb. 52 be-

schriebenen Häufigkeitsverteilungen der vollständig, teilweise oder gar nicht erkannten Schülerfehlkonzepte. Zur besseren Lesbarkeit der Tabelle wurden die Zellen entsprechend hellblau (vollständig erkannt), gelb (teilweise erkannt) oder hellrot (nicht erkannt) hervorgehoben.

Tab. 117: Matrix der von den jeweiligen Vpn vollständig, teilweise oder gar nicht erfassten Fehlkonzerten in den Schülerantworten A1 bis A4 ( $N = 13$ )

| Vp               | A1        | A2        | A3        | A4        |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 01               | 1         | 0,5       | 1         | 0,5       |
| 02               | 1         | 1         | 1         | 1         |
| 03               | n. bearb. | n. bearb. | 0,5       | 0         |
| 04               | 0         | 0,5       | 0,5       | 0         |
| 05               | 0         | n. bearb. | n. bearb. | n. bearb. |
| 06               | 1         | 0,5       | 0         | 0         |
| 07               | 1         | 1         | 1         | 1         |
| 08               | n. bearb. | n. bearb. | n. bearb. | n. bearb. |
| 09               | 1         | 1         | 1         | 1         |
| 10               | 0,5       | 0         | 1         | 0         |
| 11               | 1         | 0         | 1         | 1         |
| 12               | 1         | 0,5       | 0,5       | 1         |
| 13               | n. bearb. | n. bearb. | n. bearb. | n. bearb. |
| <b>Hmax</b>      | <b>13</b> | <b>13</b> | <b>13</b> | <b>13</b> |
| abs. H (1)       | 7         | 3         | 6         | 5         |
| abs. H (0,5)     | 1         | 4         | 3         | 1         |
| abs. H (0)       | 2         | 2         | 1         | 4         |
| H n. bearb.      | 3         | 4         | 3         | 3         |
| rel. H (1)       | 54%       | 23%       | 46%       | 38%       |
| rel. H (0,5)     | 8%        | 31%       | 23%       | 8%        |
| rel. H (0)       | 15%       | 15%       | 8%        | 31%       |
| rel. H n. bearb. | 23%       | 31%       | 23%       | 23%       |

A1: Antwort 1; A2: Antwort 2; A3: Antwort 3; A4: Antwort 4; H: Häufigkeit; abs.: absolute; rel.: relative  
1: vollständig erkannt; 0,5: teilweise erkannt; 0: nicht erkannt

Hieraus wird deutlich, dass zwei der 13 Vpn (Vp08 und Vp13) den Aufgabenkomplex 5 mit den Schülerfehlkonzepten gar nicht erst bearbeitet haben. Zwei Vpn (Vp03 und Vp05) haben nur zwei bzw. eine Schülerantwort analysiert und die betrachteten Fehlkonzerte nur teilweise oder gar nicht erkannt. Demgegenüber haben neun Vpn alle vier Schülerantworten bearbeitet, wobei nur drei von diesen Vpn (Vp02, Vp07 und Vp09) die Fehlkonzerte in allen vier Schülerantworten vollständig erkannt haben.

Zusammenfassend stellt Tab.118 die insgesamt vollständig, teilweise oder gar nicht erfassten Fehlkonzerte der vier zu analysierenden Schülerantworten dar. Für jede Vp wird angegeben, wie viele (abs. H) bzw. wie viel Prozent (rel. H) der Schülerfehlkonzepte ( $n=4$ ) vollständig, teilweise oder gar nicht erkannt bzw. nicht bearbeitet wurden.

Die Fehlkonzerte in den vier Schülerantworten werden von den Vpn im Durchschnitt zu 57,7% vollständig (40,4%) oder teilweise (17,3%) erfasst. Zu den Vpn, die zwei bis vier Fehlkonzerte vollständig erfasst haben, gehören Vp01, Vp02, Vp07, Vp09, Vp11 und Vp12. Vp06 und Vp10 haben jeweils ein Fehlkonzert vollständig bzw. teilweise erkannt,



während Vp03 von zwei bearbeiteten Schülerantworten, nur ein Fehlkonzept teilweise erfasst hat. Eine inhaltliche Untersetzung folgt durch die Betrachtung der Ausführungen der Vpn.

Die Code-Häufigkeiten der Codes zu Erwartungsbild, korrekten und falschen Aussagen sowie Erklärung für den Unterricht werden im Folgenden detailliert dargestellt. Es werden nur die Fälle (Vpn) betrachtet, die den Aufgabenkomplex 5 auch bearbeitet haben ( $N=11$ ). Um Aussagen der Vpn von denen in den Schülerantworten zu trennen, wird im Folgenden die Abkürzung Ln (Lernende) für den jeweiligen Schüler oder die jeweilige Schülerin verwendet, der bzw. die die jeweilige Schülerantwort formuliert hat.

Tab. 118: Zusammenfassung der von den jeweiligen Vpn vollständig, teilweise oder gar nicht erfassten Schülerfehllkonzepten

|             | A1 bis A4  |            | A1 bis A4    |              | A1 bis A4  |            | A1 bis A4          |                    |
|-------------|------------|------------|--------------|--------------|------------|------------|--------------------|--------------------|
|             | abs. H (1) | rel. H (1) | abs. H (0,5) | rel. H (0,5) | abs. H (0) | rel. H (0) | abs. H (n. bearb.) | rel. H (n. bearb.) |
| Vp          |            | (Hmax = 4) |              | (Hmax = 4)   |            | (Hmax = 4) |                    | (Hmax = 4)         |
| 01          | 2          | 50%        | 2            | 50%          | 0          | 0%         | 0                  | 0%                 |
| 02          | 4          | 100%       | 0            | 0%           | 0          | 0%         | 0                  | 0%                 |
| 03          | 0          | 0%         | 1            | 25%          | 1          | 25%        | 2                  | 50%                |
| 04          | 0          | 0%         | 2            | 50%          | 2          | 50%        | 0                  | 0%                 |
| 05          | 0          | 0%         | 0            | 0%           | 1          | 25%        | 3                  | 75%                |
| 06          | 1          | 25%        | 1            | 25%          | 2          | 50%        | 0                  | 0%                 |
| 07          | 4          | 100%       | 0            | 0%           | 0          | 0%         | 0                  | 0%                 |
| 08          | n. bearb.  | n. bearb.  | n. bearb.    | n. bearb.    | n. bearb.  | n. bearb.  | 4                  | 100%               |
| 09          | 4          | 100%       | 0            | 0%           | 0          | 0%         | 0                  | 0%                 |
| 10          | 1          | 25%        | 1            | 25%          | 2          | 50%        | 0                  | 0%                 |
| 11          | 3          | 75%        | 0            | 0%           | 1          | 25%        | 0                  | 0%                 |
| 12          | 2          | 50%        | 2            | 50%          | 0          | 0%         | 0                  | 0%                 |
| 13          | n. bearb.  | n. bearb.  | n. bearb.    | n. bearb.    | n. bearb.  | n. bearb.  | 4                  | 100%               |
| SUMME       | 21         |            | 9            |              | 9          |            | 13                 |                    |
| Hmax        | 52         |            | 52           |              | 52         |            | 52                 |                    |
| Mw (rel. H) |            | 40,4%      |              | 17,3%        |            | 17,3%      |                    | 25,0%              |

#### 13.4.2.1 Schülerantwort 1 (A1) zu Aufgabe 1a des Aufgabenkomplexes 5

Die Schülerantwort 1 bezieht sich auf die Aufgabe 1a des Aufgabenkomplexes 5. Die Code-Matrix in Tab. 119 gibt einen Überblick, welche Codes den Segmenten der jeweiligen Vp zugeordnet werden konnten. Die dazugehörigen Segmente und Memos sind in Tab. A 29 (S. 521) aufgeführt, sodass die Codierungen nachvollzogen werden können.

In Tab. 119 ist in den ersten drei Zeilen die Gesamtbewertung der analysierten Schülerantwort dargestellt. Danach folgen die Ergebnisse für das Erwartungsbild, das für die Bewertung der Schülerantwort 1 relevant ist, die Ergebnisse für die Analyse der Schülerantwort 1 sowie die Erklärung für den Unterricht. Ab der Zeile „1a Sonstige“ sind die Zellen mit dem Wert 1 dann grün hervorgehoben worden, wenn ein Bewertungskriterium zutrifft.

Tab. 119: Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Schülerantwort 1 (A1; n = 11)

| Vp                                                        | 01 | 02 | 03        | 04 | 05 | 06 | 07 | 09 | 10 | 11 | 12 | SUMME |
|-----------------------------------------------------------|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| A1 (v) Vp erkennt Fehlkonzept vollständig                 | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 7     |
| A1 (t) Vp erkennt Fehlkonzept teilweise                   | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1     |
| A1 (n) Vp erkennt Fehlkonzept nicht                       | 0  | 0  | n. bearb. | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2     |
| 1a Sonstige                                               | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| 1a Erwartungsbild                                         | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4     |
| 1a_1 Beschreibung Verhaltensbedingung                     | 1  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3     |
| 1a_1.1 SiL stPh hoch polar                                | 1  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3     |
| 1a_1.2 Toluol mPh gering polar                            | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2     |
| 1a_2 Begründung Trennergebnis                             | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4     |
| 1a_2.1 Indophenol/Analyt polar                            | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3     |
| 1a_2.2 RF/Laufstrecke Indophenol/Analyt gering            | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4     |
| 1a_2.3 WW stPh und Indophenol/Analyt hoch                 | 1  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3     |
| 1a_2.4 RF/Laufstrecke Analyt mittel                       | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| 1a_2.5 WW stPh und Analyt mittel                          | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| 1a_2.6 RF/Laufstrecke Analyt hoch                         | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3     |
| 1a_2.7 WW stPh und Analyt gering                          | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3     |
| 1a Analyse Antw. 1 (A1)                                   | 1  | 1  | n. bearb. | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 10    |
| A1_1 korrekte Aussagen Ln                                 |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
| A1_1.1 SiL, stationäre Phase, ist polar                   | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 3     |
| A1_1.2 WW gering zw. polaren und unpolaren Stoffen        | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1     |
| A1_2 falsche Aussagen Ln                                  |    |    |           |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
| A1_2.1 WW Analyt mit statPh gering führt zu ge Lst/ho Ret | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 6     |
| A1_2.1.1 Indophenol weniger polar als Analyten 3 u.4      | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 5     |
| A1_2.1.2 Indophenol polarer als Analyt 1                  | 1  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 4     |
| A1_2.2 Verwechslung: Ln meint mPh statt stPh              | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A1_2.2.1 mPh (Toluol) ist polar                           | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A1_3 Erklärung für Unterricht                             | 1  | 1  | n. bearb. | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 7     |
| A1_3.1 Gegenüberstellung RF (un)polarer Analyten          | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3     |
| A1_3.2 Gegenüberstellung StrM u. Polarität der Analyten   | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 3     |
| A1_3.3 Gegenüberstellung StrM u. WW                       | 0  | 0  | n. bearb. | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3     |
| A1_3.4 Begründen d. Laufverhaltens Analyt (gepo vs hopo)  | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 5     |
| A1_3.5 Falsifikation Aussagen der Ln (Prognosen)          | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A1_3.6 Personifikation                                    | 1  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| SUMME                                                     | 14 | 14 | n. bearb. | 4  | 3  | 12 | 22 | 7  | 7  | 5  | 8  | 96    |

Zehn der elf Vpn haben die Schülerantwort 1 analysiert, von denen sieben Vpn das Fehlkonzept in der Schülerantwort vollständig erkannt haben, eine Vp teilweise und zwei Vpn gar nicht.

Insgesamt haben vier der 10 Vpn, die die Schülerantwort bearbeitet haben, ein Erwartungsbild zur Aufgabe 1a erstellt. Diese vier (von insgesamt sieben Vpn) haben auch das Fehlkonzept der Schülerantwort vollständig erkannt. Dazu war es ausreichend eine der falschen Aussagen des Ln erkannt zu haben (A2.1 oder A2.2). A2.2 wäre aus Expertensicht eine weitere, wenn auch unwahrscheinliche, Option gewesen, das Fehlkonzept der Schülerantwort zu deuten. Diese Option wird von keiner der Vpn in Erwägung gezogen. Sie wird aber der Vollständigkeit halber in der Code-Matrix belassen.

Die Analyse der Vp10 wird kurz näher ausgeführt, um zu erklären, warum sie das Fehlkonzept nicht vollständig erfasst hat, obwohl sie die falsche Aussage in der Schülerantwort erkannt hat.

Die Analyse lautet:

„Die ersten beiden Sätze der Aussage sind korrekt. Der 3. Satz enthält ein Fehlkonzept. Gerade weil es zu wenig Interaktionen mit der stationären Phase kommt, wird die Substanz durch das Laufmittel nach oben getragen.“

Vp10 erkennt nicht, dass die ersten beiden Aussagen falsch sind, denn Indophenol als zweite Substanz ist weniger polar als die erste und polarer als die 3. u. 4. Substanz. Vp erkennt allerdings das Fehlkonzentration im letzten Satz des Ln, der lautet: „Die stationäre Phase ist polar, doch daher das [sic.] der Farbstoff unpolar ist geht es kaum WW mit der stationären Phase ein und läuft nicht weit nach oben (Das LM muss mittelpolar sein).“

Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- WW Analyt mit statPh gering führt zu ge Lst/ho Ret
- Vp erkennt Fehlkonzentration teilweise

Ideen zur Klärung der Schülerfehlkonzentrationen (A1) im Unterricht führen nur sieben Vpn aus, von denen nur Vp02, Vp07, Vp09 und Vp12 die Begründung des Laufverhaltens der Analyten auch entsprechend begründen, wobei außer bei Vp12 die Begründungen lückenhaft sind.

Vp01 beschränkt ihre Erklärung auf eine Alltagsanalogie (Personifikation), mit der kein Erkenntnisgewinn für die SuS verbunden ist.

„Polar liebt polar und bleibt dort sehr gerne. Wenn also die Party bei der ich bin toll ist, gehe ich nicht, sondern bleibe dort. Das heißt das polare Molekül findet es dort an der polaren Schicht so super, dass es dort hängen bleibt u. egal wer es zum Mitkommen überreden möchte (deine Mutter möchte, dass du nach Hause kommst) es bleibt da u. damit sind polare Moleküle eher an der Startlinie u. unpolare Moleküle eher weiter entfernt von der Startlinie zu finden.“ (Vp01, Erklärung für den Unterricht zu Fehlkonzentration der Schülerantwort 1)

Die Analogie zur tollen Party, die Menschen zum Bleiben bringt, kann dem Lernenden nur als Merkhilfe für die Regel dienen, dass polare Substanzen sich in gleicher Weise angezogen fühlen, wie Menschen zu einer Party, die „toll“ ist. Ein Lernender, der anhand der Strukturmerkmale bereits beurteilen kann, ob eine Substanz polar oder unpolar ist, ist höchst wahrscheinlich auch in der Lage zu verstehen, welche Wechselwirkungen polare Substanzen miteinander eingehen, um zu begründen, warum sie sich besonders stark anziehen, sodass diese Merkhilfe überflüssig ist. Umgekehrt würde diese Merkhilfe für einen Lernenden, der Schwierigkeiten hat, anhand der Strukturmerkmale zu beurteilen, wie stark Substanzen sich anziehen, nur hilfreich sein, wenn ihm vorgegeben würde, welche Substanzen polar oder unpolar sind, vorausgesetzt der Lernende weiß, welche Wechselwirkungsbeziehungen daraus resultieren können.

Dieses Beispiel würde sich gut eignen, mit Lehramtsstudierenden zu diskutieren, um zu zeigen, dass Personifikationen zur Erklärung naturwissenschaftlicher Zusammenhänge eher nur einen unterhaltenden Charakter haben. Sie mögen vielleicht Lernenden helfen, ihre Lernbarrieren herabzusetzen. Als Wissensgrundlage zur Lösung neuer Problemstellungen sind sie hingegen nutzlos.

### 13.4.2.2 Schülerantworten 2 bis 4 (A2, A3, A4) zu Aufgaben 1b–c des Aufgabenkomplexes 5

Die Schülerantworten 2 bis 4 beziehen sich auf die Aufgaben 1b–c des Aufgabenkomplexes 5. Daher werden in Tab. 120 zunächst die Ergebnisse für das Erwartungsbild dargestellt, das für die Bewertung der drei Schülerantworten relevant ist.

Tab. 120: Code-Matrix der Bewertungskriterien für Erwartungsbild 1b–c (n = 11)

| Vp                                                               | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06  | 07 | 09 | 10 | 11 | 12 | SUMME |
|------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|-------|
| 1b-c fehlerhaft                                                  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| 1b-c Sonstige                                                    | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2     |
| 1b-c Erwartungsbild                                              | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4     |
| 1b-c_1 Begründung Elutionskraft Cyclohexan u. Ethanol            |    |    |    |    |    |     |    |    |    |    |    |       |
| 1b-c_1.1 Cyclohexan hat sehr gering Polarität                    | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3     |
| 1b-c_1.2 Cyclohexan konkurriert auf hopo stPh gering um Ads.-pl. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| 1b-c_1.3 Ethanol hat sehr hoch Polarität                         | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 3     |
| 1b-c_1.4 Ethanol konkurriert auf hopo stPh hoch um Ads.-pl.      | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| 1b-c_2 Prognose Trennergebnis Cyclohexan u. Ethanol              |    |    |    |    |    |     |    |    |    |    |    |       |
| 1b-c_2.1 Analyt bleibt bei Cyclohexan an Startlinie              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0,5 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1,5   |
| 1b-c_2.2 Analyt wandert bei Ethanol bis Laufmittelfront          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2     |
| SUMME                                                            | 0  | 4  | 2  | 0  | 0  | 5,5 | 7  | 0  | 0  | 0  | 0  | 18,5  |

Nur vier der elf Vpn haben überhaupt ein eigenes Erwartungsbild erstellt, wobei Vp03 nur Fragen stellt, dass sie selbst scheinbar die Zusammenhänge der Problemstellung, auf die sich die Schülerantwort bezieht, nicht verstanden hat. Das Segment wurde daher dem Code „1b-c Sonstige“ zugeordnet wurde. Vp06 und Vp07 treffen Aussagen zur Elutionskraft und dem jeweilig zu erwartenden Ergebnis, wobei nur Vp07 die Trennergebnisse vollständig begründet. Die Aussage von Vp06 „das Farbstoffgemisch trennt sich nicht auf, die Farbstoffe überlagern sich gegenseitig“ kann nicht eindeutig dahingehend interpretiert werden, ob Farbstoffe an der Startlinie bleiben oder bis zur Laufmittelfront laufen. Daher ist die Prognose für das Trennergebnis mit Cyclohexan als Laufmittel unvollständig und erhält nur den Punktwert 0,5. Für Ethanol als Laufmittel schätzt Vp06 die Polarität des Laufmittels und das zu erwartende Trennergebnis korrekt ein, aber die Begründung ist fehlerhaft. Nicht die Wechselwirkung zwischen Laufmittelmolekül und Analyt ist entscheidend für die zu hohe Elutionskraft des Ethanols auf einer polaren stationären Phase, sondern die sehr starken Wechselwirkungen des sehr polaren Laufmittels mit der sehr polaren stationären Phase, die verhindern, dass Farbstoffmoleküle überhaupt mit der stationären Phase in Wechselwirkung treten können (s. Tab. A 30, S. 527).

#### a) Schülerantwort 2

Die Code-Matrix in Tab. 121 gibt einen Überblick, welche Codes den Segmenten der jeweiligen Vp zugeordnet werden konnten. Die dazugehörigen Segmente und Memos sind in Tab. A 31 (S. 529) aufgeführt, sodass die Codierungen nachvollzogen werden können.

Neun (bzw. acht<sup>144</sup>) der elf Vpn haben die Schülerantwort 2 analysiert, von denen nur drei Vpn das Fehlkonzent in der Schülerantwort vollständig erkannt haben, vier Vpn teilweise und drei Vpn gar nicht.

Tab. 121: Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Schülerantwort 2 (A2; n = 11)

| Vp                                                        | 01 | 02 | 03        | 04 | 05        | 06 | 07 | 09 | 10 | 11 | 12 | SUMME |
|-----------------------------------------------------------|----|----|-----------|----|-----------|----|----|----|----|----|----|-------|
| A2 (v) Vp erkennt Fehlkonzent vollständig                 | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 3     |
| A2 (t) Vp erkennt Fehlkonzent teilweise                   | 1  | 0  | n. bearb. | 1  | n. bearb. | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 4     |
| A2 (n) Vp erkennt Fehlkonzent nicht                       | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 2     |
| Ib-c Analyse Antw. 2 (A2)                                 | 1  | 1  | n. bearb. | 1  | n. bearb. | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 9     |
| A2_1 korrekte Aussagen Ln                                 |    |    |           |    |           |    |    |    |    |    |    |       |
| A2_1.1 Cyclohexan hat ge Polarität                        | 0  | 1  | n. bearb. | 1  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 4     |
| A2_1.2 Indophenol bleibt bei Cyclohexan auf Startlinie    | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 4     |
| A2_1.3 Ethanol hat hoch WW mit stat. Phase                | 1  | 0  | n. bearb. | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| A2_1.4 Indophenol wandert bei EthOH bis Laufmittelfront   | 1  | 0  | n. bearb. | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| A2_2 falsche Aussagen Ln                                  |    |    |           |    |           |    |    |    |    |    |    |       |
| A2_2.1 keine WW bei Cyclohexan                            | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2     |
| A2_3 fehlende Aussagen Ln                                 |    |    |           |    |           |    |    |    |    |    |    |       |
| A2_3.1 Charakterisierung d. Indophenols/d. FG             | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A2_3.2 Charakterisierung der Elutionskraft der Laufmittel | 0  | 0  | n. bearb. | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2     |
| A2_3.3 WW Cyclohexan mit anderen Komponenten              | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | n. bearb. | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 2     |
| A2_3.4 Laufverhalten der anderen drei Analyten            | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 4     |
| A2_3.5 Erklärung des Verdrängungsprinzips                 | 1  | 1  | n. bearb. | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 5     |
| SUMME                                                     | 6  | 6  | n. bearb. | 5  | n. bearb. | 3  | 6  | 9  | 3  | 2  | 3  | 43    |

Der Code „Vp erkennt Fehlkonzent vollständig“ wurde dann zugeordnet, wenn eine falsche und eine fehlende Aussage oder zwei fehlende Aussagen der/des Ln erkannt wurden. Obwohl Vp04 zwei fehlende Aussagen nennt, wurde dennoch „Vp erkennt Fehlkonzent teilweise“ zugeordnet, da Vp das Verdrängungsprinzip selbst nicht verstanden zu haben scheint (s. Bemerkung der Vp zu Schülerantwort 4 „Zusammenhang zwischen Polarität des FM, der stat. Phase und der Substanzen ist mir unklar. (<Folgepfeil> Wie hängen die Polaritäten zusammen?“). Auch bei der Analyse von Schülerantwort 1 hält Vp04 die Wechselwirkung des Laufmittels Toluol mit den Analyten für die Laufstrecken der Analyten für maßgeblich, was diese Annahme bestätigen würde. Daher ist auch davon auszugehen, dass Vp04 bei den Wechselwirkungen im letzten Absatz (s. Tab. 122) nur die Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyten bedenkt. Für die Erklärung der erhöhten Elutionswirkung des Ethanol ist allerdings im Besonderen die Wechselwirkung zwischen Ethanol und der stationären Phase zu betrachten.

Im Unterschied zu Vp04 legt Vp02 die Begründungszusammenhänge für das Trennergebnis vollständig dar, womit die fehlenden Aussagen des/der Ln genannt sind. Außerdem erkennt Vp02, dass der/die Ln die Prognose nur auf Indophenol beschränkt. Daher wurde Vp02 zugestanden, das Fehlkonzent vollständig erkannt zu haben.

Um die Unterschiede zwischen Vp01, Vp04 und Vp07 zu betrachten, werden deren Textsegmente in Tab. 122 gegenübergestellt. Der wesentliche Mangel bei den Ausführungen von Vp01 ist, dass sie Aussagen des Ln untersetzt, aber nicht herausstellt, worin das Fehlkonzent besteht. Implizit wird nur darauf verwiesen, dass Aussagen zum Verdrän-

<sup>144</sup> Vp11 nimmt so allgemein zu der Schülerantwort Stellung, dass keiner der Inhaltscodes zugeordnet werden konnte und damit die Schülerantwort auch als nicht analysiert betrachtet werden kann.

gungsprinzip fehlen. Vp04 bleibt noch sehr viel oberflächlicher in ihren Aussagen. Sie führt bspw. nicht aus, was an der Erklärung der Ln bei den Überlegungen zu Cyclohexan als Laufmittel nicht schlüssig ist. Im Gegensatz zu Vp01 und Vp04 unterscheidet Vp07 explizit zwischen richtigen, falschen und fehlenden Aussagen des Ln.

Tab. 122: Textsegmente von Vp01, Vp04 und Vp07 zu Antwort 2 (A2) zu Aufgaben 1b–c im Teil E

| Vp             | 01                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 04                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 07                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Segment</b> | <p>Antwort 2: Es finden WW statt &lt;Folgepfeil&gt; Indophenol wechselwirkt mit stationärer Phase.</p> <p>Besser wäre: Ethanol wechselwirkt mit stationärer Phase, besetzt die Oberfläche u. damit kann Indophenol dort nicht „angreifen“ und läuft mit.</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; mit Cyclohexan sollte keine Trennung stattfinden (bleiben am Start)</p> | <p>b) Sowohl Toluol als Cyclohexan sind unpolar, sodass die Erklärung des SuS nicht schlüssig ist.</p> <p>c) In der Erklärung fehlt der Aspekt, dass das Ethanol polarer ist als das Toluol.</p> <p>Es fehlt, dass sich die WW ändern (keine Pi-Pi-Bdg. sondern Dipol-Dipol-WW) und dadurch eine schnellere Bewegung entsteht.</p> | <p>richtig: Cyclohexan unpolar, starke WW von Ethanol mit stationärer Phase</p> <p>Indophenol bleibt bei Verwendung von Cyclohexan an der Startlinie, wandert bei Verwendung von Ethanol weiter nach oben</p> <p>„falsch“: was ist mit den anderen drei Farbstoffen?</p> <p>falsch: bei Cyclohexan finden keine WW statt, da Cyclohexan unpolar ist</p> <p>Fehlkonzept: Polarität entscheidet über Ausbildung von WW (d. h. ob WW ausgebildet werden oder nicht)</p> |

### b) Schülerantwort 3

Die Code-Matrix in Tab. 123 gibt einen Überblick, welche Codes den Segmenten der jeweiligen Vp zugeordnet werden konnten. Die dazugehörigen Segmente und Memos sind in Tab. A 32 (S. 533) aufgeführt, sodass die Codierungen nachvollzogen werden können.

Tab. 123: Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Schülerantwort 3 (A3; n = 11)

| Vp                                                         | 01 | 02 | 03 | 04 | 05        | 06 | 07 | 09 | 10 | 11 | 12 | SUMME |
|------------------------------------------------------------|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|-------|
| A3 (v) Vp erkennt Fehlkonzept vollständig                  | 1  | 1  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 6     |
| A3 (t) Vp erkennt Fehlkonzept teilweise                    | 0  | 0  | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 3     |
| A3 (n) Vp erkennt Fehlkonzept nicht                        | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| 1b-c Analyse Antw. 3 (A3)                                  | 1  | 1  | 1  | 1  | n. bearb. | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 10    |
| A3_1 korrekte Aussagen Ln                                  |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |       |
| A3_1.1 Toluol und Cyclohexan haben ge Polarität            | 0  | 1  | 1  | 1  | n. bearb. | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 4     |
| A3_1.2 Toluol hat Methylgruppe                             | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1  | 3     |
| A3_2 falsche Aussagen Ln                                   |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |       |
| A3_2.1 Polarität Cyclohexan ist höher als Polarität Toluol | 1  | 1  | 1  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 8     |
| A3_2.2 Auftr. ändert sich m. Cyclohexan ggü. Toluol kaum   | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 4     |
| A3_2.3 LM hopo führt zu ge LsA                             | 1  | 1  | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0  | 5     |
| A3_3 fehlende Aussagen Ln                                  |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |       |
| A3_3.1 Charakterisierung d. Indophenols/d. FG              | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A3_3.2 Charakterisierung der Elutionskraft der Laufmittel  | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| A3_3.3 Erklärung des Verdrängungsprinzips                  | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| SUMME                                                      | 4  | 5  | 4  | 4  | n. bearb. | 2  | 8  | 4  | 6  | 5  | 4  | 46    |

Zehn der elf Vpn haben die Schülerantwort 3 analysiert, von denen sechs Vpn das Fehlkonzep in der Schülerantwort vollständig erkannt haben, drei Vpn teilweise und eine Vp gar nicht.

Der Code „Vp erkennt Fehlkonzep vollständig“ wurde dann zugeordnet, wenn zwei der drei falschen Aussagen der/des Ln erkannt wurden. Strittige Fälle bei der Codierung werden im Folgenden kurz umrissen. Dazu werden wie bei der Schülerantwort 2 die Textsegmente der Vp01, Vp04 und Vp07 betrachtet (s. Tab. 124).

Tab. 124: Textsegmente von Vp01, Vp04 und Vp07 zu Antwort 3 (A3) zu Aufgaben 1b–c im Teil E

| Vp             | 01                                                                                                                                                                                                                                                             | 04                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 07                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Segment</b> | <p>Antwort 3: Cyclohexan ist „polarer“ als Toluol d. h. es wechselwirkt stärker mit der stationären Phase</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; Indophenol kann weniger wechselwirken mit stationärer Phase</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; es wandert weiter nach oben mit.</p> | <p>b) Im letzten Abschnitt wird eine falsche Schlussfolgerung getroffen.</p> <p>Wie richtig erklärt ist das Cyclohexan polarer als Toluol.</p> <p>Wenn die Polarität des Laufmittels steigt, würde sich das Indophenol weiter nicht kürzer bewegen</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Trennstrecke somit länger!</p> | <p>richtig: Toluol, Cyclohexan unpolar</p> <p>falsch: Auftrennung ändert sich nicht</p> <p>Toluol unpolarer als Cyclohexan, da eine CH<sub>3</sub>-Gruppe mehr</p> <p>Fehlkonzep: Nur Polarität entscheidet über Auftrennung.</p> <p>Je polarer, desto weniger werden die Farbstoffe aufgetrennt.</p> <p>Wechselwirkungen werden nicht betrachtet/beachtet, sondern nur Polarität</p> |

Vp07 bspw. unterscheidet explizit zwischen richtigen und falschen Aussagen des Ln. Obwohl Vp07 nicht genau erklärt, worauf sich „je polarer“ bezieht, kann die Aussage aufgrund der Ausführungen zur Schülerantwort 2 interpretiert werden. Gemeint ist das Laufmittel, dass je nach Polarität Farbstoffe gar nicht oder bis zur Laufmittelfront mitführt (Verdrängungsprinzip). Das Verdrängungsprinzip hat Vp zuvor richtig erklärt, sodass die Codes „Erklärung des Verdrängungsprinzips“ und „Charakterisierung der Elutionskraft der Laufmittel“ zugeordnet wurden. Vp07 benennt die beiden richtigen und zwei falsche Aussagen des Ln, sodass der Code „Vp erkennt Fehlkonzep vollständig“ zugeordnet wurde.

Bei Vp01 ist es problematisch einzuschätzen, ob sie nur den Gedankengang des Ln nachvollzieht oder selbst die Einschätzung teilt, dass Cyclohexan polarer als Toluol ist. Vp01 erkennt allerdings, dass Indophenol bei polarerem Laufmittel eine höhere Laufstrecke zurücklegen müsste. Diese Aussage wird als Richtigstellung der Ln-Aussage gewertet. In diesem Sinne erkennt Vp01, dass der Ln Toluol unpolarer als Cyclohexan einschätzt (Ln weiß daher nicht, dass Toluol durch den Benzolring leichter polarisierbar ist und damit etwas polarer als Cyclohexan ist). Daraus schlussfolgert der/die Ln fälschlicherweise, dass die Substanzen mit dem etwas polareren Laufmittel eine geringere Laufstrecke zurücklegen. Unter der Annahme, dass Vp01 den Gedankengang des Ln nachvollzieht, wurde der Code „Vp erkennt Fehlkonzep vollständig“ zugeordnet.



Im Unterschied zu Vp01 schätzt Vp04 selbst genauso wie der Ln Cyclohexan fälschlicherweise polarer als Toluol ein. Vp erkennt ansonsten, dass der Ln fälschlicherweise schlussfolgert, dass hoch polares Laufmittel zu geringer Laufstrecke des Analyten führt („LM hopo führt zu ge LsA“). Daher wurde bei Vp04 der Code „Vp erkennt Fehlkonzent teilweise“ zugeordnet.

### c) Schülerantwort 4

Die Code-Matrix in Tab. 125 gibt einen Überblick, welche Codes den Segmenten der jeweiligen Vp zugeordnet werden konnten. Die dazugehörigen Segmente und Memos sind in Tab. A 33 (S. 536) aufgeführt, sodass die Codierungen nachvollzogen werden können.

Tab. 125: Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Schülerantwort 4 (A4; n = 11)

| Vp                                                         | 01 | 02 | 03 | 04 | 05        | 06 | 07 | 09 | 10 | 11 | 12 | SUMME |
|------------------------------------------------------------|----|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|-------|
| A4 (v) Vp erkennt Fehlkonzent vollständig                  | 0  | 1  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 5     |
| A4 (t) Vp erkennt Fehlkonzent teilweise                    | 1  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| A4 (n) Vp erkennt Fehlkonzent nicht                        | 0  | 0  | 1  | 1  | n. bearb. | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 4     |
| Ib-c Analyse Antw. 4 (A4)                                  | 1  | 1  | 1  | 1  | n. bearb. | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 10    |
| A4_1 korrekte Aussagen Ln                                  |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |       |
| A4_1.1 stationäre Phase ist polar                          | 0  | 0  | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 3     |
| A4_1.2 Cyclohexan, mobile Phase, ist unpolar               | 0  | 1  | 0  | 1  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 6     |
| A4_1.3 Ethanol, mobile Phase, ist polar                    | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 3     |
| A4_1.4 LM hopo wie Ethanol hat hohe Elutionskraft          | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| A4_1.5 Substanz 1 am polarsten, Substanz 3 am unpolarsten  | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A4_1.6 Analyt (Nr. 1) hopo hat hoch WW mit hopo stPh       | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A4_1.7 Analyt (Nr. 3) gepo hat geringe WW mit hopo stPh    | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A4_1.8 starke WW d. Analyten m. stat. Ph führt zu ge LsA   | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1     |
| A4_1.9 starke WW d. Analyten m. mob. Ph führt zu ho LsA    | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1     |
| A4_1.10 geringe WW d. Analyten m. stat. Ph zu ho LsA       | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1     |
| A4_1.11 geringe WW d. Analyten m. mob. Ph zu ge LsA        | 0  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1     |
| A4_2 falsche Aussagen Ln                                   |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |       |
| A4_2.1 Lst Analyt gepo mit Cyclohexan höher als mit Toluol | 0  | 1  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 5     |
| A4_2.2 Lst Analyt gepo mit Ethanol geringer als mit Toluol | 0  | 1  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 5     |
| A4_3 fehlende Aussagen Ln                                  |    |    |    |    |           |    |    |    |    |    |    |       |
| A4_3.1 WW zwischen Laufmittel und stationärer Phase        | 1  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 5     |
| A4_3.2 Elutionskraft Ethanol zu hoch                       | 1  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 3     |
| A4_3.3 Ethanol konkurriert zu stark um Ads.-pl             | 1  | 0  | 0  | 0  | n. bearb. | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 3     |
| SUMME                                                      | 5  | 5  | 2  | 4  | n. bearb. | 2  | 7  | 11 | 2  | 10 | 10 | 58    |

Zehn der elf Vpn haben die Schülerantwort 4 analysiert, von denen fünf Vpn das Fehlkonzent in der Schülerantwort vollständig erkannt haben, eine Vp teilweise und vier Vpn gar nicht.

Der Code „Vp erkennt Fehlkonzent vollständig“ wurde dann zugeordnet, wenn zwei falsche oder eine falsche und eine fehlende Aussagen der/des Ln erkannt wurden. Strittige Fälle bei der Codierung werden kurz umrissen. Dazu werden die Textsegmente der Vp01, Vp07 und Vp09 betrachtet (s. Tab. 126).

Vp01 untersetzt die Antwort des Ln, stellt aber nicht heraus, worin das Fehlkonzent besteht. Daher wurde nur „Vp erkennt Fehlkonzent teilweise“ zugeordnet. Wie auch bei den vorherigen Schülerantworten unterscheidet Vp07 explizit zwischen richtigen, falschen und fehlenden Aussagen. Die Aussage der Vp07 „Veränderungen der Auftrennung falsch beschrieben“ ist zwar sehr allgemein gehalten, aber impliziert den Inhalt der Codes „A4\_2.1 LsA gepo mit Cyclohexan höher als mit Toluol“ und „A4\_2.2 LsA gepo mit Ethanol geringer als mit Toluol“. Damit wurde ihr zugestanden, das Fehlkonzent vollständig erfasst zu haben.



Tab. 126: Textsegmente von Vp01, Vp07 und Vp09 zu Antwort 4 (A4) zu Aufgaben 1b–c im Teil E

| Vp             | 01                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 07                                                                                                                                                                                                                                                                       | 09                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Segment</b> | <p>Bei Ethanol bleiben die Stoffe mit Laufmittel unterwegs.</p> <p>Laufmittel besetzt die Oberfläche u. kann Substanz 1 nicht hängen bleiben</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; wandert mit.</p> <p>Da Ethanol die Oberfläche besetzt hat kann die unpolare Substanz nicht mit dieser ww u. lässt sich auch mitnehmen vom Ethanol.</p> | <p>richtig: Cyclohexan unpolar, Ethanol polar</p> <p>falsch: Veränderungen der Auftrennung falsch beschrieben</p> <p>Fehlkonzept: lediglich Betrachtung der WW Farbstoff-Laufmittel und Farbstoff-stat. Phase</p> <p>keine Betrachtung der WW Laufmittel-stat. Phase</p> | <p>Die erste Folgerung ist korrekt allerdings werden alle Substanzen nicht transportiert, aufgrund der fehlenden Wechselwirkung mit der polaren stationären Phase.</p> <p>Die großen Wechselwirkungen zwischen den Farbstoffen und dem Flussmittel ist eine Fehlvorstellung, da lediglich die Löseeigenschaften gut sind.</p> <p>Auch Ethanol wurde als sehr polares Flussmittel richtig eingeordnet, jedoch fehlt auch hier die exakte Schlussfolgerung.</p> <p>Die polaren Ethanolmoleküle werden an der Oberfläche vollständig adsorbiert und verhindern, dass die Farbstoffmoleküle sich anlagern können.</p> <p>Außerdem herrscht das Fehlkonzept, umso mehr Wechselwirkungen des Flussmittels mit der Oberfläche auftreten umso größer Elutionskraft (stimmt bis dahin) und daraus folgt, dass die Substanz weiter laufen wird.</p> <p>Wenn eine Substanz im unteren Drittel bleibt wird hier gedeutet, dass geringe Wechselwirkungen mit der stationären Phase auftreten. Außerdem wird der Begriff der Elutionskraft hier falsch genutzt.</p> |

Vp09 analysiert am umfangreichsten die Schülerantwort 4. Implizit erklärt Vp09, dass der/die Ln zwar richtig schlussfolgert, dass die polarerer Substanzen wie Substanz 1 bei Cyclohexan noch weniger weit nach oben steigen würden als bei Toluol. Aber fälschlicherweise prognostiziert der/die Ln, dass Substanz 3 stark mit Cyclohexan mitgerissen würde, da sie sehr unpolar ist und daher wenig mit der stationären Phase (polar) wechselwirkt. Ebenso verweist Vp09 darauf, dass die Schlussfolgerung des Ln für Ethanol nicht ausreichend ist und führt aus, welche Auswirkungen Ethanol auf das Trennergebnis hat, nämlich dass alle

Analyten bis zur Laufmittelfront wandern. Vp09 führt Aspekte der Elutionswirkung korrekt aus und sagt damit implizit, worauf der Ln nicht eingeht (fehlende Aussagen). Daher wurden u. a. folgende Codes zugeordnet:

- A4\_2.1 LsA gepo mit Cyclohexan höher als mit Toluol
- A4\_2.2 LsA gepo mit Ethanol geringer als mit Toluol
- A4\_3.1 WW zwischen Laufmittel und stationärer Phase
- A4\_3.2 Elutionskraft Ethanol zu hoch
- A4\_3.3 Ethanol konkurriert zu stark um Adsorptionsplätze

Die nach Vp09 benannten Fehlkonzepte kommen zwar eher implizit zum Ausdruck, aber insgesamt hat sie erkannt, was der/die Lernende nicht verstanden hat.

#### d) Ideen zur Klärung der Schülerfehlkonzepte A2–4 im Unterricht

Die Code-Matrix in Tab. 127 gibt einen Überblick, welche Codes den Segmenten der jeweiligen Vp zugeordnet werden konnten. Die dazugehörigen Segmente und Memos sind in Tab. A 34 (S. 540) aufgeführt, sodass die Codierungen nachvollzogen werden können.

Tab. 127: Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Erklärung für den Unterricht zum Beheben der Schülerfehlkonzepte A2–4 ( $n = 11$ )

| Vp                                                         | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 09 | 10 | 11 | 12 | SUMME |
|------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| A2-4_1 Erklärung für Unterricht                            | 1  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 7     |
| A2-4_1.1 Gegenüberstellung Elutionswirkung versch. LM      | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 5     |
| A2-4_1.2 Begründen d. Laufverhaltens Analyt (gepo vs hopo) | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 1  | 4     |
| A2-4_1.3 Prognosen (Aussagen der Ln) zu Trennergebnissen   | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A2-4_1.4 Falsifikation Prognosen (Aussagen der Ln)         | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A2-4_1.5 Trennung mit Umkehrphase                          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     |
| A2-4_1.6 Personifikation                                   | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1     |
| SUMME                                                      | 2  | 2  | 0  | 1  | 0  | 0  | 3  | 3  | 3  | 0  | 3  | 17    |

Sieben der elf Vpn haben eine Idee entwickelt, wie im Unterricht die erkannten Schülerfehlkonzepte behoben werden könnten. Nur fünf Vpn (Vp02, Vp07, Vp09, Vp10 und Vp12) entwickelten dabei einen Ansatz eines erkenntnistheoretisch begründeten Vorgehens. Dazu zählen auch die drei Vpn (Vp02, Vp07 und Vp09), die in allen vier Schülerantworten die Fehlkonzepte vollständig erkannt haben (s. Tab. 117). Exemplarisch wird die Codierung der Segmente der Vpn 01, 02 und 04 kurz umrissen. (s. Textsegmente in Tab. 128).

Vp01 beschränkt ihre Ausführung nur auf die Erklärung des Verdrängungsprinzips mit Cyclohexan als Laufmittel, ohne zu erklären, warum sie sich dabei auf Cyclohexan beschränkt. Außerdem ist ihre Annahme falsch, dass Cyclohexan stark mit der stationären Phase wechselwirkt und damit eine hohe Elutionskraft hat. Wie auch bei der Erklärung für den Unterricht zum Fehlkonzept der Schülerantwort 1 verwendet Vp01 wieder nur eine Personifikation, um zu erklären, warum Indophenol nicht von der stationären Phase zurückgehalten werden kann. Auch hier haben Formulierungen wie „Cyclohexan besetzt die Oberfläche d. DC-Platte“ und „Indophenol kann sich nicht ‚setzen‘ und muss weiter wandern, in der Hoffnung einen leeren ‚Sitzplatz‘ zu bekommen“ nur einen unterhaltenden Charakter. Zum wirklichen Verständnis für das Laufverhalten von Indophenol bei Laufmit-

teln unterschiedlicher Elutionskraft, ist es unumgänglich, intermolekulare Wechselwirkungsbeziehungen der beteiligten Komponenten anhand relevanter Strukturmerkmale zu begründen.

Vp04 nimmt nur Bezug auf das Fehlkonzept in Schülerantwort 2, bei dem Cyclohexan polarer als Toluol eingeschätzt worden ist. Da Vp04 nur mit einem Satz oberflächlich auf den Zusammenhang zwischen Polarität und Strukturmerkmalen der Analyten eingeht, selbst nur Fragen (s. Antw. 4) hat und auch nicht das Verdrängungsprinzip verstanden hat<sup>145</sup>, wurden weder die Codes „Gegenüberstellung Elutionswirkung verschiedener Laufmittel“ noch „Begründen d. Laufverhaltens Analyt (gepo vs hopo)“ zugeordnet.

Vp02 untersetzt demgegenüber deutlich besser, wie sie Lernenden den Zusammenhang zwischen Polarität der Laufmittel und deren Elutionswirkung vermitteln würde. Nur werden die Schritte der Erkenntnisgewinnung (z. B. progressiv-reduktiv) nicht weiter ausgeführt.

Tab. 128: Textsegmente von Vp01, Vp02 und Vp04 zur Erklärung für den Unterricht zum Beheben der Schülerfehlkonzepte A2–4

| Vp             | 01                                                                                                                                                                                    | 02                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 04                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Segment</b> | Cyclohexan besetzt die Oberfläche d. DC-Platte<br><br><Folgepfeil> Indophenol kann sich nicht „setzen“ und muss weiter wandern, in der Hoffnung einen leeren „Sitzplatz“ zu bekommen. | wichtig ist für SuS dass sie verstehen, dass nicht die Löslichkeit der Stoffe im Laufmittel sondern die WW zw. Laufmittel <Doppelpfeil> stat. [Phase] und Substanz <Doppelpfeil> stat. Phase relevant sind<br><br>z. B.<br><br><Skizze: Längsstrich –OH ... (polares Molekül)<br><br>polares Laufmittel wechselwirkt auch mit stat. Phase und verdrängt Substanz ein Stück nach oben<br><br>unpolares Molekül wird (weil keine WW (wenig) mit stat. Phase gleich nach oben getragen<br><br>bei unpolarem LM bleiben die Stoffe alle auf Grundlinie, da sie alle etwas mit stat. Phase ww, aber LM diese nicht verdrängt | zu Antwort 2 b: [Sowohl Toluol als Cyclohexan sind unpolare, sodass die Erklärung des SuS nicht schlüssig ist.] Dies könnte aufgelöst werden, indem die Polarität über die Struktur der Stoffe untersucht/betrachtet wird. |

<sup>145</sup> s. Bemerkung Vp04: „Zusammenhang zwischen Polarität des FM, der stat. Phase und der Substanzen ist mir unklar. (<Folgepfeil> Wie hängen die Polaritäten zusammen?)“

### 13.5 Fachwissenserwerb und dessen fachdidaktische Verwertung und Anwendbarkeit

Nachdem alle Aufgabenteile detailliert nach inhaltlichen, fachdidaktischen und anwendungsorientierten Gesichtspunkten analysiert wurden, werden in diesem Kapitel die Ergebnisse zusammengefasst. Dazu gibt Tab. 129 einen Überblick der wichtigsten statistischen Kenngrößen zur Beschreibung der Stichprobe.

Tab. 129: Gesamtübersicht der wichtigsten statistischen Kenngrößen zu den Aufgabenkomplexen ( $N=13$ )

| Variable    | <i>n</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | Min   | Median | Max   | Spannweite | Fehlend | Fehlend (%) |
|-------------|----------|----------|-----------|-------|--------|-------|------------|---------|-------------|
| T2_A        | 13       | 12.08    | 4.149     | 7.67  | 10.67  | 22.00 | 14.33      | 0       | 0.00        |
| T2_B        | 13       | 6.54     | 6.827     | 0.00  | 4.00   | 21.33 | 21.33      | 0       | 0.00        |
| T2_C        | 13       | 19.51    | 9.420     | 2.00  | 19.33  | 34.00 | 32.00      | 0       | 0.00        |
| T2_D        | 12       | 18.06    | 9.490     | 2.00  | 19.17  | 34.67 | 32.67      | 1       | 7.69        |
| T2_A_B      | 13       | 15.67    | 6.791     | 8.67  | 14.67  | 31.33 | 22.67      | 0       | 0.00        |
| T2_A_B_C    | 13       | 29.59    | 9.079     | 16.00 | 28.67  | 47.00 | 31.00      | 0       | 0.00        |
| T2_A_B_C_D  | 13       | 37.72    | 13.028    | 16.00 | 39.00  | 58.33 | 42.33      | 0       | 0.00        |
| T2_E_A1     | 10       | 2.50     | 0.806     | 1.00  | 3.00   | 3.00  | 2.00       | 3       | 23.08       |
| T2_E_A2     | 9        | 2.11     | 0.737     | 1.00  | 2.00   | 3.00  | 2.00       | 4       | 30.77       |
| T2_E_A3     | 10       | 2.50     | 0.671     | 1.00  | 3.00   | 3.00  | 2.00       | 3       | 23.08       |
| T2_E_A4     | 10       | 2.10     | 0.943     | 1.00  | 2.50   | 3.00  | 2.00       | 3       | 23.08       |
| T2_A_d_e_f  | 13       | 44.13    | 16.342    | 33.00 | 45.16  | 67.74 | 67.74      | 0       | 0.00        |
| T2_AB_d_e   | 13       | 37.71    | 15.951    | 35.00 | 37.25  | 68.63 | 68.63      | 0       | 0.00        |
| T2_ErkW_ges | 13       | 27.03    | 11.269    | 13.51 | 24.32  | 51.35 | 37.84      | 0       | 0.00        |

Unter den Forschungsfragen ging es u.a. auch darum, Zusammenhänge zwischen dem Fachwissenserwerb (Erkenntnisgewinn) und der fachdidaktischen Verwertung und Anwendbarkeit des erworbenen Wissens herauszustellen. Der Fachwissenserwerb ist wiederum im Zusammenhang mit den englischsprachlichen und fachlichen Vorkenntnissen der Vpn zu sehen. Darüber hinaus mögen auch Außenkriterien wie die gewählten Lehramtsfächer, das Fachsemester und andere soziodemografische Faktoren eine Rolle spielen. Da die Vpn unterschiedlich viel Zeit aufgewandt haben, wurde auch der Zusammenhang zwischen der Zeit und den Ergebnissen am Ende der Bearbeitung der Aufgabenkomplexe analysiert. Es gibt allerdings keinen eindeutigen Zusammenhang (Tab. A 35, S. 545), sodass dieser Aspekt nicht näher betrachtet wird.

Aufgrund der kleinen Stichprobe lassen sich nur Tendenzen ableiten. Dazu werden zunächst Boxplot-Diagramme erstellt, über die mögliche Zusammenhänge zwischen den ausgewählten Kriterien sichtbar werden. Des Weiteren werden Korrelationskoeffizienten bestimmt, über die beurteilt werden kann, inwiefern Korrelationen bestehen und auf welchem Signifikanzniveau. Da die Daten nicht normalverteilt sind, werden sowohl Spear-

man's Rho ( $r$ ) als auch Kendall's Tau ( $\tau$ ) bestimmt. Beide Verfahren sind dafür geeignet, wobei sich Kendall's Tau auch für kleine Stichproben und Daten auszeichnet, bei denen viele Daten den gleichen Rang haben (vgl. Field 2009: 177–182). Die Korrelationswerte ( $r$  und  $\tau$ ) werden im Zusammenhang mit der Auswertung der Boxplot-Diagramme angegeben und diskutiert. Alle Korrelationswerte sind im Anhang in Tab. A 35 (S. 545) zusammengefasst. Signifikante Korrelationen sind darin farblich gekennzeichnet.

In Abb. 53 ist die Gegenüberstellung des erworbenen Wissens (Grad des fachlichen Tiefenverständnisses am Ende des vierten Aufgabenkomplexes [T2\_A\_B\_C\_D]) und der Ergebnisse zu den Erkenntniswegen abgebildet. Es zeichnet sich keine klare Tendenz zwischen dem Grad des fachlichen Tiefenverständnisses und des Umfangs in der Darstellung der Erkenntniswege ab ( $\tau = -0.056$ ,  $p = .407$ ,  $n = 11$ ;  $r = -0.018$ ,  $p = .479$ ,  $n = 11$ ). Das liegt sicherlich auch darin begründet, dass die Vpn die beschriebenen Lernschritte nur unzureichend inhaltlich untersetzt haben. Somit fallen Unterschiede in der inhaltlichen Durchdringung des Themas weniger ins Gewicht.

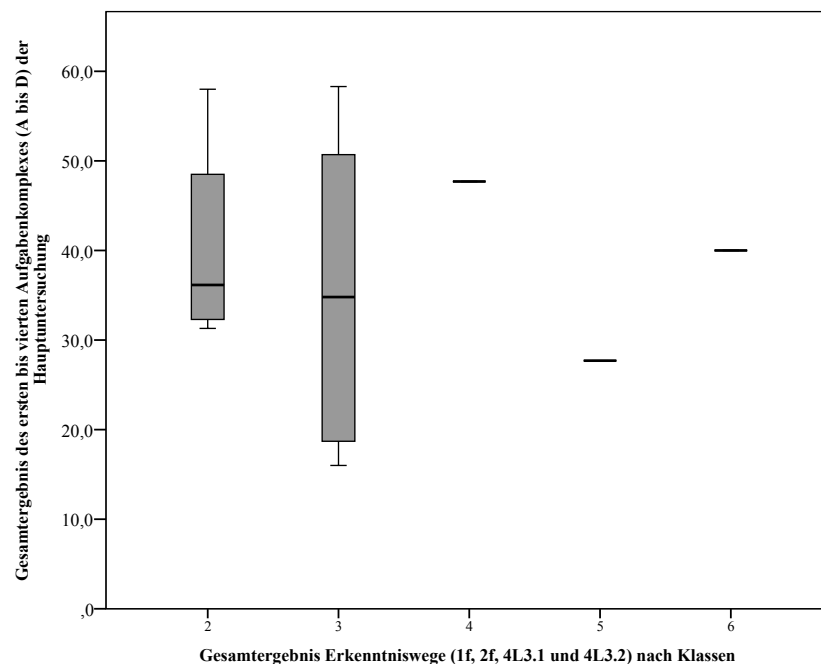


Abb. 53: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dessen fachdidaktische Verwertung bei den Erkenntniswegen

Zur Gegenüberstellung des erworbenen Wissens mit den Ergebnissen zu den Schülerfehlkonzepthen im Teil E mussten die Ergebnisse zu den einzelnen Schülerantworten (A1, A2, A3 und A4) zusammengefasst werden. Dazu wurden die Mittelwerte zu den ordinalskalierten Daten der Teilaufgaben T2\_E\_A1, T2\_E\_A2, T2\_E\_A3 und T2\_E\_A4 gebildet. Daraus resultiert das Gesamtergebnis des fünften Aufgabenkomplexes (T2\_ErkW\_Ges). Anschließend wurden die Mittelwerte in Klassen zusammengefasst (1 bis 1,5 = nicht erkannt; 1,75 bis 2 = teilweise erkannt; 2,5 bis 3 = vollständig erkannt). Die Vpn, die die Schülerfehlkonzepthe vollständig erkannt haben, erreichten auch in den Aufgaben zu den Inhaltsaspekten

der Chromatografie zwischen 40 % und 60 %. Demgegenüber liegen die Werte der Vpn, die die Schülerfehlkonzepte nicht erkannt haben, bei 30 % und weniger. Somit zeigt sich im Gegensatz zu den Erkenntniswegen, ein deutlicher Zusammenhang zwischen Grad des fachlichen Tiefenverständnisses am Ende des vierten Aufgabenkomplexes (T2\_A\_B\_C\_D) und dem Erkennen der von Schülerinnen und Schülern falsch oder unzureichend dargestellten Sachverhalte (s. Abb. 54). Dieser Sachverhalt wird auch durch die Korrelationskoeffizienten belegt ( $\tau=0.531$ ,  $p=.015$ ,  $n=11$ ;  $r=-0.661$ ,  $p=.013$ ,  $n=11$ ). Es besteht ein positiver Zusammenhang. D. h. je höher der Erkenntnisgewinn am Ende des vierten Aufgabenkomplexes ist, desto besser gelingt es den Vpn, die Schülerfehlkonzepte zu erkennen. Dies mag darin begründet liegen, dass bei der Analyse der Schülerfehlkonzepte Inhaltsaspekte detailliert zu betrachten und zu diskutieren waren.

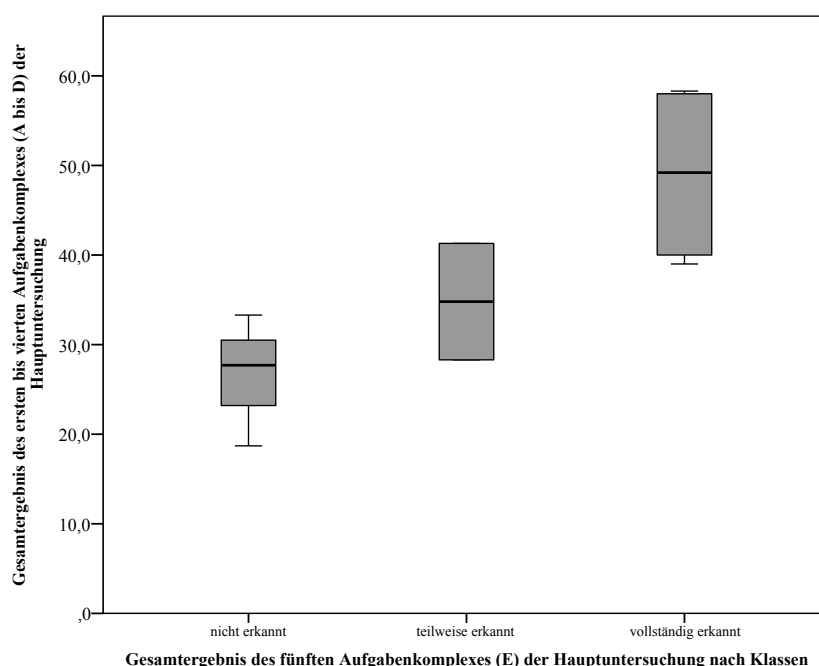


Abb. 54: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dessen Anwendung bei der Analyse der Schülerfehlkonzepte im Teil E

In den nächsten Kapiteln werden primär die Faktoren betrachtet, die den Fachwissenserwerb positiv wie negativ beeinflussen. Im letzten Teil (s. Kap. 13.5.4, S. 302) werden noch Außenkriterien diskutiert, die einen Einfluss auf die Ergebnisse in den fachdidaktisch orientierten Aufgaben zu den Erkenntniswegen gehabt haben können.

### 13.5.1 Einfluss der Englischvorkenntnisse auf den Fachwissenserwerb

Da für die Wissensaneignung englisches Textmaterial eingesetzt wurde, ist davon auszugehen, dass die Textrezeption für Vpn mit geringen Englischkenntnissen erschwert ist. Daher stellt sich die Frage, inwiefern die Unterschiede in den Englischkenntnissen (C-Test) der Vpn den Grad des erreichten Wissenserwerbs zur Chromatografie beeinflusst haben.

Abb. 55 zeigt, dass alle Vpn ausreichend gute Englischkenntnisse hatten, um sich die Inhalte des Fachtextes zu erschließen. In dieser Stichprobe gibt es eher einen negativen Zusammenhang, wobei der nicht signifikant ist ( $\tau = -0.22$ ,  $p = .174$ ,  $n = 11$ ;  $r = -0.26$ ,  $p = .22$ ,  $n = 11$ ).

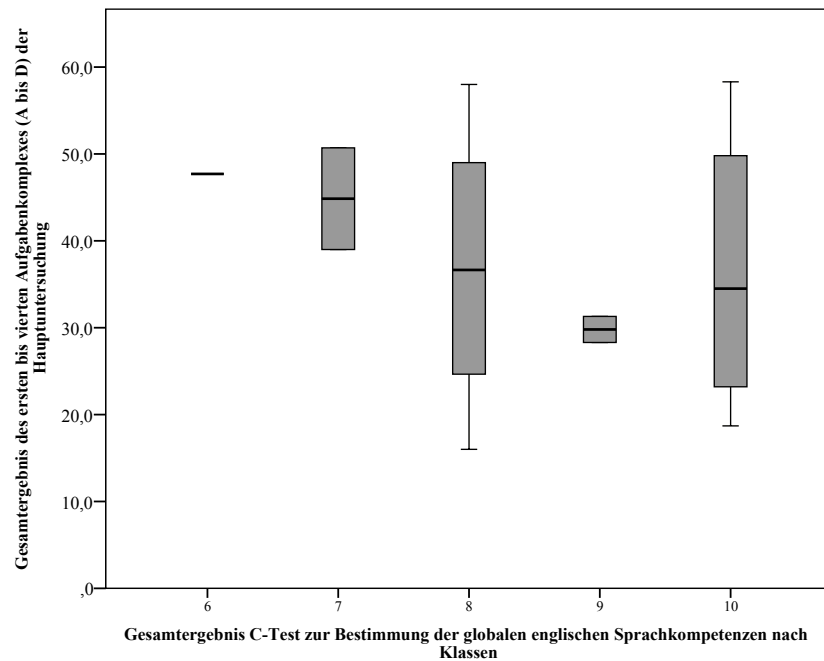


Abb. 55: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und den Englischvorkenntnissen

### 13.5.2 Einfluss der fachlichen Vorkenntnisse auf den Fachwissenserwerb

Ein weiterer Einflussfaktor sind die fachlichen Vorkenntnisse zur Thematik. Diese wurden zum einen durch den SC-Fachtest vor der Bearbeitung des ersten Aufgabenkomplexes (Teil A) und zum anderen durch die Ergebnisse zu den inhaltsorientierten Aufgaben im Teil A bestimmt. Die Mehrheit der Vpn hatte eher geringere Vorkenntnisse zur Thematik. Eine klare Tendenz ist aus Abb. 56 und Abb. 57 weniger ablesbar. Ein Indiz mag die eine Vp in Abb. 57 sein, die den höchsten Wert sowohl im Teil A als auch am Ende des Teils D erreicht hat. In dieser Stichprobe gibt es allerdings anhand der Korrelationskoeffizienten einen positiven Zusammenhang, wobei die Werte nur für den SC-Fachtest signifikant sind (Für T1\_SC  $\tau = 0.458$ ,  $p = .029$ ,  $n = 11$ ;  $r = 0.590$ ,  $p = .028$ ,  $n = 11$ ; für T2\_A  $\tau = 0.359$ ,  $p = .067$ ,  $n = 11$ ;  $r = 0.487$ ,  $p = .064$ ). Das Signifikanzniveau für die Korrelationskoeffizienten zu T2\_A ist allerdings nur geringfügig außerhalb des Signifikanzniveaus von .05.

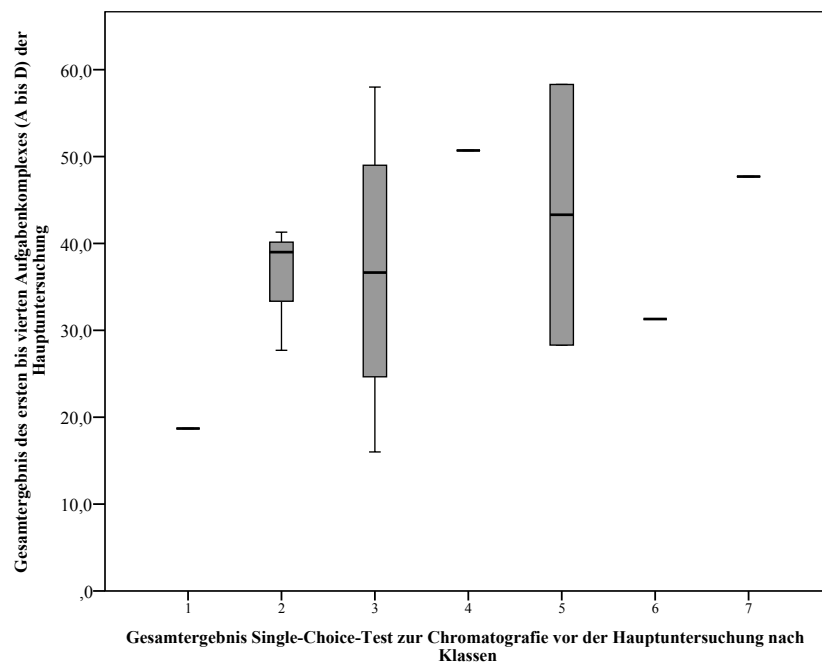


Abb. 56: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und den fachlichen Vorkenntnissen (T1\_SC)

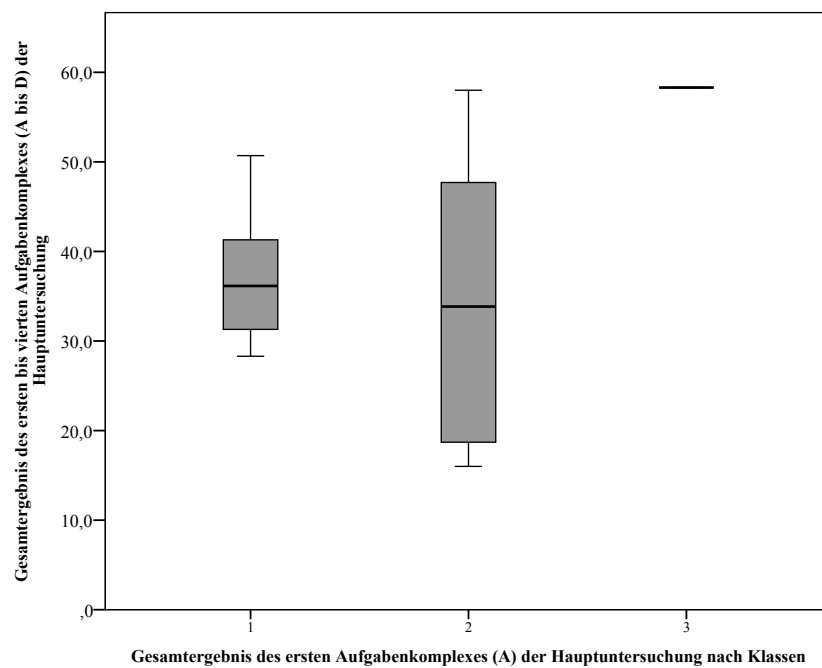


Abb. 57: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und den fachlichen Vorkenntnissen (T2\_A)



### 13.5.3 Unterschiede im Fachwissenserwerb in Bezug auf studiumsbezogene Faktoren

Tendenziell haben die Vpn mit Mathe, Chemie oder LPT als Erstfach besser abgeschnitten (s. Tab.58 und Tab.59). Die Vp mit dem höchsten Ergebnis im inhaltlichen Teil (T2\_A\_B\_C\_D) hat die Fächerkombination Chemie als Erstfach und Englisch als Zweitfach.

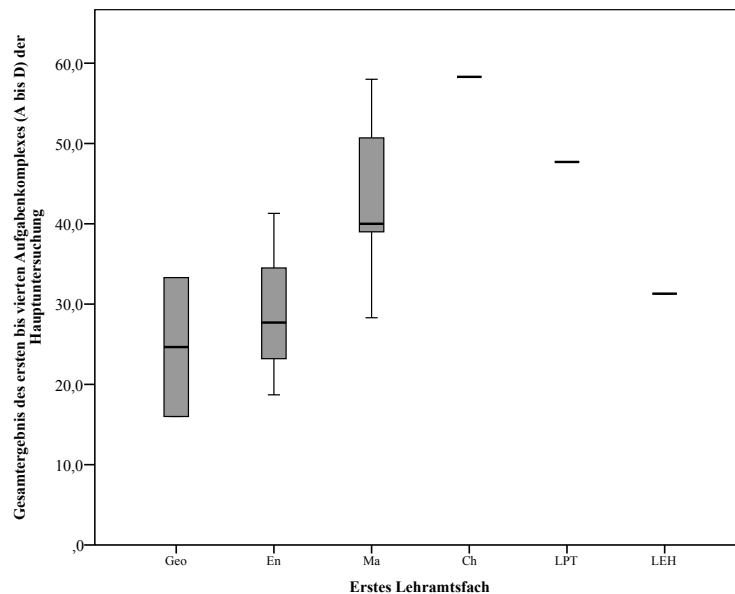


Abb. 58: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dem gewählten ersten Lehramtsfach (LA\_F1)

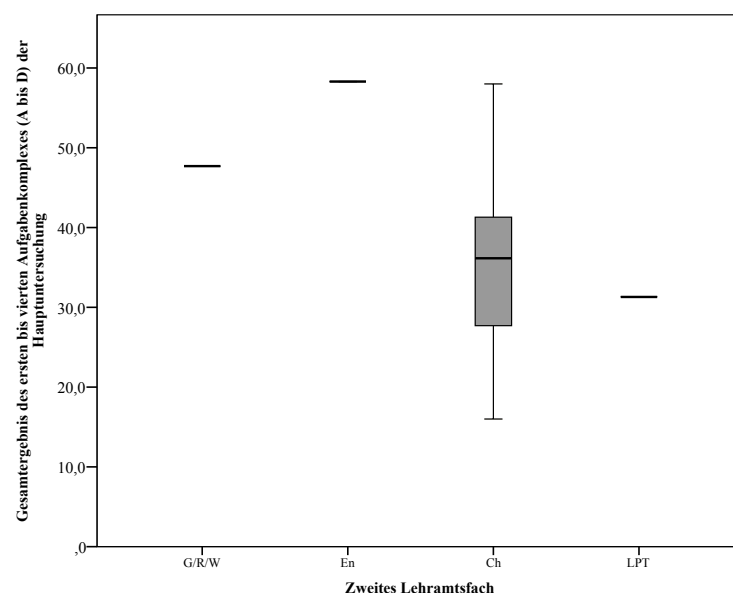


Abb. 59: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dem gewählten zweiten Lehramtsfach (LA\_F2)

Betrachtet man die Fachsemester der Vpn (s. Tab. 60 und Tab. 61) scheint es in dieser Stichprobe eine eher negative Korrelation zwischen den Fachsemestern und den erreichten Ergebnissen im Fachwissenserwerb zu geben, denn die Vpn des fünften Fachsemesters haben deutlich besser als die des siebten Fachsemesters abgeschnitten. Das zeigt, dass die Voraussetzungen der Vpn des fünften Fachsemesters deutlich besser waren als die der höheren Semester (mit Ausnahme der Vp des 10 Semesters).

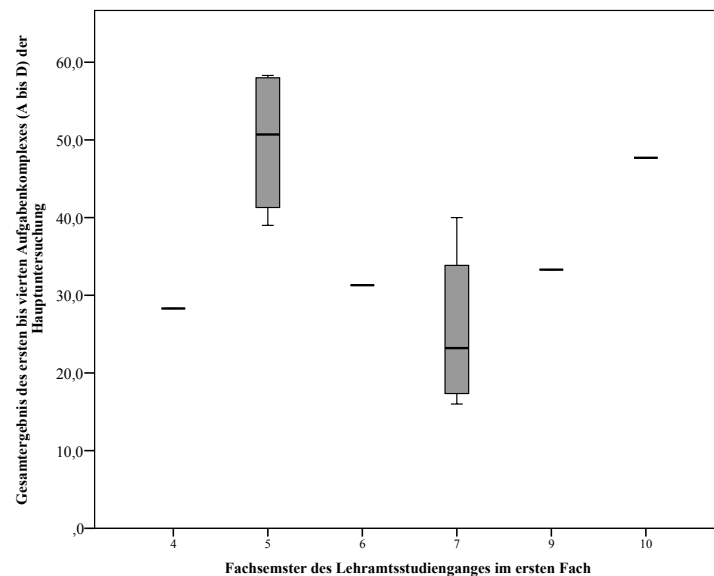


Abb. 60: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dem Fachsemester des gewählten ersten Lehramtsfaches (LA\_F1)

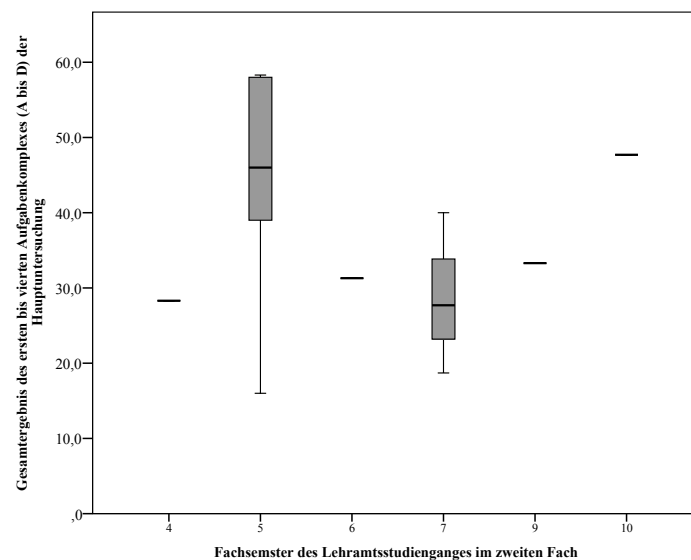


Abb. 61: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dem Fachsemester des gewählten zweiten Lehramtsfaches (LA\_F2)

### 13.5.4 Unterschiede bei den fachdidaktisch orientierten Aufgaben in Bezug auf studiumsbezogene Faktoren

Bei den Ergebnissen der fachdidaktisch orientierten Aufgaben zu Erkenntniswegen ist kein Unterschied zwischen den verschiedenen Lehramtsfächern erkennbar (s. Tab. 62 und Tab. 63). Vp02 und Vp03, die bereits im inhaltsorientierten Teil mit am besten abgeschlossen haben, zeichnen sich auch hier durch ein besonders gutes Ergebnis aus.

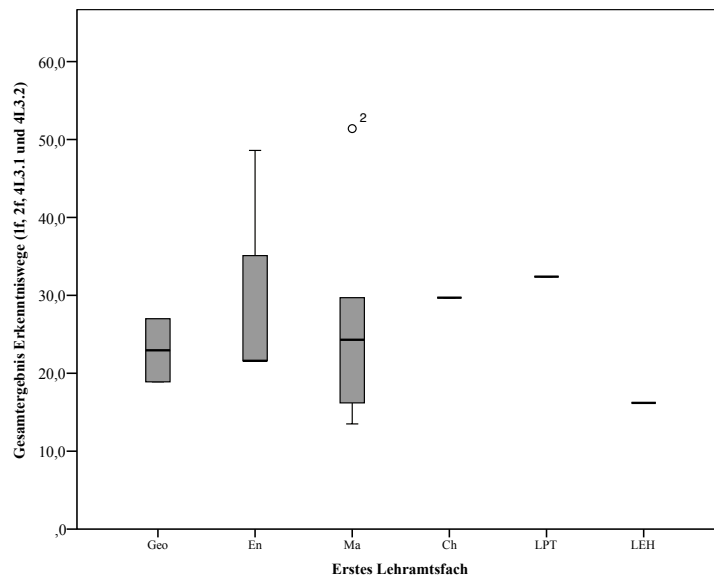


Abb. 62: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung Ergebnisse zu Erkenntniswegen und dem gewählten ersten Lehramtsfach (LA\_F1)

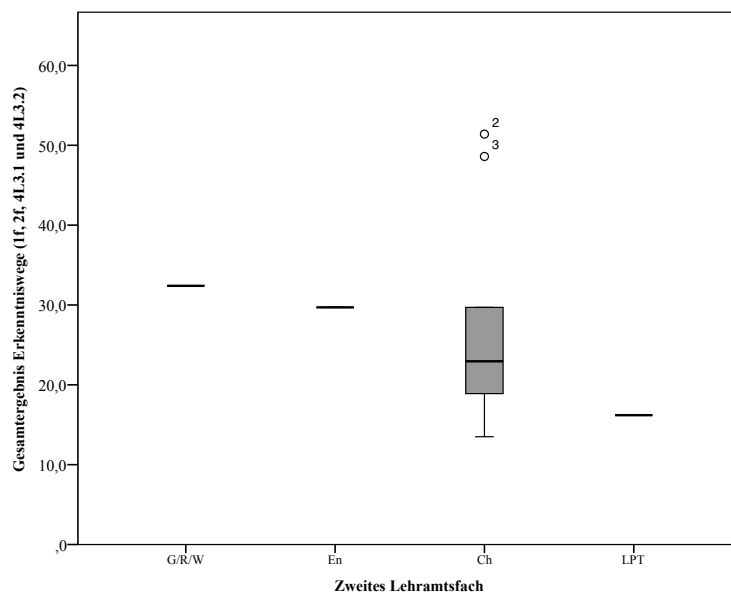


Abb. 63: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung Ergebnisse zu Erkenntniswegen und dem gewählten zweiten Lehramtsfach (LA\_F2)

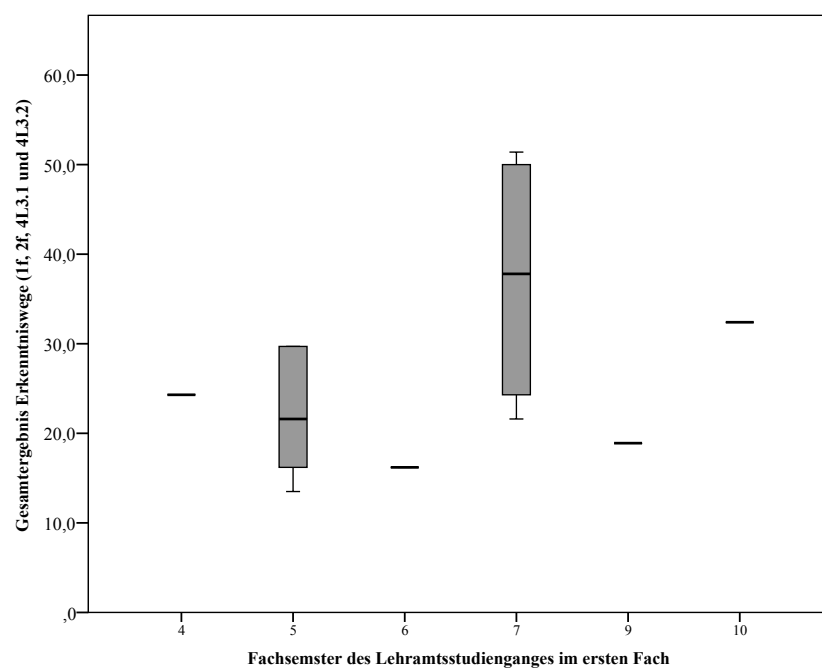


Abb. 64: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung der Ergebnisse zu Erkenntniswegen und dem Fachsemester des gewählten ersten Lehramtsfaches (LA\_F1)

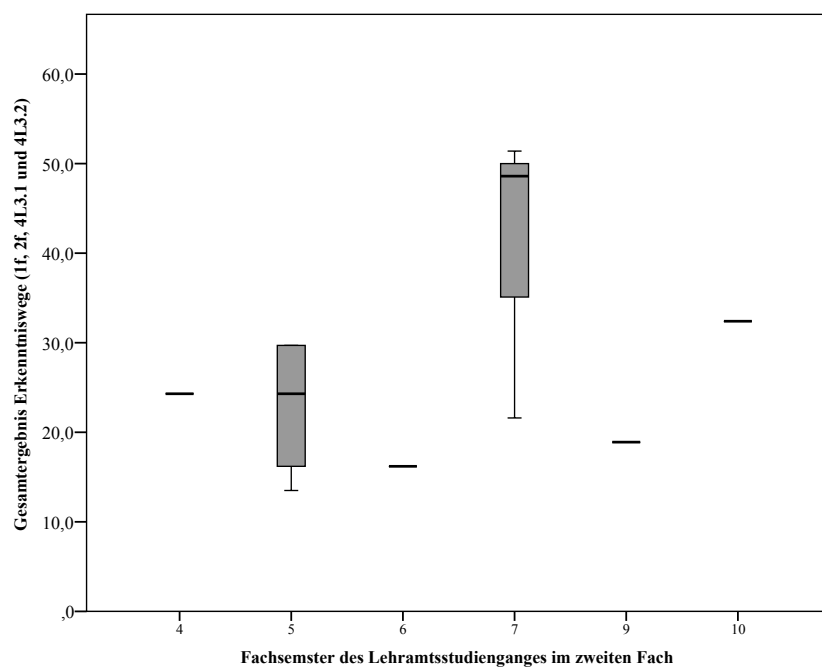


Abb. 65: Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung der Ergebnisse zu Erkenntniswegen und dem Fachsemester des gewählten zweiten Lehramtsfaches (LA\_F2)

Betrachtet man die Fachsemester der Vpn (s. Tab. 64 und Tab. 65) scheint es in dieser Stichprobe einen positiven Zusammenhang zwischen den Fachsemestern und den erreichten Ergebnissen zu den Erkenntniswegen zu geben, denn die Vpn des siebten Fachsemesters haben deutlich besser als die des fünften Fachsemesters abgeschnitten. Das zeigt, dass die Voraussetzungen der Vpn des siebten Fachsemesters für die fachdidaktisch orientierten Aufgaben deutlich besser waren als die Voraussetzungen der unteren Semester. Dies kann als Indiz dafür gewertet werden, dass sich der höhere Umfang an fachdidaktischen Lehrveranstaltungen auch positiv auf die Bewältigung der fachdidaktisch orientierten Aufgaben ausgewirkt hat, denn im fünften Fachsemester sind lediglich die ersten fachdidaktischen Grundlagenmodule gelaufen. Schulpraktische Übungen und Blockpraktikum B folgen erst im Anschluss daran. D. h. hier spiegelt sich der curriculare Aufbau des Studiums wider.

## 14 Fazit

Wie einleitend erläutert wurde, orientiert sich innovative Bildungsgestaltung an der Lebens- und Arbeitswelt. Das ist verbunden mit dem Anspruch, Kinder und Jugendliche so zu bilden, dass sie als Erwachsene an der Gesellschaft als mündige Bürger und kompetente Fachkräfte oder Akademiker teilhaben können. Grundlage für die Planung und Realisierung von Unterricht sind die Bildungsstandards, in denen diese Zielvorgaben abgebildet werden. Die schockierenden PISA-Ergebnisse haben auf der Grundlage von Forschungsergebnissen zur Untersuchung von Unterrichtsqualität zu einer Novellierung der Lehrpläne geführt. Damit sind von bildungspolitischer Seite wichtige Rahmenbedingungen geschaffen worden, die allerdings auch ein Umdenken in den Lehrgewohnheiten von Lehrkräften erfordern.

Ein wichtiges Fazit aus der COACTIV-Studie ist, das fachdidaktische Wissen in der Lehramtsausbildung auf die Kompetenzen auszurichten, die zur Erfüllung der Bildungsstandards erforderlich sind, sodass in der späteren Berufspraxis mehr Aufgaben gestellt werden, „in denen es um Modellieren und um Argumentieren geht, auf allen Anforderungsniveaus“ (Blum/Krauss/Neubrand 2011:339).

Unterrichtsqualität zeichnet sich im Wesentlichen durch die kognitive Aktivierung der Lernenden aus, indem für Lernende Lernanlässe geschaffen werden, über die ihnen eine aktive Auseinandersetzung mit den Inhalten ermöglicht wird. Unterricht mit diesem Anspruch zu konzipieren, erfordert von Lehrenden eine tiefgründige Auseinandersetzung mit den Fachinhalten, um sachlogische Bezüge herauszustellen, die dann für die Inszenierung von Erkenntniswegen im Unterricht zugrunde gelegt werden können (vgl. Hartmann/Niethammer 2015:35–53; Düwel/Niethammer 2017:420). Wesentlich bei der Planung und Realisierung von Lehr- und Lernprozessen sind somit die Inhalts- und Methodenauswahl. „Aus der Perspektive der Lehrerbildung stellt sich die Frage, wie Studierende hierzu befähigt werden können, und zwar unter der Maßgabe, dass sie Unterricht so gestalten, dass Lernende in ihren Denkprozessen aktiviert werden“ (ebd.: 420).

Lehramtsstudierende in den Fächern Chemie und Labor- und Prozesstechnik haben häufig Probleme, Erkenntniswege aus der sachlogischen Struktur der Inhalte abzuleiten, was in einer unzureichenden Durchdringung der Fachinhalte begründet liegt (vgl. ebd.). Die Ergebnisse der Lehrbuchtextanalysen, in denen gezeigt werden konnte, dass englische Lehrbuchtexte Begründungszusammenhänge auf eine Art und Weise liefern, wie sie für die Inszenierung von Lernanlässen für Schülerinnen und Schüler benötigt werden, waren Anlass dafür, die hochschuldidaktische Einbindung englischer Textquellen zu untersuchen.

In der vorliegenden Arbeit wurden somit in Anknüpfung an vorausgehende Untersuchungen zu Lehrbuchtexten Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten in den Blick genommen. Auf der Ebene der Wissensquellen (hier Lehrbuchtexte) konnte an drei Beispielen zu den Themen Wasser unter dem Stoffaspekt (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck), Erdölraffination unter dem Verfahrensaspekt (vgl. Düwel 2019) und Chromatografie unter dem Verfahrens- und Analysenaspekt (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019) gezeigt werden, dass die englischen Lehrbuchtexte gegenüber den deutschen weniger lückenhaft in ihren Argumentationslinien sind und damit die aus berufs- bzw. fachdidakti-

scher Sicht herausgestellten Gütekriterien in besonderer Weise erfüllen. Auf der Ebene der Inhaltsanalyse und Inhaltsaufbereitung durch Lehramtsstudierende erfolgte die Untersuchung der Verstehensprozesse von Lehramtsstudierenden der Fächer Chemie und Labor- und Prozesstechnik.

Die Untersuchung auf der Ebene der Inhaltsanalyse und -aufbereitung durch Lehramtsstudierende zielte darauf ab, die Stufen der Erkenntnisgewinnung, die Studierende bei der Erschließung der inhaltlichen Zusammenhänge eines komplexen Themas (hier: zur dünn-schichtchromatografischen Trennung eines lipophilen Farbstoffgemisches) unter Nutzung englischen Fachtextmaterials durchlaufen, zu erfassen. Dazu wurde ein hochschuldidaktisches Lehr-Lernkonzept zur Einbindung des englischen Textmaterials entwickelt, durch das die Versuchspersonen in ihrem Verstehensprozess und der fachdidaktischen Verwertung ihres neu erworbenen Wissens geleitet wurden. Im Zentrum des Lehr-Lernkonzeptes stand eine Fallsituation, in der alle Rahmenbedingungen für die zu erarbeitenden inhaltlichen und konzeptionellen Aspekte einer zu planenden Vertretungsstunde vorgegeben waren.

Zur Operationalisierung der Forschungsfragen wurde ein „Embedded Mixed Methods-Ansatz“ gewählt, bei dem in die qualitative Studie (QUAL) mit dem Lehr-Lernkonzept, eine quantitative Teilstudie (quant) eingebettet war, um die Faktoren zu erfassen, die einen Einfluss darauf haben, wie gut die Versuchspersonen, die gestellten Aufgaben in dem Lehr-Lernkonzept bewältigen. Somit wurden im quantitativen Teil des Untersuchungsdesigns die personenbezogenen Merkmale wie soziodemografische Faktoren (Fragebogen), englischsprachliche (C-Test) und fachliche Vorkenntnisse (Single-Choice-Fachtest) sowie die Motivation (Fragebogen) der Versuchspersonen (Vpn) vor, während und/oder nach der Bearbeitung der Aufgabenkomplexe im Lehr-Lernkonzept erhoben.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Englischkenntnisse der Versuchspersonen (die alle im fortgeschrittenen Bereich und höher liegen) weniger eine Barriere bei der Erschließung der Fachinhalte darstellen als die fachlichen Voraussetzungen. Allein die Auseinandersetzung mit dem englischen Textmaterial bringt bei den meisten Versuchspersonen bereits einen Erkenntnisgewinn. Dieser Erkenntnisgewinn war bei den Versuchspersonen am größten, die bereits bessere fachliche Vorkenntnisse zur Thematik hatten. Die bessere Untersetzung der Begründungszusammenhänge erfolgte allerdings erst durch die im Lehr-Lernkonzept integrierten Leitfragen. Das zeigt, dass die relevanten Textpassagen nur z. T. von den Versuchspersonen eigenständig erkannt wurden. Die Zunahme im fachlichen Tiefenverständnis zur Thematik wirkte sich auch auf die fachdidaktische Verwertung und Anwendung des erworbenen Wissens aus. Erkenntniswege wurden besser untersetzt und Schülerfehlkonzepte erkannt. Diese Tatsache lässt den Schluss zu, dass nicht nur in der schulischen, sondern auch in der fachdidaktischen Ausbildung zukünftiger Lehrkräfte aktivierende Lehrkonzepte eine wichtige Voraussetzung für die Tiefenauseinandersetzung mit Fachinhalten sind (vgl. Düwel/Niethammer 2017: 423).

Aufgrund der Tatsache, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieser Studie größtenteils die Inhalte des englischen Textmaterials erschließen konnten, würde dem Einsatz englischer Textquellen in Ergänzung zu den deutschen nichts entgegenstehen. Im Gegenteil, englische Textquellen könnten Studierenden durch die bereits gegebene didaktische

Linienführung einen anderen Zugang zur Lernwegsgestaltung für den Unterricht ermöglichen und langfristig den Fachdiskurs im deutschen Sprachraum bereichern (vgl. ebd.: 423). Natürlich muss der Tatsache Rechnung getragen werden, dass die Ersterarbeitung fachlicher Sachverhalte in der Fremdsprache Englisch zeitaufwendiger sind und die adäquate Translation der Begründungszusammenhänge ins Deutsche auch Schwierigkeiten bereiten. Eine adäquate Translation setzt voraus, mit der deutschen Fachterminologie vertraut zu sein. In den Texten der Vpn kam es vor, dass aus dem englischen Ausgangstext ins Deutsche übertragene Inhalte dem englischen Satzbau folgten oder vereinzelt Fachtermini nicht adäquat übersetzt wurden. Somit müssten beim Einsatz englischer Fachtexte auch immer korrespondierende deutsche Textquellen berücksichtigt werden, an denen die englischen Formulierungen gespiegelt werden können.

Grundsätzlich sind, wie bereits von Düwel/Niethammer (ebd.: 423) konstatiert, mit der Einbeziehung englischen Quellenmaterials positive Begleiterscheinungen zu erwarten. Dazu zählen die stärkere kognitive Verarbeitung der Inhalte durch die Auseinandersetzung in der Fremdsprache sowie die Förderung des englischen Spracherwerbs (vgl. Rüschhoff/Sudhoff/Wolff 2015), was auch vor dem Hintergrund zunehmender Internationalisierung Lehramtsstudierende der Sachfächer auf die Umsetzung bilingualer Lernszenarien vorbereitet. Auch deuten die neueren Entwicklungen in der Schreibprozessforschung zur Literalitätsförderung (Göpferich 2015) auf eine stärkere Integration sprachlicher Aspekte in die Ausbildung im Fach hin. „Somit ist nicht nur aus sprachdidaktischer Sicht ein *content integrated language learning (CLIL)* zu denken, sondern auch aus fachdidaktischer Sicht ein *language integrated content learning (LICL)*.“ (Düwel/Niethammer 2017: 423)





## 15 Ausblick

Befunde der letzten 20 Jahre zur Unterrichtsqualität, die ausführlich in Kap. 2 (S. 5–XX) dargelegt wurden, belegen die Bedeutung des Fachwissens und des fachdidaktischen Wissens für das Lehrerhandeln und die damit verbundene Unterrichtsqualität. Aus hochschuldidaktischer Sicht ist es ein Anliegen, für Lehramtsstudierende Lerngelegenheiten zu schaffen, durch die eine bessere Verknüpfung zwischen fachlichem und fachdidaktischem Wissen erreicht werden kann (vgl. Lorentzen et al. 2018; Lorentzen et al. 2019). Dies ist besonders vor dem Hintergrund der Organisation des Lehramtsstudiums bedeutsam, da die fachliche und fachdidaktische Ausbildung im Lehramtsstudium getrennt abgebildet werden.

Das hochschuldidaktische Lehr-Lernkonzept in dieser Arbeit entspricht im Ansatz dem Prinzip des 4C/ID-Modells (s. Kap. 6.4.3, S. 60 und Kap. 11.5, S. 152) und ließe sich in adaptierter Form in die hochschuldidaktische Lehre einbinden. In der Grundkonzeption ist es auf die Inhaltsanalyse und -aufbereitung für den Unterricht ausgelegt. Weiterführend könnten die Aufgaben zur fachdidaktischen Verwertung des erworbenen Wissens ausgebaut werden. Das betrifft im Besonderen die Erkenntniswege. Um kognitiv aktivierenden Unterricht zu gestalten, bedarf es einem tiefgründigen Verständnis des dynamischen Zusammenwirkens von Abduktion, Deduktion und Induktion. Lehramtsstudierende zu befähigen, Lernenden verschiedene Wege der Erkenntnisgewinnung zu ermöglichen, erfordert Lehr-Lern-Settings, über die sie Aufgabenstellungen anhand von lebens- bzw. arbeitsweltbezogenen Problemstellungen (Lerngelegenheiten) entwickeln, die unter Berücksichtigung der Lernvoraussetzungen Lernende im Lösungsprozess leiten. Dazu konnten in dieser Arbeit viele Varianten zur Erarbeitung fachlicher Zusammenhänge zur Chromatografie sowie zur Nachbereitung von Unterrichtseinheiten zur Behebung von Schülerfehlkonzepten aufgezeigt werden, die in die hochschuldidaktische Lehre einfließen können.

Des Weiteren ist der methodische Ansatz zur Analyse der Argumentationslinien in Texten vielfältig anwendbar. Die sachlogische Strukturierung, die diesem Ansatz zugrunde liegt, ist nicht nur für die strukturierte Inhaltsanalyse von Textquellen, sondern auch für die Vervollständigung der durch die Texte nicht gelieferten Zusammenhänge ein nützliches Instrument (vgl. Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019).

„Auf der Grundlage der aus dem Experten-Concept-Map gewonnenen Propositionen, die nach den Aspekten der sachlogischen Strukturierung geordnet wurden, lassen sich Lehrtexte für den Unterricht verfassen und Aufgabenstellungen entwickeln, die insbesondere auf die Sachverhalte/Begründungszusammenhänge ausgerichtet sind, die in den fachwissenschaftlichen Lehrbuchtexten ausgelassen wurden. Darüber hinaus ist das Experten-Concept Map der Bezugspunkt für die Interpretation und Bewertung von Schülerantworten einschließlich der daraus erkennbaren Fehlvorstellungen.“ (ebd.)

Für ein Kategoriensystem, in dem Propositionen aus einem Experten-Concept Map nach den Aspekten der sachlogischen Strukturierung geordnet sind, wären auch noch weitere Anwendungskontexte vorstellbar:

- Erstellung von Erwartungsbildern für Aufgaben in Leistungskontrollen; damit könnte Lernenden gut nachvollziehbar dargestellt werden, welche Lücken ihre Ausführungen aufweisen
- Veranschaulichung der Wissens-/Erkenntnisprogression; könnte für Lernende hilfreich sein, um zu erkennen, an welchen Inhalte sie arbeiten müssen
- Textmaterial, das zur Erarbeitung eines bestimmten Sachverhaltes dienen soll, überprüfen, ob Propositionen enthalten sind, die notwendig sind, um den Sachverhalt zu verstehen; hilft bei der Textauswahl, -zusammenstellung und -optimierung
- Aufbauen von Argumentationslinien aus Propositionen des Kategoriensystems zur Erklärung eines Sachverhaltes

Abschließend betrachtet sind die Befunde der Lehrbuchanalysen ein Signal für die zukünftige Gestaltung von Lehrbüchern, insbesondere derjenigen, die im Schulkontext genutzt werden. Hier wäre es wünschenswert, dass Lehrbuchtexte noch besser nach den aus berufs- und fachdidaktischer Sicht herausgestellten Gütekriterien erstellt und redigiert werden.

## Literaturverzeichnis

- Anselm, Sabine/Werani, Anke (2017): Kommunikation in Lehr-Lernkontexten: Analyse, Reflexion, Training personaler Sprechstile, 1. Aufl., Bad Heilbrunn: Klinkhardt (UTB).
- Artelt, Cordula/Baumert, Jürgen/Klieme, Eckhard/Neubrand, Michael et al. (Hrsg.) (2001): PISA 2000. Zusammenfassung zentraler Befunde, [online] [https://www.pisa.tum.de/fileadmin/w00bgi/www/Berichtsbaende\\_und\\_Zusammenfassungen/Zusammenfassung\\_PISA\\_2000](https://www.pisa.tum.de/fileadmin/w00bgi/www/Berichtsbaende_und_Zusammenfassungen/Zusammenfassung_PISA_2000) [16.10.2019].
- Bartels, Hauke/Geelan, David/Kulgemeyer, Christoph (2019): Developing an approach to the performance-oriented testing of science teachers' action-related competencies, in: International Journal of Science Education, Jg. 41, Nr. 14, S. 2024-2048.
- Baschong, Werner/Hüglin, D/Maier, T/Kulik, E (1999): Influence of N-derivatization of chitosan to its cosmetic activities, in: SÖFW-Journal, Jg. 125, Nr. 8, S. 22-24.
- Baumert, Jürgen/Kunter, Mareike (2006): Stichwort. Professionelle Kompetenz von Lehrkräften, in: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Jg. 9, Nr. 4, S. 469-520.
- Baumert, Jürgen/Kunter, Mareike (2011): Das mathematikspezifische Wissen von Lehrkräften, kognitive Aktivierung im Unterricht und Lernfortschritte von Schülerinnen und Schülern, in: Mareike Kunter/Jürgen Baumert/Werner Blum/Uta Klusmann et al. (Hrsg.), Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV, Münster [u.a.]: Waxmann, S. 163-192.
- Beckermann, Ansgar (2003): Einführung in die Logik, 2. Aufl., Berlin: De Gruyter.
- Beier, Rudolf (1977): Untersuchungen an amerikanischen und britischen Fachtexten der Chemie: Analyse finiter Verbformen unter besonderer Berücksichtigung der Konstruktionen des Typs *be + Perfekt-Partizip*, 1. Aufl., Frankfurt a. M.: Peter Lang.
- Bernholt, Sascha (2010): Kompetenzmodellierung in der Chemie. Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität, Dissertation, Berlin: Logos.
- Blömeke, Sigrid/Kaiser, Gabriele/Lehmann, Rainer (Hrsg.) (2008): Professionelle Kompetenz angehender Lehrerinnen und Lehrer. Wissen, Überzeugungen und Lerngelegenheiten deutscher Mathematikstudierender und -referendare. Erste Ergebnisse zur Wirksamkeit der Lehrerausbildung, Münster [u. a.]: Waxmann.
- Blömeke, Sigrid/Kaiser, Gabriele/Lehmann, Rainer (Hrsg.) (2010): TEDS-M 2008. Professionelle Kompetenz und Lerngelegenheiten angehender Primarstufenlehrkräfte im internationalen Vergleich, Münster [u. a.]: Waxmann.
- Blömeke, Sigrid/Risse, Jana/Müller, Christiane/Eichler, Dana et al. (2006): Analyse der Qualität von Aufgaben aus didaktischer und fachlicher Sicht. Ein allgemeines Modell und seine exemplarische Umsetzung im Unterrichtsfach Mathematik, in: Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung, Jg. 34, S. 330-357.

- Blömeke, Sigrid/Suhl, Ute/Kaiser, Gabriele/Felbrich, Anja et al. (2010): Lerngelegenheiten und Kompetenzerwerb angehender Mathematiklehrkräfte im internationalen Vergleich, in: Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung, Jg. 38, Nr. 1, S. 29-50.
- Blum, Werner/Krauss, Stefan/Neubrand, Michael (2011): COACTIV - Ein mathematikdidaktisches Projekt, in: Mareike Kunter/Jürgen Baumert/Werner Blum/Uta Klusmann et al. (Hrsg.), Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV, Münster [u.a.]: Waxmann, S. 329-343.
- Borowski, Andreas/Kirschner, Sophie/Liedtke, Stephanie/Fischer, Hans E. (2011): Vergleich des Fachwissens von Studierenden, Referendaren und Lehrenden in der Physik, in: Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, Jg. 10, Nr. 1, S. 1-9.
- Bortz, Jürgen/Döring, Nicola (2006): Forschungsmethoden und Evaluation. Für Human- und Sozialwissenschaftler, 4. überarb. Aufl., Heidelberg: Springer.
- Brady, James E./Humiston, Gerard E. (1986): General chemistry. Principles and structure, 4. Aufl., New York: Wiley.
- Brand, Iain/Grime, Richard (2002): Chemistry. 11-14, Aufl., Harlow: Pearson Education.
- Bromme, Rainer (1992): Der Lehrer als Experte. Zur Psychologie des professionellen Wissens, 1. Aufl., Bern [u. a.]: Huber.
- Bromme, Rainer (1995): Was ist „pedagogical content knowledge“. Kritische Anmerkungen zu einem fruchtbaren Forschungsprogramm, in: Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft, Jg. 33, S. 105-113.
- Bromme, Rainer/Prenzel, Manfred/Jäger, Michael (2014): Empirische Bildungsforschung und evidenzbasierte Bildungspolitik, in: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Jg. 17, Nr. 4, S. 3-54.
- Brouër, Birgit/Zoyke, Andrea Burda/Kilian, Jörg/Petersen, Inger (Hrsg.) (2018): Vernetzung in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung: Ansätze, Methoden und erste Befunde aus dem LeaP-Projekt an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Münster: Waxmann.
- Brunner, Martin/Anders, Yvonne/Hachfeld, Axinja/Krauss, Stefan (2011): Diagnostische Fähigkeiten von Mathematiklehrkräften, in: Mareike Kunter/Jürgen Baumert/Werner Blum/Uta Klusmann et al. (Hrsg.), Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV, Münster [u.a.]: Waxmann, S. 215-234.
- Bühner, Markus (2011): Einführung in die Test-und Fragebogenkonstruktion, 3. Aufl., München: Pearson.
- Bylinski, Ursula (2016): Gestaltung individueller Entwicklungsprozesse und inklusiver Lernsettings in der beruflichen Bildung, bwp(at) Nr. 30, [online] [http://www.bwpat.de/ausgabe30/bylinski\\_bwpat30.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe30/bylinski_bwpat30.pdf) [30.06.2016].
- Cammann, Karl (Hrsg.) (2001): Instrumentelle Analytische Chemie. Verfahren, Anwendungen, Qualitätssicherung, GA, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

- Chafe, Wallace L. (1994): Discourse, consciousness, and time. The flow and displacement of conscious experience in speaking and writing, Aufl., Chicago [u.a.]: University of Chicago Press.
- Christen, Hans Rudolf (1985): Grundlagen der Allgemeinen und Anorganischen Chemie, 8. Aufl., Frankfurt a. M.: Salle & Sauerländer.
- Clyne, Michael (1987): Cultural differences in the organization of academic texts, in: Journal of Pragmatics, Jg. 11, Nr. S. 211-241.
- Clyne, Michael (1991): The Sociocultural Dimension: The Dilemma of the German-speaking Scholar, in: Hartmut Schröder (Hrsg.), Subject oriented texts, Berlin [u.a.]: de Gruyter, S. 49-67.
- CmapTools. A Knowledge Modeling and Sharing Environment, A. J. Cañas, G. Hill, R. Carff, N. Suri, J. Lott, G. Gómez, T. Eskridge, M. Arroyo, R. Carvajal. In Concept Maps: Theory, Methodology, Technology, Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping, Pamplona, Spain (September 14-17, 2004), Editorial Universidad Pública de Navarra.
- Creswell, John W. (2013): Research Design. Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches, 4. Aufl., Los Angeles: Sage.
- Crystal, David (1995): The Cambridge Encyclopedia of the English Language, 1. Aufl., Cambridge University Press.
- Csapó, Benő (2010): Goals of Learning and the Organization of Knowledge, in: Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft, Jg. 56, S. 12-27.
- Dollny, Sabrina (2011): Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehrkräften, Dissertation, Berlin: Logos.
- Döring, Nicola/Bortz, Jürgen (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften, Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Dörner, Dietrich (1974): Die kognitive Organisation beim Problemlösen. Versuche zu einer kybernetischen Theorie der elementaren Informationsverarbeitungsprozesse beim Denken, 1. Aufl., Bern: Huber.
- Dudenverlag, Bibliographisches Institut GmbH Stichwort: Syllogismus, [online] <https://www.duden.de> [22.07.2020].
- Düwel, Frauke (2003): Gestaltung chemiebezogenen Englischunterrichts. Ein didaktisch-methodischer Ansatz, in: Klaus Drechsel/Peter Storz/Gisela Wiesner (Hrsg.), Berufswissenschaftliche Forschung zur Verbundausbildung für Hochtechnologieberufe, Dresden: wbw, S. 1-109.
- Düwel, Frauke (2018a): Anwendung von Concept Maps als ergänzende Lernstrategie im fachbezogenen Englischunterricht, in: Bärbel Fürstenau (Hrsg.), Concept Mapping. Trainings- und Instruktionsbeispiele, Dresden: TU Dresden, S. 37-54.

- Düwel, Frauke (2018b): Developing a code system with MAXQDA based on an expert's concept map to determine the increase in knowledge of test persons using English textbook texts throughout their task-based elaboration process, [online] [https://conference.maxqda.com/wp/wp-content/uploads/sites/2/2018/02/MQIC\\_Post-rA0\\_2018\\_Duewel\\_V3.pdf](https://conference.maxqda.com/wp/wp-content/uploads/sites/2/2018/02/MQIC_Post-rA0_2018_Duewel_V3.pdf) [09.03.2016].
- Düwel, Frauke (2019): Analyse und Beurteilung von Lehrbuchtexten aus fachdidaktischer Sicht, in: Berufsbildung. Zeitschrift für Theorie-Praxis-Dialog, Jg. 73, Nr. 177, S. 23-26.
- Düwel, Frauke (2020): Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten. Potenziale englischer Fachtexte zur Chromatografie und deren hochschuldidaktische Einbindung, Dissertation, Dresden: Technische Universität Dresden.
- Düwel, Frauke/Eichhorn, Sigrun/Niethammer, Manuela (2019): Entwicklung berufsdidaktischer Kompetenzen. Konzeptioneller Ansatz zur Vernetzung von Disziplinwissen und berufsdidaktischem Wissen, bwp(at) Nr. 37, [online] [http://www.bwpat.de/ausgabe37/duewel\\_etal\\_bwpat37.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe37/duewel_etal_bwpat37.pdf) [18.12.2019].
- Düwel, Frauke/Eichhorn, Sigrun/Niethammer, Manuela (im Druck): Fachdidaktische Einsatzfelder von Concept Maps im Bereich Chemie, in: Bärbel Fürstenau/Jeannine Ryssel (Hrsg.), Concept Mapping als Lern- und Lehrstrategie einsetzen. Theoretische Grundlagen und Anwendungsbeispiele, Leverkusen: Budrich,
- Düwel, Frauke/Hillegeist, Annika/Niethammer, Manuela (2022): Qualität beruflicher Lernaufgaben. Implikationen für die fachliche und berufs-/fachdidaktische Professionalisierung von Lehrkräften, in: Sebastian Anselmann/Uwe Faßbauer/Hannes Nepper/Lars Windelband (Hrsg.), Berufliche Arbeit und Berufsbildung zwischen Kontinuität und Innovation. Konferenzband zur 21. Tagung der Gewerblichen-Technischen Wissenschaften und ihren Didaktiken (GTW), Bielefeld: wbv, S. 75-92.
- Düwel, Frauke/Niethammer, Manuela (2023): Güte von Argumentationslinien in Unterrichtskonzepten im Fach Chemie, in: Helena Van Vorst (Hrsg.), Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Aachen 2022, Aachen, S. 222-225, [online] [https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2023/07/Tagungsband\\_2023\\_korrigiert.pdf](https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2023/07/Tagungsband_2023_korrigiert.pdf)
- Düwel, Frauke/Niethammer, Manuela (im Druck): Entwicklung eines didaktisch induzierten Ansatzes zur Erfassung der inhaltlichen Kohärenz von Fachwissenschaft und Fachdidaktik, in: Antje Wehner/Nicole Masanek/Katharina Hellmann/Finja Grospietsch et al. (Hrsg.), Vernetzung von Wissen bei Lehramtsstudierenden. Eine Black-Box für die Professionalisierungsforschung, Klinkhardt.
- Düwel, Frauke/Niethammer, Manuela/Eichhorn, Sigrun (2023): Modellierungsansatz zur Analyse der Sequenzierung von Aussagen in Texten, [www.bwpat.de/profil-8\\_fuerstenau](http://www.bwpat.de/profil-8_fuerstenau), [online] [http://www.bwpat.de/ausgabe37/duewel\\_etal\\_bwpat37.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe37/duewel_etal_bwpat37.pdf) [14.09.2023].

- Düwel, Frauke/Niethammer, Manuela (2017): Verstehensprozesse bei Lehramtsstudierenden im Fach Chemie initiieren, in: Christian Maurer (Hrsg.), Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Zürich 2016, Münster: LIT, S. 420-423.
- Eichhorn, Sigrun (2006): Facharbeit als Innovationsfaktor. Dargestellt am Beispiel chemiebezogener Laborarbeit im werkstoffbezogenen Forschungssektor, Dissertation, Dresden: TU Dresden.
- Enzelberger, Sabina (2001): Sozialgeschichte des Lehrerberufs. Gesellschaftliche Stellung und Professionalisierung von Lehrerinnen und Lehrern von den Anfängen bis zur Gegenwart (Grundlagentexte Pädagogik), 1. Aufl., Beltz Juventa.
- Erduran, Sibel/Ozdem, Yasemin/Park, Jee-Young (2015): Research trends on argumentation in science education. A journal content analysis from 1998–2014, in: IJ STEM Ed, Jg. 2, Nr. 1, S. 379.
- Ernst, Christine/Wehser, Adria (Hrsg.) (2006): Chemie. Klasse 9, Berlin: Duden Paetec.
- Field, Andy (2009): Discovering Statistics Using SPSS. Introducing Statistical Methods, 3. Aufl., Los Angeles: Sage.
- Fischler, Helmut/Peuckert, Jochen (2000): Concept Mapping in Forschungszusammenhängen, in: Helmut Fischler/Jochen Peuckert (Hrsg.), Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Chemie und Physik, Berlin: Logos, S. 1-22.
- Fluck, Hans-Rüdiger (1997): Fachdeutsch in Naturwissenschaft und Technik. Einführung in die Fachsprachen und die Didaktik/Methodik des fachorientierten Fremdsprachenunterrichts (Deutsch als Fremdsprache), 2. neu bearb. Aufl., Heidelberg: Groos.
- Frank, Carolin (2014): Arbeitswelt als Kontext. Empirische Grundlagen der Gestaltung berufsorientierender Lehr- und Lernprozesse für Naturwissenschaft und Technik., Dissertation an der TU Dresden zu Dresden.
- Frank, Carolin/Bernholt, Sascha/Parchmann, Ilka (2016): Modellierung des Zusammenhangs allgemeiner und beruflicher Kompetenzen für die Domäne Chemie, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 22, Nr. 1, S. 43-60.
- Frister, Jonas (2018): Fortentwicklung von Fachlichkeit, Didaktik und Bildungswissenschaften durch die „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“, in: Ingrid Glowinski/Andreas Borowski/Sascha Schanze/Julia Gillen et al. (Hrsg.), Kohärenz in der universitären Lehrerbildung. Vernetzung von Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Bildungswissenschaften, S. 15-27.
- Fürstenau, Bärbel (2001): Aufbau und Evaluation betrieblichen Zusammenhangswissens. Möglichkeiten zur Abstimmung schulischen und betrieblichen Lernens in der Anfangsphase der Ausbildung von Industriekaufleuten, Habilitation an der Georg-August-Universität zu Göttingen.
- Fürstenau, Bärbel (2011): Concept Maps im Lehr-Lern-Kontext, in: DIE Zeitschrift für Erwachsenenbildung, Jg. 2011, Nr. 1, S. 46-48.



- Fürstenau, Bärbel (2018): Begriff, Einsatzmöglichkeiten und Training von Concept Mapping, in: Bärbel Fürstenau (Hrsg.), Concept Mapping. Trainings- und Instruktionsbeispiele, Dresden: TU Dresden, S. 2-16.
- Fürstenau, Bärbel/Kneppers, Lenie (2014): Concept Mapping und Zusammenfassen als Lernstrategien beim fallbasierten Lernen, in: Berufsbildung. Zeitschrift für Praxis und Theorie in Betrieb und Schule, Jg. 68, Nr. 147, S. 37-39.
- Fürstenau, Bärbel/Kneppers, Lenie/Dekker, Rijkje (2012): Concept Mapping and Text Writing as Learning Tools in Problem-Oriented Learning, in: Jaime Sánchez/Alberto J. Cañas/Joseph D. Novak (Hrsg.), Concept Maps. Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the Fifth International Conference on Concept Mapping, Malta: University of Malta, S. 97-104.
- Fürstenau, Bärbel/Ryssel, Jeannine (2019): Betriebswirtschaftliches Zusammenhangsverstehen fördern mit Concept Maps, in: Berufsbildung. Zeitschrift für Theorie-Praxis-Dialog, Jg. 73, Nr. 177, S. 9-12.
- Fürstenau, Bärbel/Trojahner, Iris/Kneppers, Lenie (2011): Einführung Concept Mapping, Handout zum internationalen Projekt: Concept Mapping and Summary Writing as Learning Tools in Problem-Oriented Learning, TU Dresden/University of Amsterdam, unveröffentlichte Materialien.
- Gallagher, Rose Marie/Ingram, Paul/Whitehead, Peter (1996): Chemistry, 2. Aufl., Oxford: Oxford University Press.
- Galtung, Johan (1983): Struktur, Kultur und intellektueller Stil: Ein vergleichender Essay über sachsenische, teutonische, gallische und nipponische Wissenschaft, in: Leviathan, Jg. 11, Nr. 3, S. 303-338.
- Gastão Saliés, Tânia (2004): Texts as image schemas. A cross-linguistic study, in: Carol Lynn Moder/Aida Martinovic-Zic (Hrsg.), Discourse Across Languages and Cultures, Amsterdam [u. a.]: John Benjamins, S. 301-327.
- Gehl, Dagmar (2013): Vom Betrachten zum Verstehen. Die Diagnose von Rezeptionsprozessen und Wissensveränderungen, Dissertation, Wiesbaden: Springer.
- Geiss, Friedrich (1987): Fundamentals of thin layer chromatography (planar chromatography), engl. Aufl., Heidelberg: Hüthig.
- Gemeinsamer Europäischer Referenzrahmen, GER [online] <http://www.europaeischer-referenzrahmen.de> [05.02.2016].
- Gerbert, Manfred (1970): Besonderheiten der Syntax in der technischen Fachsprache des Englischen, 1. Aufl., Halle (Saale): Niemeyer.
- Giere, Ronald N. (1991): Explaining science. A cognitive approach, 3. Aufl., Chicago [u. a.]: University of Chicago Press.
- Givón, Thomas (1995): Coherence in text vs. coherence in mind, in: Morton Ann Gernsbacher/Talmy Givón (Hrsg.), Coherence in spontaneous text, Amsterdam [u. a.]: Benjamin, S. 59-116.
- Gläser, Rosemarie (1979): Fachstile des Englischen, 1. Aufl., Leipzig: VEB Verlag Enzyklopädie.

- Gläser, Rosemarie (1990): Fachtextsorten des Englischen, 1. Aufl., Tübingen: Narr.
- Göpferich, Susanne (1995): Textsorten in Naturwissenschaften und Technik. Pragmatische Typologie – Kontrastierung – Translation, 1. Aufl., Tübingen: Narr.
- Göpferich, Susanne (1998): Interkulturelles Technical Writing. Fachliches adressatengerecht vermitteln. Ein Lehr- und Arbeitsbuch, Aufl., Tübingen: Narr.
- Göpferich, Susanne (2006): Textproduktion im Zeitalter der Globalisierung. Entwicklung einer Didaktik des Wissenstransfers, 2. Aufl., Tübingen: Stauffenburg.
- Göpferich, Susanne (2015): Text competence and academic multiliteracy. From text linguistics to literacy development, 1. Aufl., Tübingen: Narr.
- Gramzow, Yvonne/Riese, Josef/Reinhold, Peter (2013): Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 19, S. 7-30.
- Grotjahn, Rüdiger (2002): Konstruktion und Einsatz von C-Tests. Ein Leitfaden für die Praxis, in: Rüdiger Grotjahn (Hrsg.), Der C-Test. Theoretische Grundlagen und praktische Anwendungen, Bochum: AKS, S. 211-225.
- Grotjahn, Rüdiger (Hrsg.) (2014): Der C-Test. Aktuelle Tendenzen, Bd. 34 GA, Frankfurt a. M.: Lang.
- Habermas, Jürgen (1987): Theorie des kommunikativen Handelns, 4. Aufl., Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Hartmann, Martin D./Niethammer, Manuela (2015): Modellierung beruflicher Kompetenz von Lehrkräften im berufsbildenden Lehramt, in: Martin D. Hartmann/Manuela Niethammer (Hrsg.), Kooperative Ausbildung im technischen Lehramt. Kompetenzorientierte Lehrerbildung für berufsbildende Schulen im gewerblich-technischen Bereich, Bielefeld: Bertelsmann, S. 23-53.
- Heckhausen, Heinz/Rheinberg, Falko (1980): Lernmotivation im Unterricht, erneut betrachtet, in: Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung, Jg. 8, Nr. 1, S. 7-47.
- Helsper, Werner/Herwartz-Emden, Leonie/Terhart, Ewald (2001): Qualität qualitativer Forschung in der Erziehungswissenschaft. Ein Tagungsbericht, in: Zeitschrift für Pädagogik, Jg. 47, Nr. 2, S. 251-269.
- Hennings, Ralf-Dirk (1991): Informations- und Wissensverarbeitung. Theoretische Grundlagen Wissensbasierter Systeme, 1. Aufl., Berlin: De Gruyter.
- Herzog, Stefanie/Parchmann, Ilka (2013): Fachwissen von Lehramtsstudierenden zum Struktur-Eigenschafts-Konzept, in: Sascha Bernholt (Hrsg.), Inquiry-based Learning. Forschendes Lernen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Hannover 2012, Kiel: IPN, S. 230-232.
- Hilbert, Tatjana S./Nückles, Matthias/Renkl, Alexander/Minarik, Carla et al. (2008): Concept Mapping zum Lernen aus Texten, in: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, Jg. 22, Nr. 2, S. 119-125.

- Hill, Heather C./Blunk, Merrie L./Charalambous, Charalambos Y./Lewis, Jennifer M. et al. (2008): Mathematical knowledge for teaching and the mathematical quality of instruction. An exploratory study, in: *Cognition and Instruction*, Jg. 26, Nr. 4, S. 430-511.
- Hofer, Manfred (2004): Schüler wollen für die Schule lernen, aber auch anderes tun, in: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, Jg. 18, Nr. 2, S. 79-92.
- Hoffmann, Lothar (1992): Fachtextsorten in der Fremdsprachenausbildung, in: *Fachsprache*, Jg. 2, S. 141-148.
- Hudson, Richard A. (1992): Ronald W. Langacker, Concept, image and symbol: the cognitive basis of grammar. Berlin & New York: Mouton de Gruyter, 1990. Pp. x + 395., in: *Journal of Linguistics*, Jg. 28, Nr. 2, S. 506-509.
- Ignatowitz, Eckhard (2003): *Chemietechnik*, 7. Aufl., Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel.
- Janich, Nina (2004): Sprachwissenschaftliche Einführungen. Und was Studierende von ihnen halten, in: Susanne Göpferich/Jan Engberg (Hrsg.), *Qualität fachsprachlicher Kommunikation*, Tübingen: Narr, S. 83-101.
- Jordan, Alexander/Ross, Nathalie/Krauss, Stefan/Baumert, Jürgen et al. (2006): Klassifikationsschema für Mathematikaufgaben. Dokumentation der Aufgabenkategorisierung im COACTIV-Projekt, [online] [https://pure.mpg.de/rest/items/item\\_2100753/component/file\\_2197661/content](https://pure.mpg.de/rest/items/item_2100753/component/file_2197661/content) [14.12.2019].
- Kaplan, Robert B. (1966): Cultural thought patterns in intercultural education, in: *Language Learning*, Jg. 16, Nr. 1-2, S. 1-25.
- Katzer, Gisela/Katzer, Franz (2006): *Fachtheorie nach Lernfeldern für Chemielaboranten 1*, 1. Aufl., Stuttgart: Holland + Josenhans.
- Kauertz, Alexander (2008): Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben, Dissertation, Berlin: Logos.
- Keller-Schneider, Manuela (2008): Herausforderungen im Berufseinstieg von Lehrpersonen. Beanspruchungswahrnehmung und Zusammenhänge mit Merkmalen der Persönlichkeit, Dissertation, Zürich: Universität Zürich.
- Keller-Schneider, Manuela (2014): Self-Regulated Learning in Teacher Education. The Significance of Individual Resources and Learning Behavior, in: *Australian Journal of Educational and Developmental Psychology*, Jg. 14, S. 144-158.
- Kirschner, Paul/van Merriënboer, Jeroen J. G. (2008): Ten steps to complex learning. A new approach to instruction and instructional design, in: Thomas L. Good (Hrsg.), *21st Century Education. A Reference Book*, Los Angeles: Sage, S. 244-253.
- Kleickmann, Thilo/Großschedl, Jörg/Harms, Ute/Heinze, Aiso et al. (2014): Professionswissen von Lehramtsstudierenden der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer. Testentwicklung im Rahmen des Projekts KiL, in: *Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung*, Jg. 42, Nr. 3-3, S. 280-288.
- Kleickmann, Thilo/Richter, Dirk/Kunter, Mareike/Elsner, Jürgen et al. (2013): Teachers' Content Knowledge and Pedagogical Content Knowledge, in: *Journal of Teacher Education*, Jg. 64, Nr. 1, S. 90-106.

- Klein, Wolfgang (1980): Argumentation und Argument, in: Zeitschrift für Literaturwissenschaft und Linguistik, Jg. 38/39, S. 9-57.
- Klieme, Eckhard/Leutner, Detlev/Kenk, Martina (Hrsg.) (2010): Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes, Zeitschrift für Pädagogik, 56. Beiheft, Weinheim: Beltz.
- KMK, Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Bildungsabschluss. Beschluss vom 16.12.2004, München: Luchterhand.
- Kordts-Freudinger, Robert (2015): Forschen im Praxissemester. Überblick, Methoden, Beispiele, [online] <https://blogs.uni-paderborn.de/fips/2015/04/07/item-und-skalenanalyse> [20.09.2016].
- Krauss, Stefan/Blum, Werner/Brunner, Martin/Neubrand, Michael et al. (2011): Konzeptualisierung und Testkonstruktion zum fachbezogenen Professionswissen von Mathematiklehrkräften, in: Mareike Kunter/Jürgen Baumert/Werner Blum/Uta Klusmann et al. (Hrsg.), Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV, Münster [u.a.]: Waxmann, S. 135-161.
- Krauss, Stefan/Lindl, Alfred/Schilcher, Anita/Fricke, Michael et al. (Hrsg.) (2017a): Falko. Fachspezifische Lehrerkompetenzen: Konzeption von Professionswissenstests in den Fächern Deutsch, Englisch, Latein, Physik, Musik, Evangelische Religion und Pädagogik, Münster: Waxmann.
- Krauss, Stefan/Lindl, Alfred/Schilcher, Anita/Tepner, Oliver (2017b): Das Forschungsprojekt FALCO. Ein einleitender Überblick, in: Stefan Krauss/Alfred Lindl/Anita Schilcher/Michael Fricke et al. (Hrsg.), Falko. Fachspezifische Lehrerkompetenzen: Konzeption von Professionswissenstests in den Fächern Deutsch, Englisch, Latein, Physik, Musik, Evangelische Religion und Pädagogik, Münster: Waxmann, S. 9-66.
- Krauss, Stefan/Neubrand, Michael/Blum, Werner/Baumert, Jürgen et al. (2008): Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie, in: Journal für Mathematik-Didaktik, Jg. 29, Nr. 3, S. 233-258.
- Kreutz, Jessica/Leuders, Timo/Hellmann, Katharina (Hrsg.) (2020): Professionsorientierung in der Lehrerbildung. Kompetenzorientiertes Lehren nach dem 4-Component-Instructional-Design-Modell, Wiesbaden: Springer VS.
- Kröger, Jochen/Euler, Manfred/Neumann, Knut/Härtig, Hendrik et al. (2012): Messung professioneller Kompetenz im Fach Physik, in: Sascha Bernholt (Hrsg.), Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Jahrestagung in Osnabrück 2011, Berlin [u. a.]: LiT, S. 616-618.
- Kröger, Jochen/Neumann, Knut/Petersen, Stefan (2013): Messung professioneller Kompetenz im Fach Physik, in: Sascha Bernholt (Hrsg.), Inquiry-based Learning. Forschendes Lernen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Hannover 2012, Kiel: IPN, S. 533-535.

- Kuckartz, Udo (2014): *Mixed Methods. Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren*, Aufl., Wiesbaden: Springer VS.
- Kuhn, Deanna/Crowell, Amanda (2011): Dialogic argumentation as a vehicle for developing young adolescents' thinking, in: *Psychological Science*, Jg. 22, Nr. 4, S. 545-552.
- Kulgemeyer, Christoph/Borowski, Andreas/Fischer, Hans E./Gramzow, Yvonne et al. (2012): *ProfiLe-P – Professionswissen in der Lehramtsausbildung Physik. Vorstellung eines Forschungsverbundes, Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Mainz 2012*, [online] <http://phydid.de/index.php/phydid-b/article/view-File/380/500> [07.12.2019].
- Kunina-Habenicht, Olga (2020): Wissen ist Macht. Ein Plädoyer für ein wissenschaftliches Lehramtsstudium, in: C. Scheid/T. Wenzl (Hrsg.), *Wieviele Wissenschaft braucht die Lehrerbildung*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 109-126.
- Kunter, Mareike/Baumert, Jürgen (2011): Das COACTIV-Forschungsprogramm zur Untersuchung professioneller Kompetenz von Lehrkräften. Zusammenfassung und Diskussion, in: Mareike Kunter/Jürgen Baumert/Werner Blum/Uta Klusmann et al. (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*, Münster [u.a.]: Waxmann, S. 345-366.
- Kunter, Mareike/Baumert, Jürgen/Blum, Werner/Klusmann, Uta et al. (Hrsg.) (2011): *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*, Münster [u.a.]: Waxmann.
- Kunter, Mareike/Voss, Tamar (2011): Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse, in: Mareike Kunter/Jürgen Baumert/Werner Blum/Uta Klusmann et al. (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*, Münster [u.a.]: Waxmann, S. 85-114.
- Landgraf, Julia/Rutsch, Juliane (2018): Vernetzt, verzahnt, verknüpft. Ein Pilotversuch zur Förderung der Verzahnung von Fachwissenschaften und Fachdidaktiken im Bereich Textverstehen, in: Birgit Brouër/Andrea Burda Zoyke/Jörg Kilian/Inger Petersen (Hrsg.), *Vernetzung in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung: Ansätze, Methoden und erste Befunde aus dem LeaP-Projekt an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*, Münster: Waxmann, S. 51-65.
- Langacker, Ronald H. (1995): Possession and possessive constructions, in: John R. Taylor/Robert E. MacLaury (Hrsg.), *Language and the Cognitive Construal of the World*, Berlin, New York: de Gruyter Mouton, S. 51-79.
- Langacker, Ronald W. (2002): *Concept, image, and symbol. The cognitive basis of grammar*, 2. überarb. Aufl., Berlin [u.a.]: Mouton de Gruyter.
- Langer, Inghard (1979): Verständliche Gestaltung von Fachtexten, in: Wolfgang Mentrup (Hrsg.), *Fachsprachen und Gemeinsprache. Jahrbuch 1978 des Instituts für Deutsche Sprache*, Düsseldorf: Schwann, S. 229-245.

- Leipniz-Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, IPN (2018): Forschungsbericht aus dem Forschungsbericht 2017/2018. RL 3. Professional Competence, [online] [http://www.ipn.uni-kiel.de/de/forschung/fb/Res-Rep1718\\_RL3.pdf](http://www.ipn.uni-kiel.de/de/forschung/fb/Res-Rep1718_RL3.pdf) [09.12.2019].
- Lersch, Rainer (2010): Didaktik und Praxis kompetenzfördernden Unterrichts, in: Schulpädagogik heute, Jg. 1, Nr. 1, S. 1-18.
- Leuders, Tim (2020): Kohärenz und Professionsorientierung in der universitären Lehrerbildung. Hochschuldidaktische Impulse durch das 4C/ID-Modell, in: Jessica Kreutz/Timo Leuders/Katharina Hellmann (Hrsg.), Professionsorientierung in der Lehrerbildung. Kompetenzorientiertes Lehren nach dem 4-Component-Instructional-Design-Modell, Wiesbaden: Springer VS, S. 7-24.
- Leuders, Tim/Wessel, Lena (2020): Kompetenzorientierte Didaktik der Analysis durch Orientierung an real-life tasks: Ein Beispiel für ein Lehrdesign nach dem 4C/ID-Modell, in: Jessica Kreutz/Timo Leuders/Katharina Hellmann (Hrsg.), Professionsorientierung in der Lehrerbildung. Kompetenzorientiertes Lehren nach dem 4-Component-Instructional-Design-Modell, Wiesbaden: Springer VS, S. 117-134.
- Lienert, Gustav A./Raatz, Ulrich (1998): Testaufbau und Testanalyse, 6. Aufl., Weinheim: Beltz.
- Linke, Angelika/Nussbaumer, Markus/Portmann-Tselikas, Paul R.Willi, Urs (1996): Studienbuch Linguistik, 3. Aufl., Tübingen: Niemeyer.
- Liptrot, Geoffrey Frank (1990): Modern Inorganic Chemistry, 4. Aufl., London: Collins Educational.
- Loewenberg Ball, Deborah (2003): Mathematical proficiency for all students. Toward a strategic research and development program in mathematics education, 1. Aufl., Santa Monica: Rand.
- Loewenberg Ball, Deborah/Thames, Mark H./Phelps, Geoffrey (2008): Content Knowledge for Teaching: What Makes It Special, in: Journal of Teacher Education, Jg. 59, Nr. 5, S. 389-407.
- Lohmann, Hans (1953): Die Technik und ihre Lehre. Ein Forschungsteilprogramm für eine wissenschaftliche Ingenieurpädagogik, in: Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Dresden 3, Nr. 4, S. 602-629.
- Lorentzen, Jenny/Friedrichs, Gernot/Ropohl, Mathias/Steffensky, Mirjam (2018): Der vernetzte Aufbau von universitärem und schulischem Fachwissen im Lehramtsstudium Chemie. Entwicklung eines theoriebasierten Lernangebots für die Physikalische Chemie, in: Birgit Brouër/Andrea Burda Zoyke/Jörg Kilian/Inger Petersen (Hrsg.), Vernetzung in der Lehrerinnen- und Lehrerbildung: Ansätze, Methoden und erste Befunde aus dem LeaP-Projekt an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Münster: Waxmann, S. 37-50.
- Lorentzen, Jenny/Friedrichs, Gernot/Ropohl, Mathias/Steffensky, Mirjam (2019): Förderung der wahrgenommenen Relevanz von fachlichen Studieninhalten: Evaluation einer Intervention im Lehramtsstudium Chemie, in: Unterrichtswissenschaft, Jg. 47, Nr. 1, S. 29-49.

- Massolt, Joost/Borowski, Andreas (2017): Motivationssteigerung durch Fokussierung auf das vertiefte Schulwissen im Rahmen der Fachvorlesungen Physik, in: Christian Maurer (Hrsg.), Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Zürich 2016, Regensburg: Universität Regensburg,
- Metzger, Wolfgang (1968): Psychologie. Die Entwicklung ihrer Grundannahmen seit der Einführung des Experiments, 4. unveränd. Aufl., Darmstadt: Steinkopff.
- Minnameier, Gerhard (2004): Peirce-Suit of Truth. Why Inference to the Best Explanation and Abduction Ought Not to be Confused, in: Erkenntnis, Jg. 60, Nr. 1, S. 75-105.
- Minnameier, Gerhard (2005): Wissen und Können im Kontext inferentiellen Denkens, in: Helmut Heid (Hrsg.), Verwertbarkeit. Ein Qualitätskriterium (erziehungs-)wissenschaftlichen Wissens, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 183-203.
- Möhn, Dieter (1979): Zur Aktualität der Fachsprachenforschung, in: Wolfgang Mentrup (Hrsg.), Fachsprachen und Gemeinsprache. Jahrbuch 1978 des Instituts für Deutsche Sprache, Düsseldorf: Schwann, S. 10-24.
- Molnár, Imre (2019): Lloyd R. Snyder: An Appreciation 1931–2018, in: Chromatographia, Jg. 82, Nr. S. 509-511.
- Neubrand, Michael/Jordan, Alexander/Krauss, Stefan/Blum, Werner et al. (2011): Aufgaben im COACTIV-Projekt. Einblicke in das Potenzial für kognitive Aktivierung im Mathematikunterricht, in: Mareike Kunter/Jürgen Baumert/Werner Blum/Uta Klusmann et al. (Hrsg.), Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV, Münster [u.a.]: Waxmann, S. 115-132.
- Neuweg, Georg Hans (2005): Emergenzbedingungen pädagogischer Könnerschaft, in: Helmut Heid/Christian Harteis (Hrsg.), Verwertbarkeit. Ein Qualitätskriterium (erziehungs-)wissenschaftlichen Wissens, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 205-228.
- Neuweg, Georg Hans (2014): Das Wissen der Wissensvermittler. Problemstellungen. Befunde und Perspektiven der Forschung zum Lehrerwissen, in: Ewald Terhart/Hedda Bennewitz/Martin Rothland (Hrsg.), Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf, Münster: Waxmann, 583–614.
- Niethammer, Manuela (2006): Berufliches Lernen und Lehren in Korrelation zur chemiebezogenen Facharbeit. Ansprüche und Gestaltungsansätze, 1. Aufl., Bielefeld: Bertelsmann.
- Niethammer, Manuela/Schweder, Marcel (2016): Es geht nichts über das Original. Ein Diskurs zur Repräsentation von Arbeitswelt, in: bwp(at) Spezial, Nr. 13, Nr. S. 1-15.
- Niethammer, Manuela/Schweder, Marcel (2018): Ansätze einer inklusiven Didaktik beruflicher Fachrichtungen, in: Bernd Zinn (Hrsg.), Inklusion und Umgang mit Heterogenität in der berufs- und wirtschaftspädagogischen Forschung, Stuttgart: Steiner, S. 165-193.
- Niethammer, Manuela/Schweder, Marcel (2020): Basiskonzepte der sachlogischen Strukturierung, Manuskript, TU Dresden, unveröffentlichte Materialien.

- Novak, Joseph D./Gowin, D. Bob (1984): Learning how to learn, 1. Aufl., Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Oldenburg, Hermann (1992): Angewandte Fachtextlinguistik. ‚Conclusions‘ und Zusammenfassungen, 1. Aufl., Tübingen: Narr.
- Olszewski, Jennifer (2010): The Impact of Physics Teachers‘ Pedagogical Content Knowledge on Teacher Actions and Student Outcomes, Dissertation, Berlin: Logos.
- Otto, Matthias (2006): Analytische Chemie (German Edition), 3. Aufl., Weinheim: Wiley-VCH.
- Parchmann, Ilka (2010): Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften. Vielfalt ist wertvoll, aber nicht ohne ein gemeinsames Fundament. Review, in: Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft, Jg. 56, S. 135-142.
- Peirce, Charles Sanders (CP): Collected papers of Charles Sanders Peirce (hrsg. v. Charles Hartshorne/Paul Weiss/Arthur W. Burks), 8 Bde (1932-1979), Cambridge, MA: Belknap Press.
- Peirce, Charles Sanders (NEM): The New Elements of Mathematics (hrsg. v. Carolyn Eisele), 4 Bde (1978), Berlin, Boston: De Gruyter.
- Peirce, Charles Sanders (SPP): Schriften zum Pragmatismus und Pragmatizismus (hrsg. v. Karl-Otto Apel), 2 Bde (1967–1970), Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Raatz, Ulrich/Klein-Braley, Christine (2002): Five. Introduction to language testing and to C-Tests, in: James A. Coleman/Rüdiger Grotjahn/Ulrich Raatz (Hrsg.), University Language Testing and the C-Test, Bochum: AKS, S. 75-91.
- Rheinberg, Falko/Vollmeyer, Regina/Burns, Bruce D (2001): FAM. Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern-und Leistungssituationen (Langversion, 2001), in: Diagnostica, Jg. 2, Nr. S. 57-66.
- Riese, Josef (2009): Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften, Dissertation, Berlin: Logos.
- Riese, Josef/Reinhold, Peter (2010): Empirische Erkenntnisse zur Struktur professioneller Handlungskompetenz von angehenden Physiklehrkräften, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 16, S. 167-187.
- Riese, Josef/Kulgemeyer, Christoph/Zander, Simon/Borowski, Andreas et al. (2015): Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik, in: Zeitschrift für Pädagogik, Jg. 61, S. 55-79.
- Riese, Josef/Reinhold, Peter (2013): Entwicklung eines Leistungstests für fachdidaktisches Wissen, in: Dirk Krüger/Ilka Parchmann/Horst Schecker (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, Berlin: Springer, S. 257-267.
- Rower, H./Kvita, P. (1999): Sun Protection of the Skin with a novel UV Absorber for Rinse Cycle Application, in: SÖFW-Journal, Jg. 125, Nr. 8, S. 10-15.
- Rubinson, Judith F./Rubinson, Kenneth A. (1998): Contemporary Chemical Analysis, 1. Aufl., Upper Saddle-River: Prentice Hall.



- Ruiz-Primo, Maria Araceli/Shavelson, Richard J. (1996): Problems and issues in the use of concept maps in science assessment, in: *Journal of Research in Science Teaching*, Jg. 33, Nr. 6, S. 569-600.
- Rüschhoff, Bernd/Sudhoff, Julian-Thorben/Wolff, Dieter (Hrsg.) (2015): *CLIL Revisited. Eine kritische Analyse zum gegenwärtigen Stand des bilingualen Sachfachunterrichts*, Bd. 54 GA, Frankfurt a. M.: Lang.
- Sächsisches Staatsministerium für Kultus und Sport, SMK (2011): *Lehrplan. Gymnasium. Chemie*, [online] <http://schule.sachsen.de/lpdb> [08.04.2017].
- Sager, Juan C. (1991): A Theory of Text Production, Modification, Reception, in: Hartmut Schröder (Hrsg.), *Subject oriented texts*, Berlin [u.a.]: de Gruyter, S. 244-253.
- Sánchez, Jaime/Cañas, Alberto J./Novak, Joseph D. (Hrsg.) (2010): *Concept Maps. Making learning meaningful. Proceedings of the fourth International Conference on Concept Mapping*, Bd. 1 GA, Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Sanford, Anthony J./Moxey, Linda M. (1995): Aspects of coherence in written language, in: Morton Ann Gernsbacher/Talmy Givón (Hrsg.), *Coherence in spontaneous text*, Amsterdam [u.a.]: Benjamin, S. 161-187.
- Schäfer, Wolfgang (Hrsg.) (2013): *Metal Milestones*, Stuttgart: Klett.
- Schröder, Hartmut (1988): Fachtext, interkulturelle Kommunikation und Aufgaben einer spezialisierten Didaktik/Methodik des fachbezogenen Fremdsprachenunterrichts, in: Claus Gnutzmann (Hrsg.), *Fachbezogener Fremdsprachenunterricht*, Tübingen: Narr, S. 107-126.
- Schütte, Melanie/Wirth, Joachim/Leutner, Detlev (2010): Selbstregulationskompetenz beim Lernen aus Sachtexten. Entwicklung und Evaluation eines Kompetenzstrukturmodells, in: *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft*, Jg. 56, S. 249-257.
- Schwedt, Georg (1986): *Chromatographische Trennmethode. Theoretische Grundlagen, Techniken und analytische Anwendungen.*, 2. Aufl., Stuttgart: Thieme.
- Shaw, Bernard (1903): *Man and Superman*, [online] [https://en.wikisource.org/wiki/Man\\_and\\_Superman/Maxims\\_for\\_Revolutionists](https://en.wikisource.org/wiki/Man_and_Superman/Maxims_for_Revolutionists) [18.10.2019].
- Shulman, Lee S. (1986): Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching, in: *Educational Researcher*, Jg. 15, Nr. 2, S. 4-14.
- Sieper, Gerd (1980): *Fachsprachliche Korpusanalyse und Wortschatzauswahl. Untersuchungen zur Lexik englischer Fachtexte der Chemie*, 1. Aufl., Frankfurt am Main [u.a.]: Lang.
- Skoog, Douglas A./West, Donald M./Holler, F. James/Crouch, Stanley R. (2000): *Analytical Chemistry. An Introduction*, 7. Aufl., Orlando: Saunders.
- Slavin, Robert E./Lake, Cynthia/Groff, Cynthia (2009): Effective Programs in Middle and High School Mathematics. A Best-Evidence Synthesis, in: *Review of Educational Research*, Jg. 79, Nr. 2, S. 839-911.
- Snyder, Lloyd R./Kirkland, Joseph J./Dolan, John W. (2010): *Introduction to Modern Liquid Chromatography*, 3. Aufl., Hoboken: Wiley & Sons.

- Sorge, Stefan/Kröger, Jochen/Petersen, Stefan/Neumann, Knut. (2017): Die Modellierung und Entwicklung professioneller Kompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Physik, in: Helmut Fischler/Elke Sumfleth (Hrsg.), Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik, Berlin: Logos, S. 21-37.
- Storz, Peter (1976): Zur Profilierung von Lehrern für den berufstheoretischen Unterricht in chemiebezogenen Berufen technischer Richtungen. Ein Beitrag zur Erhöhung der Zielgerichtetheit bei der Ausbildung und Weiterbildung von Kadern für die sozialistische Berufsbildung, Dissertation A an der TU Dresden zu Dresden.
- Storz, Peter (1984): Zur Methodik des technologischen Unterrichts für Facharbeiterberufe mit Operateurprofil der stoffwandelnden Produktion. Ein Beitrag zu Theorie und Methodologie der Unterrichtsmethodik technischer Richtungen, Dissertation B an der TU Dresden zu Dresden.
- Storz, Peter/Eichhorn, Sigrun (2000): Umweltschutz in der Berufsausbildung. Chemieberufe. Ein Handbuch für Ausbilder, Lehrer und Auszubildende, 1. Aufl., Bonn: Bundesinstitut für Berufsbildung.
- Storz, Peter/Wirsing, Günter (Hrsg.) (1987): Unterrichtsmethodik Technische Chemie. Berufstheoretischer Unterricht, Leipzig: VEB.
- Taskin, Vahide/Bernholt, Sascha/Parchmann, Ilka (2017): Student Teachers' Knowledge About Chemical Representations, in: International Journal of Science and Mathematics Education, Jg. 15, Nr. 1, S. 39-55.
- Terhart, Ewald (2001): Lehrerberuf und Lehrerbildung. Forschungsbefunde, Problemanalysen, Reformkonzepte, Aufl., Weinheim, Basel: Beltz.
- Touchstone, Joseph C. (1992): Practice of Thin Layer Chromatography, 3. Aufl., New York: Wiley.
- van Merriënboer, Jeroen J. G./Jelsma, Otto/Paas, Fred G. W. C. (1992): Training for Reflective Expertise: A Four-Component Instructional Design Model for Complex Cognitive Skills, in: Educational Technology Research and Development, Jg. 40, Nr. 2, S. 23-43.
- VERBI Software 2018, MAXQDA 2018, computer program, VERBI Software, Berlin.
- Vockrodt-Scholz, Viola/Zydati, Wolfgang (2010): Sprachproduktive Faktoren und die Konstruktvalidität von C-Tests. Kompetenzniveaus und Fehlerquotient in textsortengebundenen Schreibaufgaben, in: Grotjahn Rüdiger (Hrsg.), Der C-Test. Beiträge aus der aktuellen Forschung, Frankfurt a. M.: Lang, S. 1-40.
- Vollmeyer, Regina/Rheinberg, Falko (1998): Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System, in: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, Jg. 12, Nr. 1, S. 11-23.
- Vollmeyer, Regina/Rheinberg, Falko (2003): Aktuelle Motivation und Motivation im Lernverlauf, in: Joachim Stiensmeier-Pelster/Falko Rheinberg (Hrsg.), Diagnostik von Selbstkonzept, Lernmotivation und Selbstregulation, Göttingen: Hogrefe, S. 281-296.

- von Hahn, Walther (Hrsg.) (1981): Fachsprachen, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Voss, Bernd/Füchtner, Marita (2000): Technisches Englisch: Ein fakultatives Kursangebot für berufliches Lernen im gewerblich-technischen Bereich, in: Jörg-Peter Pahl/Volkmar Herkner (Hrsg.), Zusätzliche Qualifizierungs- und Bildungsangebote: Konzepte und Materialien zur Ausbildungs- und Unterrichtspraxis ausgewählter gewerblich-technischer Berufe, Seelze-Velber: Carl Meyer'sche Verlagsbuchhandlung, S. 345-407.
- Voss, Tamar/Kleickmann, Thilo/Kunter, Mareike/Hachfeld, Axinja (2011): Überzeugungen von Mathematiklehrkräften, in: Mareike Kunter/Jürgen Baumert/Werner Blum/Uta Klusmann et al. (Hrsg.), Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV, Münster [u.a.]: Waxmann, S. 235-258.
- Wall, Peter E. (2005): Thin-layer Chromatography. A Modern Practical Approach, 1. Aufl., Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Wenglein, Sandra/Bauer, Johannes/Heininger, Susanne/Prenzel, Manfred (2015): Kompetenz angehender Lehrkräfte zum Argumentieren mit Evidenz: Erhöht ein Training von Heuristiken die Argumentationsqualität?, in: Unterrichtswissenschaft. Zeitschrift für Lernforschung, Jg. 43, Nr. 3-3, S. 209-224.
- Widdowson, Henry George (1979): The description of the scientific language, in: Henry George Widdowson (Hrsg.), Explorations in Applied Linguistics, Oxford: Oxford University Press, S. 51-61.
- Wilson, Mark (2008): Cognitive Diagnosis Using Item Response Models, in: Zeitschrift für Psychologie, Jg. 216, Nr. 2, S. 74-88.
- Woitkowski, David (2015): Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung, Dissertation, Berlin: Logos.
- Woitkowski, David (2019): Erfolgreicher Wissenserwerb im ersten Semester Physik, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Nr. S. 97-114.
- Woitkowski, David/Riese, Josef (2017): Kriterienorientierte Konstruktion eines Kompetenzniveaumodells im physikalischen Fachwissen, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 23, Nr. S. 39-52.
- Woitkowski, David/Riese, Josef/Reinhold, Peter (2011): Modellierung fachwissenschaftlicher Kompetenz angehender Physiklehrkräfte, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 17, Nr. 1, S. 289-313.

## Bildquellennachweis

Titelbild:

Kulturspezifische Diskursmuster nach Kaplan, Robert B. (1966): Cultural thought patterns in intercultural education, in: *Language Learning*, Jg. 16, Nr. 1-2, S. 21.

Lupe von [Clker-Free-Vector-Images](#) von [Pixabay](#)

## Abbildungsverzeichnis

|          |                                                                                                                                                                                                             |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 1:  | Konzepte des „Lehrerwissens“ (Neuweg 2014: 585)                                                                                                                                                             | 36  |
| Abb. 2:  | Mögliche Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Bereichen des Professionswissens (Riese et al. 2015: 60)                                                                                                  | 37  |
| Abb. 3:  | Kontexte zur Beschreibung chemischer Reaktionen (Niethammer 2006: 130)                                                                                                                                      | 43  |
| Abb. 4:  | Sachlogische Strukturierung der Inhalte einer Prozesseinheit, z. B. eines Herstellungs- oder Trennverfahrens (Darstellung nach Storz 1984: 143, vgl. Storz & Wirsing 1987: 34–41; Niethammer 2006: 122–133) | 44  |
| Abb. 5:  | Basiskonzepte zur Strukturierung arbeitssystembezogener Inhalte im natur- und ingenieurwissenschaftlichen Bereich (nach Niethammer/Schweder 2020, mit eigenen Ergänzungen)                                  | 46  |
| Abb. 6:  | Zusammenwirken abduktiver, deduktiver und induktiver Inferenzen im Erkenntnisprozess bei der Erarbeitung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen zur Ergründung der Wasserlöslichkeit der Alkanole             | 57  |
| Abb. 7:  | Blaupause des 4C/ID-Modells (Kirschner/van Merriënboer 2008: 248); eigene Darstellung                                                                                                                       | 61  |
| Abb. 8:  | Modellierung berufsdidaktischen Wissens inklusive des berufswissenschaftlichen Wissens (Hartmann/Niethammer 2015: 46)                                                                                       | 62  |
| Abb. 9:  | Schema zur Fachtextsortentypologie (Göpferich 1995: 124)                                                                                                                                                    | 68  |
| Abb. 10: | Darstellung eines Arguments als Baumgraph (Klein 1980: 15)                                                                                                                                                  | 100 |
| Abb. 11: | Mixed-Methods-Ansatz zur Untersuchung der Verstehensprozesse von Lehramtsstudierenden                                                                                                                       | 115 |
| Abb. 12: | Ablauf einer dünnsschichtchromatografischen Trennung (vgl. Otto 2006: 507, 509)                                                                                                                             | 120 |
| Abb. 13: | Schematische Darstellung der Gleichgewichtsvorgänge bei einem adsorptionschromatografischen Trennvorgang (Bauer 1989: 10)                                                                                   | 121 |
| Abb. 14: | Häufigkeitsverteilungen zu soziodemographischen Faktoren und Schulbildung der Vpn der Hauptuntersuchung (n = 14)                                                                                            | 126 |
| Abb. 15: | Abiturnotenverteilung in den gewählten Grund- und Leistungskursen der Vpn der Hauptuntersuchung                                                                                                             | 127 |
| Abb. 16: | Gewählte Leistungskurs- und Grundkurskombinationen der Vpn der Hauptuntersuchung im Abitur                                                                                                                  | 127 |
| Abb. 17: | Genutzte Möglichkeiten der Vpn der Hauptuntersuchung, um Englisch zu lernen                                                                                                                                 | 128 |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 18: | Häufigkeitsverteilungen zu berufsbezogenen Qualifizierungen/<br>Studienabschlüssen sowie zum aktuellen Stand im Lehramtsstudium und<br>zu Vorkenntnissen zur Chromatografie durch Schule, Beruf und/oder<br>Studium der Vpn der Hauptuntersuchung (n= 14) | 130 |
| Abb. 19: | Notenverteilung in den fachspezifischen Module (n= 14)                                                                                                                                                                                                    | 131 |
| Abb. 20: | Notenverteilung in den fachdidaktischen Module (n= 14)                                                                                                                                                                                                    | 131 |
| Abb. 21: | Häufigkeitsverteilung der in Schule, Studium und/oder Beruf behandelten<br>Themen zur Extraktion und Chromatografie (n= 14)                                                                                                                               | 132 |
| Abb. 22: | Häufigkeitsverteilungen zu soziodemographischen Faktoren und<br>Schulbildung der Vpn der Pilotierung (n=30); Angabe der absoluten<br>Häufigkeiten                                                                                                         | 135 |
| Abb. 23: | Weitere berufliche Qualifizierungen der Vpn der Pilotierung mit Abitur<br>oder Fachhochschulreife (n=23), Angabe der absoluten Häufigkeiten                                                                                                               | 136 |
| Abb. 24: | Notenverteilung in den gewählten Leistungskurs- und<br>Grundkurskombinationen der Vpn der Pilotierung mit Abitur (n=20),<br>Angabe der absoluten Häufigkeiten                                                                                             | 136 |
| Abb. 25: | Notenverteilung in den Fächern Englisch, Physik, Mathe und Chemie der<br>Vpn der Pilotierung mit Realschulabschluss (n= 7), Angabe der absoluten<br>Häufigkeiten                                                                                          | 136 |
| Abb. 26: | Notenverteilung in den Fächern Englisch, Physik, Mathe und Chemie der<br>Vpn der Pilotierung mit Abitur, Fachhochschulreife oder<br>Realschulabschluss (n=30), Angabe der absoluten Häufigkeiten                                                          | 136 |
| Abb. 27: | Kombinationen der genutzten Möglichkeiten der Vpn der Pilotierung, um<br>Englisch zu lernen (n=30), Angabe der absoluten Häufigkeiten                                                                                                                     | 137 |
| Abb. 28: | Genutzte Möglichkeiten der Vpn der Pilotierung, um Englisch zu lernen<br>(n=30), Angabe der absoluten Häufigkeiten                                                                                                                                        | 137 |
| Abb. 29: | Dauer der Auslandsaufenthalte in englischsprachigen Ländern der Vpn der<br>Pilotierung (n=30), Angabe der absoluten Häufigkeiten                                                                                                                          | 138 |
| Abb. 30: | Häufigkeitsverteilung der an der Berufsschule behandelten Inhalte zur<br>Chromatografie bei den Vpn der Pilotierung (n=30), Angabe der<br>absoluten Häufigkeiten                                                                                          | 138 |
| Abb. 31: | Häufigkeitsverteilung der im Betrieb/an ÜBS behandelten Inhalte zur<br>Chromatografie bei den Vpn der Pilotierung (n=30), Angabe der<br>absoluten Häufigkeiten                                                                                            | 139 |
| Abb. 32: | Häufigkeitsverteilung der nie behandelten Inhalte zur Chromatografie bei<br>den Vpn der Pilotierung (n= 30) nach Lehrjahr, Angabe der absoluten<br>Häufigkeiten                                                                                           | 139 |
| Abb. 33: | Häufigkeitsverteilung der über längeren Zeitraum/wiederholend<br>behandelten Inhalte zur Chromatografie bei den Vpn der Pilotierung<br>(n=30) nach Lehrjahr, Angabe der absoluten Häufigkeiten                                                            | 140 |

|          |                                                                                                                                                                                       |     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 34: | Häufigkeitsverteilung der an den drei Lernorten behandelten Inhalte zur Chromatografie bei den Vpn der Pilotierung (n=30) nach Intensität, Angabe der absoluten Häufigkeiten          | 140 |
| Abb. 35: | Erarbeitungsphasen der Vpn                                                                                                                                                            | 154 |
| Abb. 36: | Darstellung des Lehr-Lernkonzeptes nach dem 4C/ID-Modell (vgl. Kirschner/van Merriënboer 2008:248); eigene Darstellung                                                                | 155 |
| Abb. 37: | Experten-Concept Map zum Thema „Wasser“                                                                                                                                               | 157 |
| Abb. 38: | Ablauf der Fallstudie – Pilotierung von C-Test und SC-Fachtest sowie Teil 1 der Hauptuntersuchung                                                                                     | 167 |
| Abb. 39: | Ablauf der Fallstudie – Teil 2 der Hauptuntersuchung                                                                                                                                  | 168 |
| Abb. 40: | Concept Map einer Vp der Fallstudie zum Thema „Wasser“                                                                                                                                | 170 |
| Abb. 41: | Korrigiertes Concept Map zum Aspekt „Wasserstoffbrückenbindung“                                                                                                                       | 171 |
| Abb. 42: | Die vier FAM-Komponenten Misserfolgsbefürchtung, Erfolgswahrscheinlichkeit, Interesse und Herausforderung zu den Messzeitpunkten T1_En0, T1_SC0 und T2_A0                             | 177 |
| Abb. 43: | Änderung der Lernmotivation (MOT) während und nach der Aufgabenbearbeitung über 16 Messzeitpunkte                                                                                     | 178 |
| Abb. 44: | Änderung der Lernmotivation (MOT) und der drei FAM-Items (M, I, H) während und nach der Aufgabenbearbeitung über 16 Messzeitpunkte                                                    | 180 |
| Abb. 45: | Kategorien der sachlogischen Strukturierung zur chromatografischen Trennung eines Stoffgemisches (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019; vgl. Storz/Wirsing 1987; Niethammer 2006)           | 192 |
| Abb. 46: | Kategoriensystem möglicher Erkenntniswege zu den Aufgaben 1f und 2f                                                                                                                   | 212 |
| Abb. 47: | Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse aus C-Test und SC-Fachtest (prä und post)                                                                                                        | 233 |
| Abb. 48: | Boxplot-Diagramm zu Ergebnissen aus C-Test und SC-Fachtest (prä und post)                                                                                                             | 234 |
| Abb. 49: | Streudiagramme zum Erkenntnisgewinn SC-Fachtest (prä/post) in Bezug auf die Englischvorkenntnisse (C-Test)                                                                            | 234 |
| Abb. 50: | Markierung von Vp01 im Chromatogramm einer HPLC-Analyse von monosubstituierten Benzolen unter Bedingungen der Normalphasenchromatografie (NPC) (Abbildung aus Snyder et al. 2010:364) | 266 |
| Abb. 51: | Häufigkeitsverteilung der jeweils analysierten Schülerantworten (N=13)                                                                                                                | 282 |
| Abb. 52: | Häufigkeiten der vollständig, teilweise oder gar nicht erkannten Schülerfehlkonzepte (N=13)                                                                                           | 282 |

|          |                                                                                                                                            |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. 53: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dessen fachdidaktische Verwertung bei den Erkenntniswegen            | 296 |
| Abb. 54: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dessen Anwendung bei der Analyse der Schülerfehlkonzepte im Teil E   | 297 |
| Abb. 55: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und den Englischvorkenntnissen                                           | 298 |
| Abb. 56: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und den fachlichen Vorkenntnissen (T1_SC)                                | 299 |
| Abb. 57: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und den fachlichen Vorkenntnissen (T2_A)                                 | 299 |
| Abb. 58: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dem gewählten ersten Lehramtsfach (LA_F1)                            | 300 |
| Abb. 59: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dem gewählten zweiten Lehramtsfach (LA_F2)                           | 300 |
| Abb. 60: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dem Fachsemester des gewählten ersten Lehramtsfaches (LA_F1)         | 301 |
| Abb. 61: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung des erworbenen Fachwissens und dem Fachsemester des gewählten zweiten Lehramtsfaches (LA_F2)        | 301 |
| Abb. 62: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung Ergebnisse zu Erkenntniswegen und dem gewählten ersten Lehramtsfach (LA_F1)                         | 302 |
| Abb. 63: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung Ergebnisse zu Erkenntniswegen und dem gewählten zweiten Lehramtsfach (LA_F2)                        | 302 |
| Abb. 64: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung der Ergebnisse zu Erkenntniswegen und dem Fachsemester des gewählten ersten Lehramtsfaches (LA_F1)  | 303 |
| Abb. 65: | Boxplot-Diagramm zur Gegenüberstellung der Ergebnisse zu Erkenntniswegen und dem Fachsemester des gewählten zweiten Lehramtsfaches (LA_F2) | 303 |

## Abbildungsverzeichnis Anhang

|                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abb. A 1: Concept Map zur sachlogischen Strukturierung der Inhalte und Inhaltsrelationen bei der Betrachtung von Materialien bzw. Substanzen (Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck)    | 352 |
| Abb. A 2: Experten-Concept-Map zum Thema „Wasser“ (Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck)                                                                                               | 352 |
| Abb. A 3: Concept Map zum deutschen Text zum Thema „Wasser“ (Christen 1985: 489–491)                                                                                                 | 353 |
| Abb. A 4: Concept Map zum englischen Text zum Thema „Wasser“ (Liptrot 1990: 292)                                                                                                     | 353 |
| Abb. A 5: Schema zur sachlogischen Strukturierung der Inhalte und Inhaltsrelationen bei der Betrachtung von Verfahren (Düwel 2019: 24)                                               | 354 |
| Abb. A 6: Experten-Concept Map zum Thema „Erdölraffination“ (Düwel 2019: 24)                                                                                                         | 354 |
| Abb. A 7: Experten-Concept Map zum Thema „Chromatografie“ (Düwel et al. 2019: 7)                                                                                                     | 355 |
| Abb. A 8: Informationsblatt für die Vpn der Hauptuntersuchung                                                                                                                        | 357 |
| Abb. A 9: Newsbeitrag auf der Internetseite der Beruflichen Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik; Didaktik der Chemie zur Akquise von Studierenden zur Teilnahme an der Fallstudie | 358 |
| Abb. A 10: Vorlage für die Einverständniserklärung der Vpn der Hauptuntersuchung                                                                                                     | 359 |
| Abb. A 11: Einfaches Experten-Concept Map zur DC-Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches                                                                                          | 380 |
| Abb. A 12: Komplexes Experten-Concept Map zur DC-Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches                                                                                          | 380 |
| Abb. A 13: Experten-Concept Map zum Text 3EI des dritten Aufgabenkomplexes des Lehr-Lernkonzeptes                                                                                    | 381 |
| Abb. A 14: Experten-Concept Map zum Text 3EII des dritten Aufgabenkomplexes des Lehr-Lernkonzeptes                                                                                   | 381 |
| Abb. A 15: Experten-Concept Map zum Text 3EIII des dritten Aufgabenkomplexes des Lehr-Lernkonzeptes                                                                                  | 382 |
| Abb. A 16: Beispiel einer Dokumentengruppe und den dazugehörigen Sets von zwei Vpn                                                                                                   | 382 |
| Abb. A 17: MAXQDA-Ansicht „Smart Coding Tool“ mit der Auswahl des Codes „K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt“ – nur aktivierte Codes                                             | 412 |
| Abb. A 18: MAXQDA-Ansicht in dem „Smart Coding Tool“ mit der Auswahl des Codes „K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt“ – alle Codes                                                | 412 |



|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| Abb. A 19: Figure 2.6 aus Snyder et al. (2010: 30)  | 511 |
| Abb. A 20: Figure 2.7 aus Snyder et al. (2010: 31)  | 511 |
| Abb. A 21: Figure 8.1 aus Snyder et al. (2010: 364) | 512 |
| Abb. A 22: Figure 8.2 aus Snyder et al. (2010: 365) | 512 |
| Abb. A 23: Figure 8.3 aus Snyder et al. (2010: 367) | 513 |

## Tabellenverzeichnis

|          |                                                                                                                                                                                                                     |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1:  | Sachlogische und kategoriale Beziehungen zum Reaktionsaspekt (Storz/Wirsing 1987: 31)                                                                                                                               | 41 |
| Tab. 2:  | Kategoriensystem zur sachlogischen Strukturierung chemischer Reaktionen unter den Aspekten des Zustandekommens und des Ablaufs einer chemischen Reaktion (vgl. Niethammer 2006: 128–129; Storz/Wirsing 1987: 34–35) | 42 |
| Tab. 3:  | Zusammenfassung: Definitionen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede der drei Schließverfahren Deduktion, Induktion und Abduktion                                                                                        | 48 |
| Tab. 4:  | Schließverfahren in Anlehnung an Peirce (vgl. Minnameier 2005: 186)                                                                                                                                                 | 49 |
| Tab. 5:  | Gegenüberstellung des regressiv- und progressiv-reduktiven Vorgehens bei der Betrachtung der Wasserlöslichkeit von Butanol                                                                                          | 54 |
| Tab. 6:  | Gegenüberstellung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Stoffgruppe der Alkanole und einzelner Verbindungen                                                                                                      | 56 |
| Tab. 7:  | Merkmalskomplexe mit den jeweiligen Merkmalsausprägungen von Lehrbuchtexten                                                                                                                                         | 71 |
| Tab. 8:  | Makrostruktur in Lehrbuchtexten nach Göpferich (1995: 252)                                                                                                                                                          | 73 |
| Tab. 9:  | Sprachliche Formen zu Adressaten-, Sender- und Personeneinbezug (Göpferich 1995: 371–380), eigene Darstellung                                                                                                       | 75 |
| Tab. 10: | Relative Häufigkeiten der Formen des Personeneinbezugs in ausgewählten Textsorten in Prozent (Göpferich 1995: 372); eigene Darstellung                                                                              | 77 |
| Tab. 11: | Beispiele Metasprachlicher Elemente aus Lehrbüchern zur Chromatografie (vgl. Göpferich 1995: 383–389)                                                                                                               | 79 |
| Tab. 12: | Definition und Funktion metakommunikativer Elemente (Göpferich 1995: 389–395); eigene Darstellung                                                                                                                   | 81 |
| Tab. 13: | Eigenschaften des Passivs in sowohl deutschen als auch englischen Texten (Göpferich 1995: 409–410); eigene Darstellung                                                                                              | 83 |
| Tab. 14: | Nomen und Fügungen mit Nomen, die auch durch Konstruktion mit finiten Verben ausgedrückt werden können (Göpferich 1995: 421); eigene Darstellung                                                                    | 84 |
| Tab. 15: | Nebensatzkategorien (Göpferich 1995: 431–434); eigene Darstellung                                                                                                                                                   | 85 |
| Tab. 16: | Die 20 häufigsten Wörter einer Wortart und ihre Textdeckung in Prozent (Sieper 1980: 131–133); eigene Darstellung                                                                                                   | 87 |
| Tab. 17: | Die 20 häufigsten Substantive, Verben und Adjektive zur Chromatografie und ihre Textdeckung in Prozent in ausgewählten Kapiteln von fünf englischen Lehrbüchern zur Chromatografie                                  | 88 |
| Tab. 18: | Die 20 häufigsten Substantive, Verben und Adjektive zur Chromatografie in Snyder et al. (2010) und ihre Textdeckung in Prozent                                                                                      | 89 |

|          |                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 19: | Möglichkeiten der Benennungsbildung in der (naturwissenschaftlich-technischen) Fachlexik (Fluck 1997: 46–72); eigene Darstellung                                                                                                                         | 90  |
| Tab. 20: | Propositionen zur 3. Prämisse, dass geringe Leitfähigkeit gegeben ist, wenn nur geringe Zahl an frei beweglichen Ladungsträgern vorhanden ist (Düwel et al. im Druck)                                                                                    | 103 |
| Tab. 21: | Propositionen zur 4. Prämisse, dass reines Wasser sehr geringe Konzentration $\text{H}_3\text{O}^+$ -Ionen und $\text{OH}^-$ -Ionen enthält und alle Elektronen des reinen Wassers gebunden und nur eingeschränkt beweglich sind (Düwel et al. im Druck) | 104 |
| Tab. 22: | Abdeckungsgrad (rel. H) der Propositionen ( $H_{\max} = 39$ ) zum Thema Erdölraffination (Düwel 2019: 25)                                                                                                                                                | 106 |
| Tab. 23: | Anzahl der analysierten Segmente sowie Anzahl der in den Quellen vorkommenden Codes und deren Abdeckungsgrad ( $H_{\max}$ , Codes = 114) (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019: 9)                                                                             | 107 |
| Tab. 24: | Anzahl der in den Quellen vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten ( $H_{\max}$ , Codes = 15) (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019: 13)                  | 108 |
| Tab. 25: | Anzahl der in den Quellen vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zur Erklärung der Elutionswirkung von Laufmitteln in NPC ( $H_{\max} = 17$ ) (Düwel/Eichhorn/Niethammer 2019: 14)                                                | 109 |
| Tab. 26: | Elementare Anforderungen für qualitative Forschungsprojekte (vgl. Qualitätskriterien nach ebd. 2001: 258)                                                                                                                                                | 114 |
| Tab. 27: | Themen methodischer Reflexion für qualitative Forschungsprojekte (vgl. Qualitätskriterien nach ebd. 2001: 258)                                                                                                                                           | 115 |
| Tab. 28: | Lehrplanausschnitt, Klassenstufe 7, Wahlpflichtlernbereich 1 (SMK 2011: 8)                                                                                                                                                                               | 117 |
| Tab. 29: | Lehrplanausschnitt, Klassenstufe 11/12, Chemie-Grundkurs, Lernbereich 3 (SMK 2011: 29)                                                                                                                                                                   | 117 |
| Tab. 30: | Lehrplanausschnitt, Klassenstufe 11/12, Chemie-Leistungskurs, Wahlpflichtbereich 2 (SMK 2011: 37)                                                                                                                                                        | 118 |
| Tab. 31: | Terminverteilung für die Durchführung des C-Tests im ersten Teils der Hauptuntersuchung                                                                                                                                                                  | 123 |
| Tab. 32: | Terminverteilung für die Durchführung des zweiten Teils der Hauptuntersuchung mit SC-Fachtest und den Aufgabenkomplexen des Lehr-Lernkonzeptes                                                                                                           | 124 |
| Tab. 33: | Pilotierung – Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden                                                                                                                                                                   | 142 |
| Tab. 34: | Reliabilität und Item-Mittelwerte für 21 Items ( $n=25$ )                                                                                                                                                                                                | 143 |

|          |                                                                                                                    |     |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 35: | Anzahl Wörter und Lücken der im allgemeinsprachlichen C-Test verwendeten Texte                                     | 146 |
| Tab. 36: | Anzahl Wörter und Lücken der im diskursspezifischen C-Test verwendeten Texte                                       | 147 |
| Tab. 37: | Pilotierung C-Test – Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden                      | 148 |
| Tab. 38: | Ergebnisse der Konsistenzanalyse des C-Tests mit 16 Items                                                          | 149 |
| Tab. 39: | Schwierigkeitsgrad des C-Tests – Trennschärfekoeffizient mit 16 Items                                              | 149 |
| Tab. 40: | Ergebnisse der Konsistenzanalyse des allgemeinsprachlichen C-Test-Teils mit 5 Items                                | 150 |
| Tab. 41: | Schwierigkeitsgrad des allgemeinsprachlichen C-Test-Teils – Trennschärfekoeffizient mit 5 Items                    | 150 |
| Tab. 42: | Ergebnisse der Konsistenzanalyse des diskursspezifischen C-Test-Teils mit 11 Items                                 | 150 |
| Tab. 43: | Schwierigkeitsgrad des diskursspezifischen C-Test-Teils – Trennschärfekoeffizient mit 11 Items                     | 150 |
| Tab. 44: | Ergebnisse der Konsistenzanalyse des reduzierten diskursspezifischen C-Test-Teils mit 6 Items                      | 151 |
| Tab. 45: | Schwierigkeitsgrad des reduzierten diskursspezifischen C-Test-Teils – Trennschärfekoeffizient mit 6 Items          | 151 |
| Tab. 46: | Sechs Items zur Erfassung der Lernmotivation während und nach der Bearbeitung einzelner Tests und Aufgabenkomplexe | 152 |
| Tab. 47: | Qualität der Ausführungen der ersten vier Vpn der Fallstudie                                                       | 162 |
| Tab. 48: | Änderungen in den vier Aufgabenkomplexen                                                                           | 164 |
| Tab. 49: | Relevante Kennwerte des FAM für die Messzeitpunkte T1_En0, T1_SC0 und T2_A0                                        | 176 |
| Tab. 50: | Relevante Kennwerte der drei Items zur Einschätzung der Lernmotivation (MOT) für die weiteren 16 Messzeitpunkte    | 178 |
| Tab. 51: | Reliabilität und Item-Mittelwerte für 18 Items des SC-Tests (prä) der Fallstudie (n=13)                            | 181 |
| Tab. 52: | Itemwerte der aus der Reliabilitätsanalyse entfernten Items bei den Vpn der Fallstudie                             | 181 |
| Tab. 53: | Übersicht zu Inhalten der aus der Reliabilitätsanalyse entfernten Items bei der Fallstudie                         | 182 |
| Tab. 54: | Reliabilität und Item-Mittelwerte für 18 Items des SC-Tests (post) der Fallstudie (n=12)                           | 182 |
| Tab. 55: | Ergebnisse der Konsistenzanalyse des C-Tests der Fallstudie mit 11 Items                                           | 182 |

|          |                                                                                                                                    |     |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 56: | Schwierigkeitsgrad des C-Tests der Fallstudie – Trennschärfekoeffizient mit 11 Items                                               | 183 |
| Tab. 57: | Steuerbefehle für die Erstellung strukturierter Dokumente für den Import in MAXQDA                                                 | 184 |
| Tab. 58: | Liste der Aufgaben der Transkripte                                                                                                 | 185 |
| Tab. 59: | Spaltenbezeichnungen der Tabelle mit den Propositionen aus den Experten-Concept Maps                                               | 188 |
| Tab. 60: | Abstufung der Merkmalsausprägungen für Strukturmerkmale, Eigenschaften und substanzspezifisches Verhalten                          | 189 |
| Tab. 61: | Merkmalsausprägungen der an der dünnschichtchromatografischen Trennung beteiligten Stoffe                                          | 190 |
| Tab. 62: | Kategoriensystem nach den Inhaltsaspekten der sachlogischen Strukturierung zur chromatografischen Trennung eines Stoffgemisches    | 193 |
| Tab. 63: | Systematik des Kategoriensystems für die kategoriale Inhaltsanalyse                                                                | 194 |
| Tab. 64: | Differenzierungen der Propositionen zu Wechselwirkungen der Laufmittel Hexan, Propanol und Toluol mit den Analyten                 | 195 |
| Tab. 65: | Beispiel einer vollständigen Argumentationslinie für die Begründungszusammenhänge des Trennergebnisses mit Propanol als Laufmittel | 197 |
| Tab. 66: | Beispiel einer verkürzten Propositionskette für die Begründungszusammenhänge des Trennergebnisses mit Propanol als Laufmittel      | 199 |
| Tab. 67: | Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden der inhaltlich orientierten Aufgaben                      | 200 |
| Tab. 68: | Kategorien zu Erkenntniswegen für induktives Schließen                                                                             | 202 |
| Tab. 69: | Kategorien zu Erkenntniswegen für deduktives Schließen                                                                             | 204 |
| Tab. 70: | Kategorien zu Erkenntniswegen für regressiv-reduktives Vorgehen                                                                    | 205 |
| Tab. 71: | Kategorien zu Erkenntniswegen für progressiv-reduktives Vorgehen                                                                   | 207 |
| Tab. 72: | Kategorien zu Erkenntniswegen für progressiv-reduktives Vorgehen zur Erarbeitung der Unterschiede zwischen NPC und RPC             | 209 |
| Tab. 73: | Kategorien zu Erkenntniswegen für progressiv-reduktives Vorgehen für 4L3.2                                                         | 211 |
| Tab. 74: | Segmente mit falsch zugeordneten Erkenntniswegen von Vp01, Vp05, Vp06 und Vp11                                                     | 214 |
| Tab. 75: | Kategorien zu genannten Problem- und Fragestellungen im Teil A                                                                     | 216 |
| Tab. 76: | Kategorien zu genannten Problem- und Fragestellungen im Teil B                                                                     | 217 |
| Tab. 77: | Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden der fachdidaktisch orientierten Aufgaben                  | 220 |

|          |                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 78: | Kategorien zu Schülerfehlkonzepten (A1) bzgl. des Laufverhaltens und der Polarität der Analyten                                                                                                                                     | 222 |
| Tab. 79: | Kategorien zum Erwartungsbild 1b–c bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse                                                                                                | 225 |
| Tab. 80: | Kategorien zu Schülerfehlkonzepten (A2) bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse                                                                                           | 226 |
| Tab. 81: | Kategorien zu Schülerfehlkonzepten (A3) bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse                                                                                           | 227 |
| Tab. 82: | Kategorien zu Schülerfehlkonzepten (A4) bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse                                                                                           | 228 |
| Tab. 83: | Kategorien für Erklärung im Unterricht zu Schülerfehlkonzepten (A2, A3, A4) bzgl. der Elutionskraft der vorgegebenen Laufmittel und der daraus resultierenden Trennergebnisse                                                       | 230 |
| Tab. 84: | Zusammenfassende Darstellung der Datenerhebungs- und Auswertungsmethoden der anwendungsorientierten Aufgaben im Teil E                                                                                                              | 232 |
| Tab. 85: | Zeitaufwand der Vpn für die Bearbeitung der Aufgabenkomplexe                                                                                                                                                                        | 235 |
| Tab. 86: | Prozentualer Anteil der von den jeweiligen Vpn abgedeckten Propositionen                                                                                                                                                            | 237 |
| Tab. 87: | Anzahl der Vpn, in deren Dokumenten ein Code jeweils vorkommt (abs. H) und Abdeckungsgrad der Codes (rel. H) in den Ausführungen zu Inhaltsaspekten der Chromatografie (Hmax, Codes = 300)                                          | 237 |
| Tab. 88: | Die 17 von 300 Codes mit einem Abdeckungsgrad von 100 %                                                                                                                                                                             | 238 |
| Tab. 89: | Die 14 von 300 Codes mit einem Abdeckungsgrad von 85 % bis 92 %                                                                                                                                                                     | 239 |
| Tab. 90: | 11 Codes zu Wechselwirkungen und Polarität der Farbstoffkomponenten Buttergelb, Indophenol und Sudanrot mit einem Abdeckungsgrad von 0 %                                                                                            | 239 |
| Tab. 91: | Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse (Hmax, Codes = 11) | 241 |
| Tab. 92: | Code-Konfiguration der Codes zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse (Hmax, Codes = 11, $10 > N_{\text{Codes}} > 7$ )                                                        | 243 |

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 93:  | Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und im Teil A der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse (Hmax, Codes = 11)                                                       | 244 |
| Tab. 94:  | Textsegmente aus Snyder et al. (2010) zur Beschreibung des Verfahrens, der allgemeinen Verhaltensbedingungen und der Trennergebnisse, in denen mindestens sieben der ausgewählten elf Codes vorkommen                                                                                               | 245 |
| Tab. 95:  | Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten (Hmax, Codes = 34)                                                                                | 248 |
| Tab. 96:  | Code-Konfiguration der Codes zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen (Hmax, Codes = 34, $24 > N_{\text{Codes}} > 6$ )                                                                                                                                                                                   | 250 |
| Tab. 97:  | Aussagen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen im ersten Aufgabenkomplex (Teil A) – Vpn, Dokumente (in denen Codes vorkamen), Kennziffern der vorgekommenen Codes, absolute und relative Häufigkeiten der Codes                                                                                       | 251 |
| Tab. 98:  | Aussagen zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen im zweiten Aufgabenkomplex (Teil B) – Vpn, Dokumente (in denen Codes vorkamen), Kennziffern der vorgekommenen Codes, absolute und relative Häufigkeiten der Codes im Vergleich zum ersten Aufgabenkomplex                                              | 252 |
| Tab. 99:  | Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) zu Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie (Hmax, Codes = 36)                                                                                           | 254 |
| Tab. 100: | Die zwei Argumentationslinien zur Erklärung der Elutionswirkung unterschiedlich polarer Laufmittel bei der NPC                                                                                                                                                                                      | 255 |
| Tab. 101: | Code-Konfiguration der Codes zu Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie (Hmax, Codes = 36, $20 > N_{\text{Codes}} > 10$ )                                                                                                                                                 | 256 |
| Tab. 102: | Aussagen zur Erklärung der Elutionswirkung unterschiedlich polarer Laufmittel bei der NPC im ersten Aufgabenkomplex (Teil A) – Vpn, Dokumente (in denen Codes vorkamen), Kennziffern der vorgekommenen Codes, absolute und relative Häufigkeiten der Codes                                          | 257 |
| Tab. 103: | Aussagen zur Erklärung der Elutionswirkung unterschiedlich polarer Laufmittel bei der NPC im zweiten Aufgabenkomplex (Teil B) – Vpn, Dokumente (in denen Codes vorkamen), Kennziffern der vorgekommenen Codes, absolute und relative Häufigkeiten der Codes im Vergleich zum ersten Aufgabenkomplex | 258 |
| Tab. 104: | Übertragungsleistung der Vpn zu Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der am Trennprozess beteiligten Komponenten anhand der Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) (Hmax, Codes = 77)                                        | 261 |

|           |                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 105: | Übertragungsleistung der Vpn zu Elutionswirkung von Laufmitteln in der Normalphasenchromatografie anhand der Anzahl der in den Texten der Quelle E17 und der Vpn vorkommenden Codes (abs. H) und deren Abdeckungsgrad (rel. H) (Hmax, Codes = 76) | 263 |
| Tab. 106: | Zusammenfassung der Ergebnisse zum Erkenntnisgewinn im Verlauf der verschiedenen Stufen des Lehr-Lernkonzepts (Teile A bis D) – rel. Anteil in Prozent der in den Texten der Vpn vorgekommenen Propositionen (Hmax, Codes=300)                    | 265 |
| Tab. 107: | Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn benannten Strukturmerkmale der am Trennprozess beteiligten Komponenten (abs. und rel. H) (Hmax, Codes = 25)                                                                                          | 268 |
| Tab. 108: | Häufigkeitsverteilung der beantworteten didaktisch orientierten Aufgaben                                                                                                                                                                          | 268 |
| Tab. 109: | Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn betrachteten Erkenntniswege in den Aufgaben 1f, 2f, 4L3 und deren Untersetzung                                                                                                                       | 270 |
| Tab. 110: | Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn betrachteten Erkenntniswege in Aufgabe 1f und deren Untersetzung                                                                                                                                     | 271 |
| Tab. 111: | Zusammenfassende Darstellung des von den Vpn dargelegten regressiv-reduktiven Vorgehens in Aufgabe 2f                                                                                                                                             | 273 |
| Tab. 112: | Zusammenfassende Darstellung des von den Vpn des ersten Durchganges dargelegten regressiv-reduktiven Vorgehens in Aufgabe 4L3.1                                                                                                                   | 273 |
| Tab. 113: | Zusammenfassende Darstellung des von den Vpn dargelegten progressiv-reduktiven Vorgehens in Aufgabe 4L3.2                                                                                                                                         | 274 |
| Tab. 114: | Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn betrachteten Problem- und Fragestellungen für den Unterricht in Teil A und B                                                                                                                         | 280 |
| Tab. 115: | Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn betrachteten Problem- und Fragestellungen für den Unterricht in den Aufgaben 1d, 1e, und 1f im Teil A                                                                                                | 281 |
| Tab. 116: | Zusammenfassende Darstellung der von den Vpn bei den Erkenntniswegen in 1f des Teils A berücksichtigten Problem- und Fragestellungen aus 1d und 1e                                                                                                | 281 |
| Tab. 117: | Matrix der von den jeweiligen Vpn vollständig, teilweise oder gar nicht erfassten Fehlkonzepten in den Schülerantworten A1 bis A4 (N=13)                                                                                                          | 283 |
| Tab. 118: | Zusammenfassung der von den jeweiligen Vpn vollständig, teilweise oder gar nicht erfassten Schülerfehlkonzepten                                                                                                                                   | 284 |
| Tab. 119: | Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Schülerantwort 1 (A1; n=11)                                                                                                                                                               | 285 |
| Tab. 120: | Code-Matrix der Bewertungskriterien für Erwartungsbild 1b–c (n=11)                                                                                                                                                                                | 287 |
| Tab. 121: | Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Schülerantwort 2 (A2; n=11)                                                                                                                                                               | 288 |



|           |                                                                                                                                       |     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. 122: | Textsegmente von Vp01, Vp04 und Vp07 zu Antwort 2 (A2) zu Aufgaben 1b–c im Teil E                                                     | 289 |
| Tab. 123: | Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Schülerantwort 3 (A3; n= 11)                                                  | 289 |
| Tab. 124: | Textsegmente von Vp01, Vp04 und Vp07 zu Antwort 3 (A3) zu Aufgaben 1b–c im Teil E                                                     | 290 |
| Tab. 125: | Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Schülerantwort 4 (A4; n= 11)                                                  | 291 |
| Tab. 126: | Textsegmente von Vp01, Vp07 und Vp09 zu Antwort 4 (A4) zu Aufgaben 1b–c im Teil E                                                     | 292 |
| Tab. 127: | Code-Matrix der Bewertungskriterien für die Analyse der Erklärung für den Unterricht zum Beheben der Schülerfehlkonzepte A2–4 (n= 11) | 293 |
| Tab. 128: | Textsegmente von Vp01, Vp02 und Vp04 zur Erklärung für den Unterricht zum Beheben der Schülerfehlkonzepte A2–4                        | 294 |
| Tab. 129: | Gesamtübersicht der wichtigsten statistischen Kenngrößen zu den Aufgabenkomplexen (N= 13)                                             | 295 |

## Tabellenverzeichnis Anhang

|            |                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. A 1:  | Matrix Argumentationslinie zur Begründung der sehr geringen Leitfähigkeit reinen Wassers                                                                                                                                                | 350 |
| Tab. A 2:  | Liste der betrachteten deutschen Lehrbücher zur Chromatografie                                                                                                                                                                          | 362 |
| Tab. A 3:  | Liste der betrachteten englischen Lehrbücher zur Chromatografie                                                                                                                                                                         | 363 |
| Tab. A 4:  | Liste der in den betrachteten deutschen und englischen Lehrbüchern vorkommenden Inhalte zur Chromatografie mit Angabe der jeweiligen Seitenzahl                                                                                         | 364 |
| Tab. A 5:  | Variablen der Testphasen und die jeweils eingesetzten Instrumente                                                                                                                                                                       | 373 |
| Tab. A 6:  | Variablen der FAM-Items nach Skalen zur Erfassung der aktuellen Motivation                                                                                                                                                              | 374 |
| Tab. A 7:  | Variablen der drei MOT-Items und drei FAM-Items zur Erfassung der aktuellen Motivation                                                                                                                                                  | 374 |
| Tab. A 8:  | Variablen zum Fragebogen der Fallstudie                                                                                                                                                                                                 | 375 |
| Tab. A 9:  | Variablen zum C-Test, SC-Test und den Aufgabenkomplexen (Teile A bis E)                                                                                                                                                                 | 378 |
| Tab. A 10: | Propositionsliste des Kategoriensystems zur Auswertung der Daten nach Inhaltsaspekten                                                                                                                                                   | 387 |
| Tab. A 11: | Legende zur Hervorhebung vorgenommener Änderungen und Hinweise zu Codierungen                                                                                                                                                           | 401 |
| Tab. A 12: | Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von drei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „011b Zusammenhänge FD2“ zur Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit Propanol             | 402 |
| Tab. A 13: | Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von drei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „011b Zusammenhänge FD2“ zur Begründung der guten Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol                    | 404 |
| Tab. A 14: | Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von drei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „011b Zusammenhänge FD2“ zur Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit Hexan                | 405 |
| Tab. A 15: | Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von drei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „013EI Retentionsfaktor FD2“ zur Interpretation der RF-Werte bei der Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol | 406 |
| Tab. A 16: | Verwendete Memos zur Kommentierung von Textsegmenten während der Datenanalyse                                                                                                                                                           | 408 |

|                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. A 17: Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von zwei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „013EII Retention NPC FD2“ zur Erklärung des Verdrängungsprinzips bei der NPC | 409 |
| Tab. A 18: Code-Matrix zur Konsistenzprüfung der Codierungen zu allen Codes, die das Farbstoffgemisch spezifizieren                                                                                              | 411 |
| Tab. A 19: Diskussionsfall 1: Segment aus dem Dokument „063EIII Elutionsstärke“ zur Codierung von Aussagen über die Löslichkeit von Analyten in der mobilen Phase                                                | 413 |
| Tab. A 20: Diskussionsfall 2: Segment aus dem Dokument „013EI Retentionsfaktor FD2“ zur Interpretation der RF-Werte bei der Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol                                           | 415 |
| Tab. A 21: Diskussionsfall 3: Segment aus dem Dokument „032c Zusammenhänge FD2“ Codierung von Aussagen über die Stärke von Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyten                                     | 418 |
| Tab. A 22: Diskussionsfall 4: Segment aus dem Dokument „103EII Retention NPC“ Codierung von Aussagen über die Stärke von Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und (Ad)Sorbens                                    | 419 |
| Tab. A 23: Diskussionsfall 5: Segment aus dem Dokument „122c Zusammenhänge“                                                                                                                                      | 420 |
| Tab. A 24: Liste der nicht codierten Segmente                                                                                                                                                                    | 483 |
| Tab. A 25: Table 2.1 aus Snyder et al. (2010: 22)                                                                                                                                                                | 510 |
| Tab. A 26: Table 8.1 aus Snyder et al. (2010: 372)                                                                                                                                                               | 513 |
| Tab. A 27: Textsegmente zu Frage- und Problemstellungen für den Unterricht (1d, 1e, 1g)                                                                                                                          | 514 |
| Tab. A 28: Textsegmente zu Frage- und Problemstellungen für den Unterricht (2d, 2e)                                                                                                                              | 520 |
| Tab. A 29: Alle Textsegmente zu Erwartungsbild, Antwort 1 und Erklärung für den Unterricht bzgl. Aufgabe 1a im Teil E                                                                                            | 521 |
| Tab. A 30: Alle Textsegmente zum Erwartungsbild bzgl. der Aufgaben 1b–c im Teil E                                                                                                                                | 527 |
| Tab. A 31: Alle Textsegmente zu Antwort 2 (A2) bzgl. der Aufgaben 1b–c im Teil E                                                                                                                                 | 529 |
| Tab. A 32: Alle Textsegmente zu Antwort 3 (A3) bzgl. der Aufgaben 1b–c im Teil E                                                                                                                                 | 533 |
| Tab. A 33: Alle Textsegmente zu Antwort 4 (A4) bzgl. der Aufgaben 1b–c im Teil E                                                                                                                                 | 536 |
| Tab. A 34: Alle Textsegmente zur Erklärung für den Unterricht zum Beheben der Schülerfehlkonzepte A2–4                                                                                                           | 540 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tab. A 35: Korrelationstabelle zu englischen und fachbezogenen Vorkenntnissen<br>(T1_En, T1_SC, T1_A) und Erkenntnisgewinn, Zeitaufwand,<br>Schülerfehlkonzepte, Frage- und Problemstellungen sowie<br>Erkenntniswege (T2_A_B_C_D, t_T2_D, T2_E_Mw, T2_d_e_f,<br>T2_AB_d_e, T2_ErkW_ges) | 545 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

Die Tabellen A 36–44 wurden nur in dem Exemplar an die Gutachter veröffentlicht.



## Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung      | Definition                                                    |
|----------------|---------------------------------------------------------------|
| A1 (v)/(t)/(n) | Antwort 1 vollständig erkannt/teilweise erkannt/nicht erkannt |
| A2 (v)/(t)/(n) | Antwort 2 vollständig erkannt/teilweise erkannt/nicht erkannt |
| A3 (v)/(t)/(n) | Antwort 3 vollständig erkannt/teilweise erkannt/nicht erkannt |
| A4 (v)/(t)/(n) | Antwort 4 vollständig erkannt/teilweise erkannt/nicht erkannt |
| BFR            | Berufliche Fachrichtung                                       |
| ge             | gering                                                        |
| gepo           | gering polar                                                  |
| ho             | hoch                                                          |
| hopo           | hochpolar                                                     |
| i. S. v.       | im Sinne von                                                  |
| LAGA           | Lern-, Arbeits- und Gestaltungsaufgaben                       |
| LM             | Laufmittel                                                    |
| LPT            | Labor- und Prozesstechnik                                     |
| LsA            | Laufstrecke Analyt                                            |
| LsLM           | Laufstrecke Laufmittel                                        |
| mPh            | mobile Phase                                                  |
| NPC            | Normalphasenchromatografie (normal phase chromatography)      |
| R <sub>F</sub> | Retentionsfaktor                                              |
| RPC            | Umkehrphasenchromatografie (reversed phase chromatography)    |
| stPh           | stationäre Phase                                              |
| V              | Vergleichssubstanz                                            |
| Vp             | Versuchsperson                                                |
| Vpn            | Versuchspersonen                                              |
| WW             | Wechselwirkungen                                              |



## **TEIL IV: ANHANG**





## 16 Anhang zu Kapitel 8

### 16.1 Concept Maps zum Thema „Wasser“ unter dem Stoffaspekt

Die Formatierung der Konzepte gibt an, ob sie eine Eigenschaft oder ein Strukturmerkmal sind. Kursiv gedruckt sind die Relationen und Konzepte, die eine Bedingung enthalten. Somit können Relationen, durch die konkrete Begriffe den jeweils übergeordneten Begriffen zugeordnet worden wären, entfallen. Das dient der besseren Übersichtlichkeit. Die Begriffe und Relationen der einzelnen Propositionen wurden entsprechend den Kategorien zur sachlogischen Strukturierung unter dem Stoffaspekt (s. Abb. 1) formatiert. Die Hauptkategorien sind:

- Eigenschaften des Wassers (**fett umrandete Konzepte**)
  - physikalische
  - chemische (Reaktionsverhalten)
- Bedingungen für Eigenschaften/Verhaltensbedingungen (*Schrift kursiv*)
- Struktur des Wassers (**rechteckig umrandete Konzepte**)
- Anwendungskontexte (**grau unterlegte Konzepte**)
  - Verwendung
  - Vorkommen/Entstehung
  - Identifikation/
  - Herstellung/ Gewinnung
  - Wirkung auf Mensch, Tier, Pflanze, Atmosphäre/Gefahr (Umgang)
  - Entsorgung

Tab. A 1: Matrix Argumentationslinie zur Begründung der sehr geringen Leitfähigkeit reinen Wassers

| Aspekt der SLS     | Proposition                                                                      | engl. Text | dt. Text |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
| Eigenschaften      | Wasser rein ist Wasser als Substanz                                              | 1          | 1        |
|                    | Wasser als Substanz hat Eigenschaft                                              | 1          | 1        |
|                    | Leitfähigkeit ist Eigenschaft                                                    | 1          | 1        |
|                    | Wasser als Substanz hat sehr gering Leitfähigkeit                                | 1          | 0        |
| Str allg           | <i>Struktur-Eigenschaftsbeziehungen</i>                                          |            |          |
|                    | Wasser als Substanz hat Strukturmerkmal                                          | 1          | 1        |
|                    | Strukturmerkmal begründet Eigenschaft                                            | 1          | 1        |
| StrE Leitfähigkeit | Ladungsträger frei beweglich begründet Leitfähigkeit                             | 0          | 0        |
|                    | Hydroxidion ist Ion                                                              | 1          | 0        |
|                    | Hydroniumion ist Ion                                                             | 1          | 0        |
|                    | Ion ist Ladungsträger                                                            | 0          | 0        |
|                    | Elektron ist Ladungsträger                                                       | 0          | 0        |
|                    | Ion ist in wässriger Lsg frei bewegl. Ladungsträger                              | 0          | 0        |
|                    | Ion frei beweglich transportiert Elektron <sup>146</sup>                         | 0          | 0        |
|                    | Elektron frei bewegl. bewegt sich im Stromkreis v. Spannungsquelle               | 0          | 0        |
|                    | Elektron frei bewegl. bewegt sich im Stromkreis zu Verbraucher (Leuchtmittel)    | 0          | 0        |
|                    | Spannungsquelle ist im Stromkreis verbunden mit Verbraucher (Leuchtmittel)       | 0          | 0        |
|                    | Stromkreis hat Spannungsquelle                                                   | 0          | 0        |
|                    | Stromkreis hat Verbraucher                                                       | 0          | 0        |
|                    | Verbraucher (Leuchtmittel) erzeugt Signal (Licht)                                | 0          | 0        |
|                    | Signal (Licht) zeigt an geschlossen Stromkreis                                   | 0          | 0        |
|                    | Signal (Licht) zeigt an Leitfähigkeit                                            | 0          | 0        |
| StrE Protolyse     | Protolyse ist zw. zwei Reaktanten Übertragung von Proton                         | 0          | 0        |
|                    | Autoprotolyse ist Protolyse                                                      | 0          | 0        |
|                    | Wasser als Substanz hat sehr gering Autoprotolyse                                | 0          | 0        |
|                    | Elektronenpaar frei am Sauerstoffatom mit neg. Partialladung begründet Protolyse | 1          | 0        |
|                    | Proton hat positive Ladung                                                       | 0          | 0        |
|                    | Elektronenpaar frei am Sauerstoffatom bindet Proton                              | 1          | 0        |
|                    | Hydroxidion entsteht bei Autoprotolyse                                           | 0          | 0        |
|                    | Hydroniumion entsteht bei Autoprotolyse                                          | 0          | 0        |
|                    | Wasser als Substanz hat sehr gering Konzentration Hydroxidion                    | 1          | 0        |
|                    | Wasser als Substanz hat sehr gering Konzentration Hydroniumion                   | 1          | 0        |

<sup>146</sup> Mit dieser Proposition sind die Redoxreaktionen gemeint, die die Ionen an den jeweiligen Polen eines Stromkreises eingehen. Negativ geladene Ionen (Anionen) wandern zum positiven Pol und werden durch Abgabe von Elektronen oxidiert. Positiv geladene Ionen (Kationen) wandern zum negativen Pol und werden durch Aufnahme von Elektronen reduziert. Auf diese Weise werden Elektronen in galvanischen Elementen durch Ionen transportiert.

| Aspekt der SLS            | Proposition                                                                                           | engl. Text | dt. Text |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|
| StrE Polarität            | Elektronegativität ist relatives Maß für Anziehungskraft auf Bindungselektronen                       | 0          | 0        |
|                           | Sauerstoffatom hat hoch Elektronegativität                                                            | 1          | 0        |
|                           | Wasserstoffatom hat gering Elektronegativität                                                         | 0          | 0        |
|                           | Anziehungskraft auf Elektronen hoch am Sauerstoffatom begründet am Sauerstoffatom neg. Partialladung  | 1          | 0        |
|                           | Anziehungskraft auf Elektronen hoch am Sauerstoffatom begründet am Wasserstoffatom pos. Partialladung | 0          | 0        |
|                           | Sauerstoffatom hat negative Partialladung                                                             | 1          | 0        |
|                           | Wasserstoffatom hat positive Partialladung                                                            | 1          | 0        |
|                           | Molekül gewinkelt hat hoch Polarität                                                                  | 1          | 1        |
| Str Bindungs-verhältnisse | Wasser als Substanz hat gewinkelt Molekül                                                             | 1          | 1        |
|                           | Molekül gewinkelt ist Strukturmerkmal.                                                                | 1          | 1        |
|                           | Molekül gewinkelt hat zwei Elektronenpaarbindung                                                      | 1          | 1        |
|                           | Elektronenpaar gebunden ist Elektronenpaarbindung                                                     | 1          | 1        |
|                           | Molekül gewinkelt hat Sauerstoffatom                                                                  | 1          | 1        |
|                           | Molekül gewinkelt hat Wasserstoffatom                                                                 | 1          | 1        |
|                           | Sauerstoffatom hat zwei frei Elektronenpaar                                                           | 1          | 1        |
|                           | Sauerstoffatom hat zwei gebunden Elektronenpaar                                                       | 1          | 1        |
|                           | Wasserstoffatom zwei hat je ein gebunden Elektronenpaar                                               | 1          | 1        |
|                           | Elektronenpaar frei hat Platzbedarf                                                                   | 0          | 0        |
|                           | Elektronenpaar gebunden hat Platzbedarf                                                               | 0          | 0        |
|                           | Platzbedarf begründet tetraedrisch Anordnung Elektronenpaar                                           | 0          | 0        |
|                           | Anordnung Elektronenpaar tetraedrisch minimiert zw. Elektronen Abstoßung                              | 1          | 0        |
|                           | Anordnung EP tetraedrisch begründet gewinkelt Molekül                                                 | 0          | 0        |
|                           | Elektronenpaar hat gebunden Elektron                                                                  | 1          | 0        |
|                           | Wasser als Substanz hat gebunden Elektron                                                             | 1          | 0        |
|                           | SUMME                                                                                                 | 29         | 15       |
|                           | relative Häufigkeit ( $N = 55$ )                                                                      | 52,7 %     | 27,3 %   |

Str: Struktur; StrE: Struktur-Eigenschaftsbeziehungen

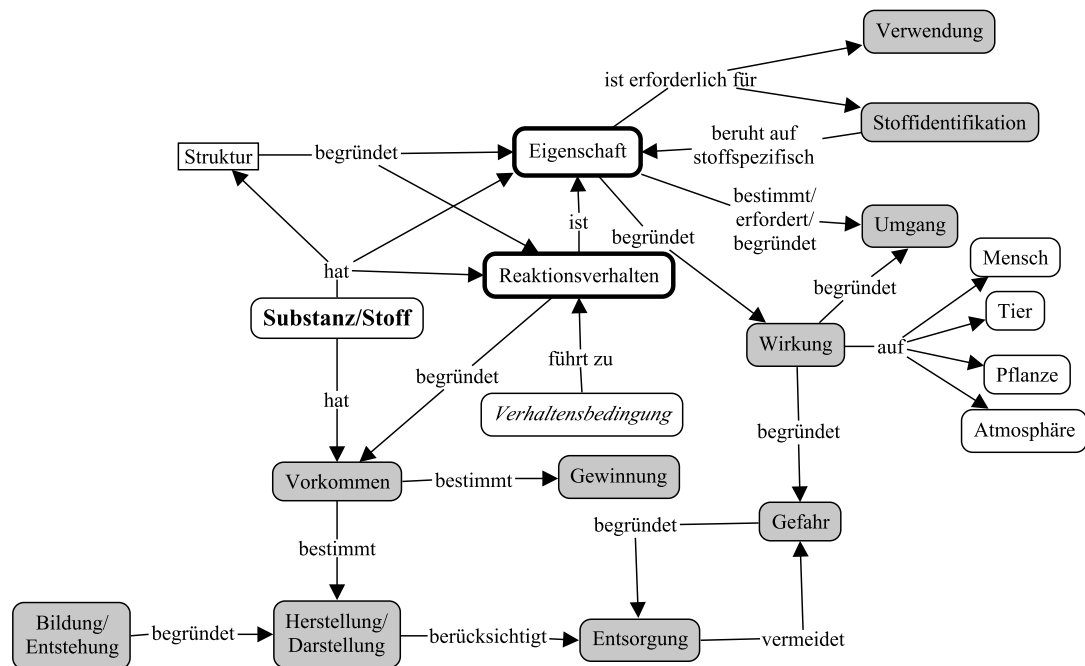


Abb. A 1: Concept Map zur sachlogischen Strukturierung der Inhalte und Inhaltsrelationen bei der Betrachtung von Materialien bzw. Substanzen (Dübel/Eichhorn/Niethammer im Druck)

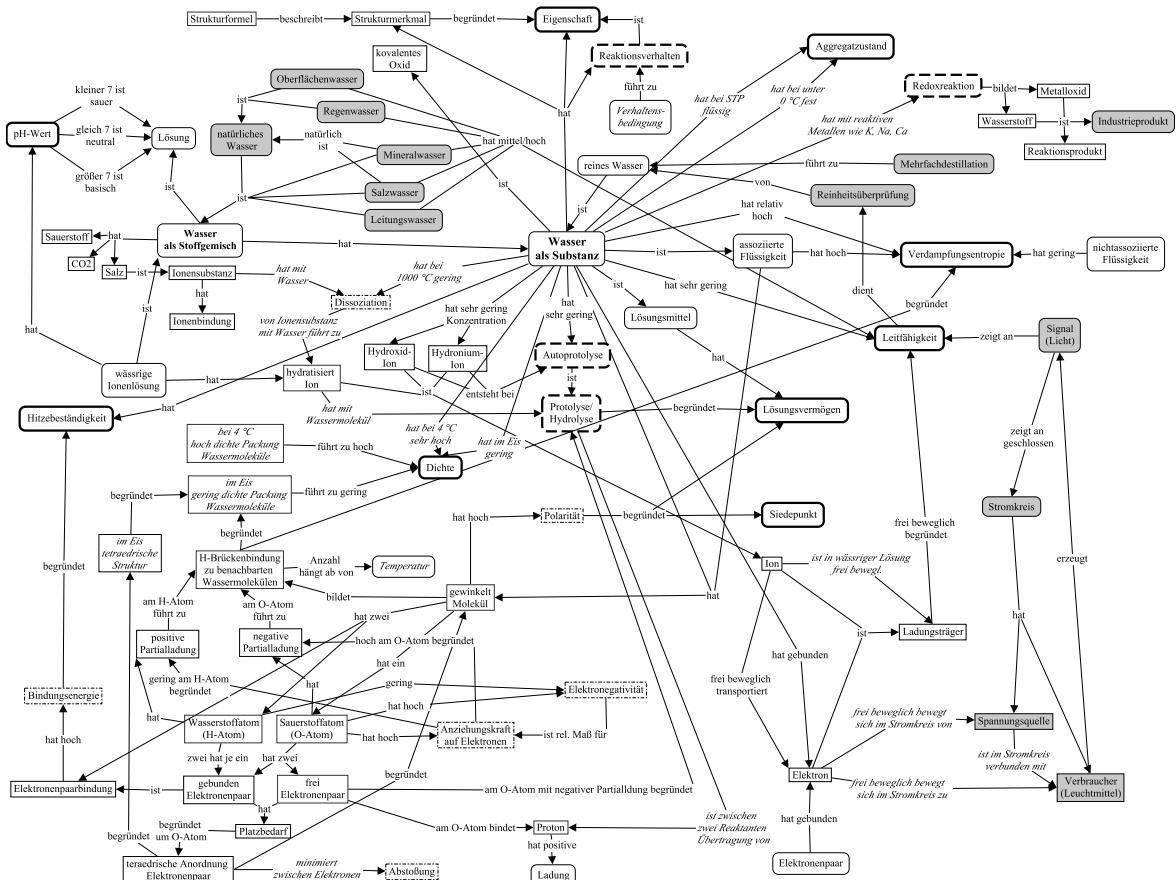


Abb. A 2: Experten-Concept-Map zum Thema „Wasser“ (Düwel/Eichhorn/Niethammer im Druck)

## 16.1 Concept Maps zum Thema „Wasser“ unter dem Stoffaspekt

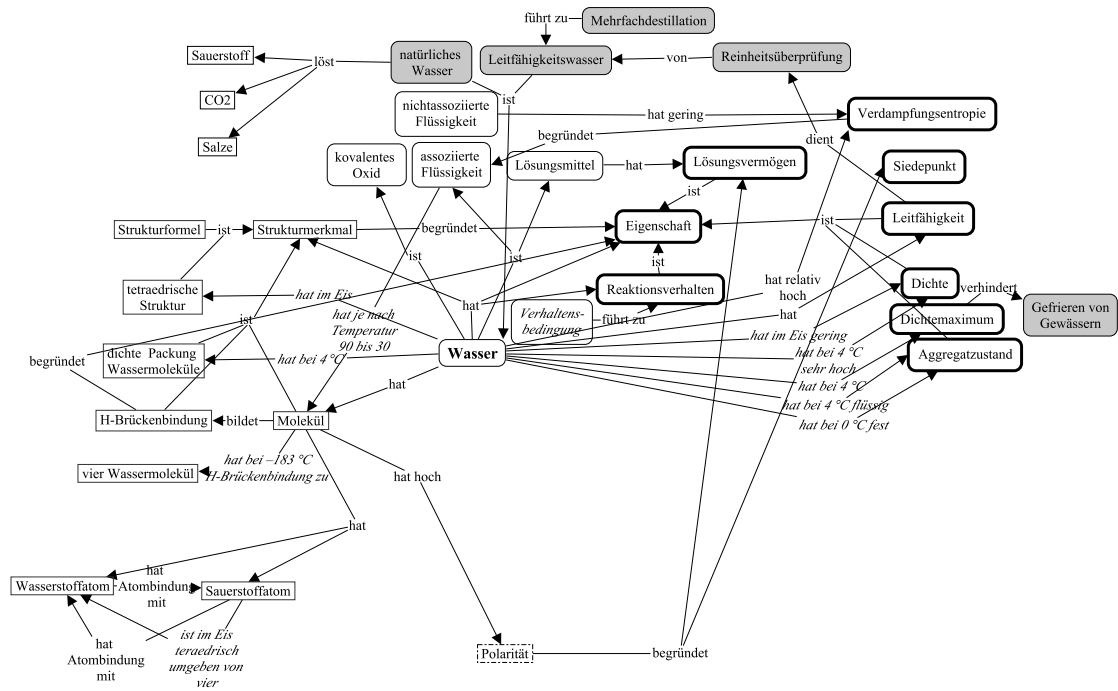


Abb. A 3: Concept Map zum deutschen Text zum Thema „Wasser“ (Christen 1985:489–491)

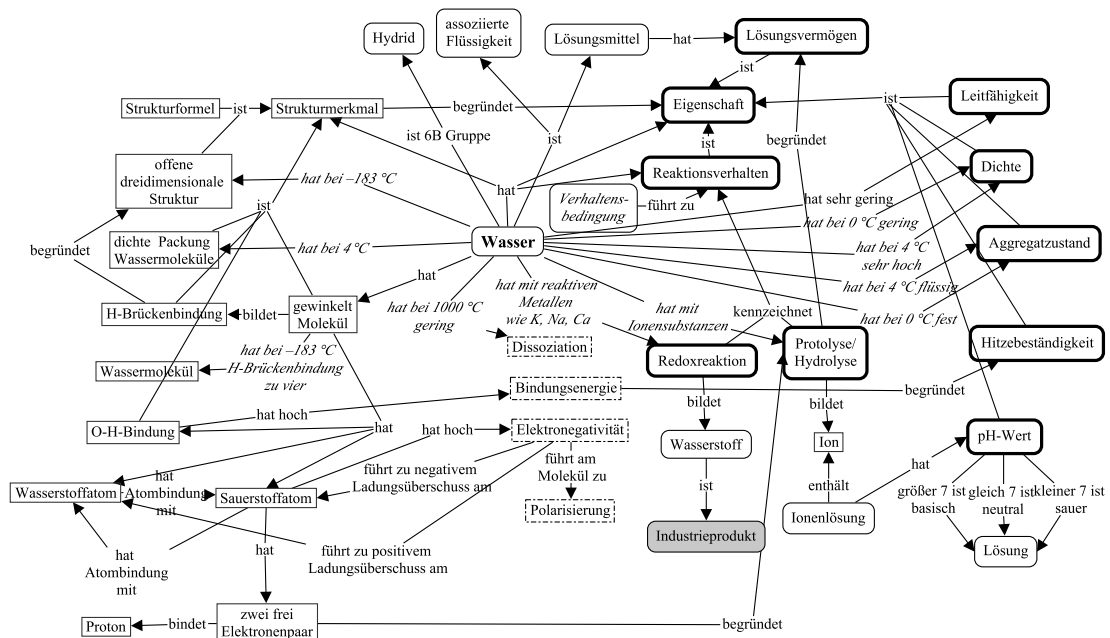


Abb. A 4: Concept Map zum englischen Text zum Thema „Wasser“ (Liptrot 1990:292)

## 16.2 Concept Map zum Thema „Erdölraffination“ unter dem Verfahrensaspekt

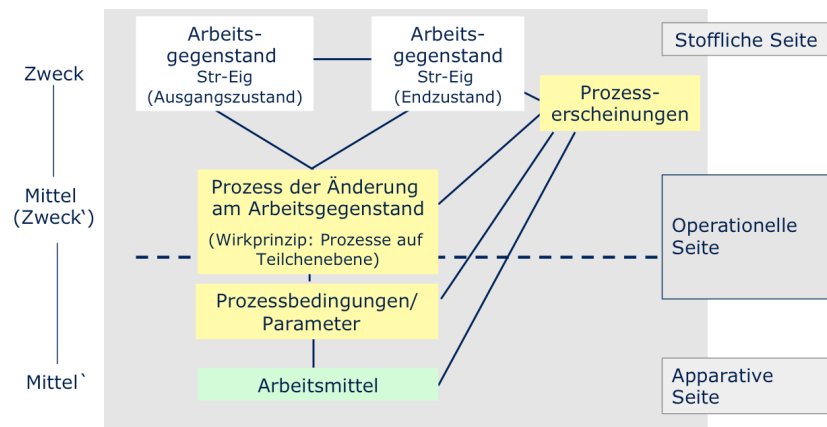


Abb. A 5: Schema zur sachlogischen Strukturierung der Inhalte und Inhaltsrelationen bei der Betrachtung von Verfahren (Düwel 2019: 24)

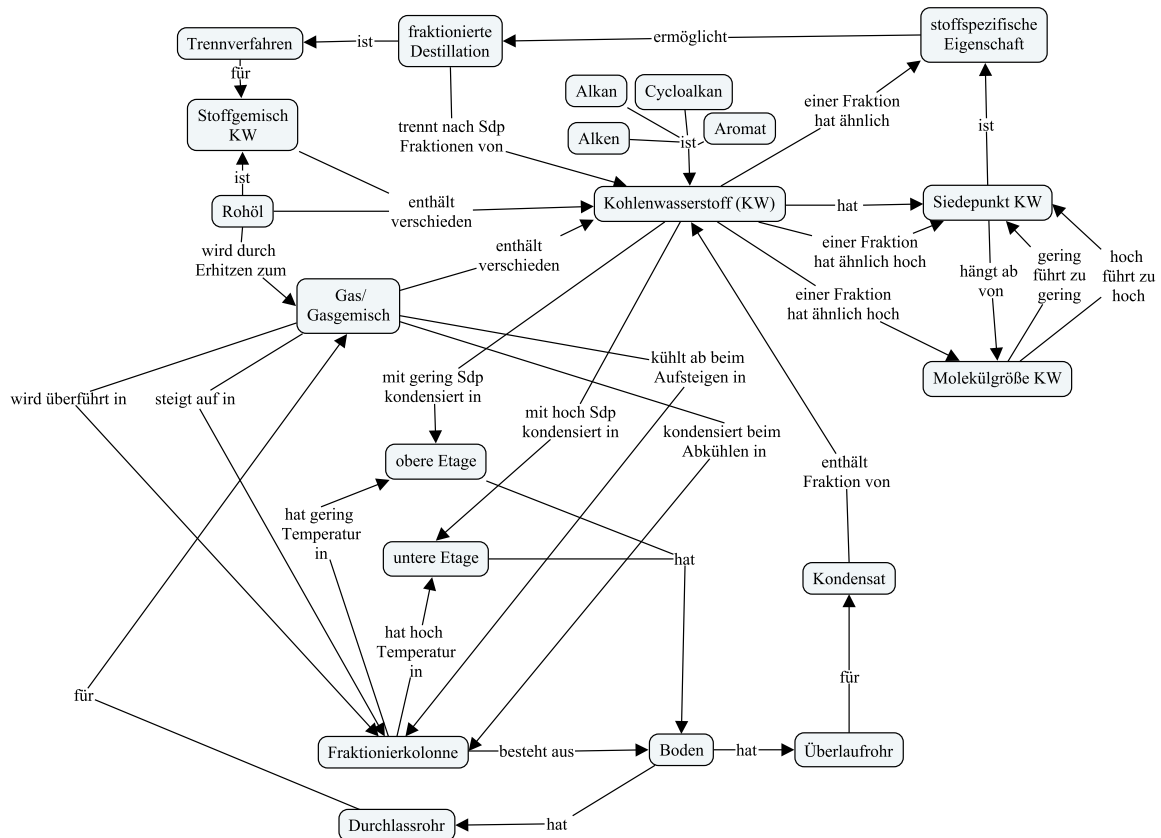


Abb. A 6: Experten-Concept Map zum Thema „Erdölraffination“ (Düwel 2019: 24)

### 16.3 Concept Map zum Thema „Chromatografie“ unter dem Verfahrens- und Analysenaspekt

Die Begriffe und Relationen der einzelnen Propositionen wurden entsprechend den Kategorien zur sachlogischen Strukturierung unter dem Verfahrens- und Analysenaspekt (s. Abb. 45) formatiert.

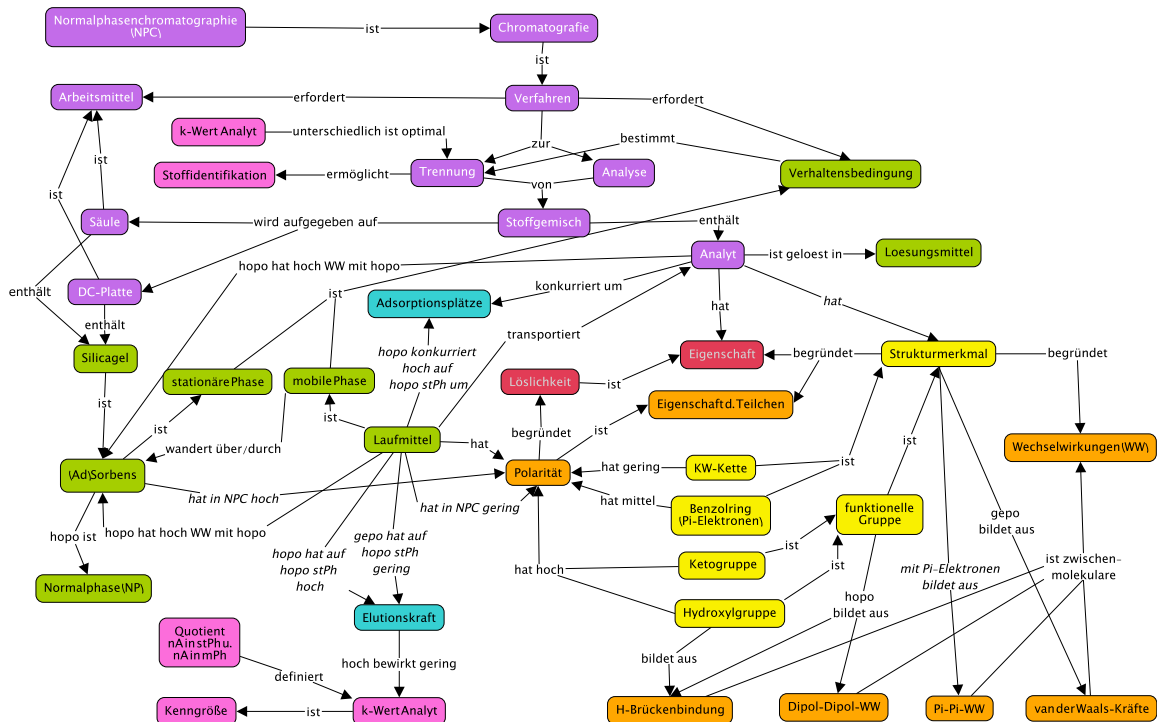


Abb. A 7: Experten-Concept Map zum Thema „Chromatografie“ (Düwel et al. 2019: 7)





## 17 Anhang zu Kapitel 9 – Dokumente zur Fallstudie



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

---

**Fakultät Erziehungswissenschaften** Institut für Berufliche Fachrichtungen

Berufliche Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik, Didaktik der Chemie

---

### **Teilnahme an Studie**

Liebe Interessenten für die Teilnahme an meiner Studie,

in meiner Dissertation untersuche ich den Einsatz englischer Fachtexte bei der Inhaltsanalyse und -aufbereitung eines Themas für den Chemieunterricht. Die Zielgruppe meiner Untersuchung sind Studierende des Lehramtes an Mittelschulen sowie des Höheren Lehramtes an allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen mit dem Fach Chemie bzw. Labor- und Prozesstechnik (LPT).

Daher suche ich Teilnehmer/-innen mit folgenden Voraussetzungen:

1. Studium Lehramt Chemie und/oder LPT
2. Fachsemester: 5. und höher

Die Teilnahme an den Tests und der schriftlichen Befragung ist freiwillig. Die erhobenen Daten werden anonym erhoben und ausgewertet. Sie dienen ausschließlich dem oben genannten Zweck.

Für die Voruntersuchung werden **30 bis 50 Teilnehmer/-innen** benötigt. Die Dauer der jeweiligen Testeinheiten beträgt:

- |                              |                                             |
|------------------------------|---------------------------------------------|
| 1. Beantwortung Fragebögen:  | je 5 bis 10 Minuten (ca. 30 Minuten gesamt) |
| 2. Bearbeitung Testaufgaben: | ca. 70 Minuten                              |

Für die Hauptuntersuchung werden **max. 15 Teilnehmer/-innen** der Voruntersuchung ausgewählt. Die Dauer der jeweiligen Arbeitsphasen beträgt:

1. Übungseinheit Concept Mapping: ca. 60 Minuten
2. Beantwortung Fragebögen: je 5 Minuten (ca. 15 Minuten gesamt)
3. Bearbeitung einer komplexen Aufgabe: ca. 3 Stunden

In einem der Fragebögen werden personenbezogene Daten erfasst wie Geschlecht, Alter, Schul-/ Berufsbildung und Noten in den naturwissenschaftlichen Fächern und Englisch.

Für die Teilnahme ist keine besondere Vorbereitung nötig.

Bei Interesse bitte in die beigelegte Liste eintragen. Ort und Zeit für die Durchführung der Tests werden dann in Absprache mit allen Teilnehmer/innen vereinbart. Die Voruntersuchung soll möglichst Ende Januar/Anfang Februar 2017 stattfinden. Für die Hauptuntersuchung ist ein Termin Ende März/Anfang April vorgesehen.

Für Verpflegung wird an den Versuchstagen gesorgt. Die Teilnehmer/-innen der Hauptuntersuchung erhalten zusätzlich als Aufwandsentschädigung einen USB-Stick.

Über Ihre Bereitschaft zur Teilnahme würde ich mich sehr freuen!

Mit freundlichen Grüßen

Frauke Düwel

### **Kontaktdaten**

Dipl.-Berufspäd. Frauke Düwel  
Tel: + 49 (351) 463-33192  
Fax: + 49 (351) 463-33020

E-Mail: [frauke.duewel@tu-dresden.de](mailto:frauke.duewel@tu-dresden.de)  
<https://tu-dresden.de/gsw/ew/ibbd/ct>  
Besucheradresse: Weberplatz 5; Zi. 26; 01217 Dresden

*Abb. A 8: Informationsblatt für die Vpn der Hauptuntersuchung*

05.01.2017

## TEILNEHMER\*INNEN FÜR STUDIE GESUCHT!



### Zur Studie Einsatz englischer Fachtexte

Im Rahmen einer Dissertation wird der Einsatz englischer Fachtexte bei der Inhaltsanalyse und -aufbereitung eines Themas für den Chemieunterricht untersucht.

Dazu suchen wir für **den 6. Februar 2017, 9 Uhr (Dauer: ca 2 Stunden mit Pausen)** für die Voruntersuchung **30 bis 50 Studierende**, die als Teilnehmer\*innen zur Verfügung stehen. Für die Hauptuntersuchung werden max. 15 Teilnehmer/-innen der Voruntersuchung ausgewählt. Dazu ist ein Termin **im März/Anfang April** vorgesehen.

Als Aufwandsentschädigung werden an den Versuchstagen Getränke und eine Kleinigkeit zu essen bereitgestellt. Die Teilnehmer/-innen der Hauptuntersuchung erhalten zusätzlich einen USB-Stick.

Mehr zur Studie erfahren Sie auf [OPAL!](#)

Abb. A 9: Newsbeitrag auf der Internetseite der Beruflichen Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik; Didaktik der Chemie zur Akquise von Studierenden zur Teilnahme an der Fallstudie



**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

---

**Fakultät Erziehungswissenschaften** Institut für Berufliche Fachrichtungen  
Berufliche Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik, Didaktik der Chemie

---

**Einverständniserklärung**

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Daten des Fragebogens und der Tests der Vor- und Hauptuntersuchung von Frauke Düwel für den genannten Zweck ihres Forschungsprojektes (Dissertation) verwendet werden dürfen.

| <b>Nr</b> | <b>Nachname</b><br>(Druckbuchstaben) | <b>Vorname</b><br>(Druckbuchstaben) | <b>E-Mail-Address</b><br>(Druckbuchstaben) | <b>Datum</b> | <b>Unterschrift</b> |
|-----------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|--------------|---------------------|
| 1         |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 2         |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 3         |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 4         |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 5         |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 6         |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 7         |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 8         |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 9         |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 10        |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 11        |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 12        |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 13        |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 14        |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 15        |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 16        |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 17        |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 18        |                                      |                                     |                                            |              |                     |
| 19        |                                      |                                     |                                            |              |                     |

*Abb. A 10: Vorlage für die Einverständniserklärung der Vpn der Hauptuntersuchung*



## 18 Anhang zu Kapitel 11

### 18.1 Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation (FAM)

**Bitte geben Sie an, inwieweit folgende Aussagen auf Sie zutreffen.**

*Bitte Zutreffendes in jeder Zeile ankreuzen.*

| Nr | Inhalt                                                                                    | 1<br>trifft nicht<br>zu  | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7<br>trifft zu           |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1  | Ich mag solche Rätsel und Knobeleyen.                                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2  | Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3  | Wahrscheinlich werde ich die Aufgabe nicht schaffen.                                      | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4  | Bei der Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5  | Ich fühle mich unter Druck, bei der Aufgabe gut abschneiden zu müssen.                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6  | Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich.                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7  | Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8  | Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9  | Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich hier blamieren könnte.                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11 | Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12 | Es ist mir etwas peinlich, hier zu versagen.                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13 | Ich glaube, dass kann jeder schaffen.                                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14 | Ich glaube, ich schaffe diese Aufgabe nicht.                                              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15 | Wenn ich die Aufgabe schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16 | Wenn ich an die Aufgabe denke, bin ich etwas beunruhigt.                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17 | Eine solche Aufgabe würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.                         | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18 | Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmen mich.                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## 18.2 Liste der betrachteten deutschen und englischen Lehrbücher zur Chromatografie

Tab. A 2: Liste der betrachteten deutschen Lehrbücher zur Chromatografie

|       | Titel                                                                                                                                                                                                       | Auswahl Seiten                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| [D1]  | Bauer K. Dünnschicht-Chromatographie: Eine Einführung. Heidelberg: Hüthig; 1989.                                                                                                                            | 4-12, 15 f., 18-23               |
| [D2]  | Krauss G, Krauss G. Experimente zur Chromatographie. Berlin: Deutscher Verlag d. Wiss., VEB; 1979.                                                                                                          | 18 f., 36-39, 76-87              |
| [D3]  | Randerath K. Dünnschicht-Chromatographie: Monographien zu Angewandte Chemie und Chemie-Ingenieur-Technik ; 78. 2nd ed. Weinheim: Verl. Chemie; 1965.                                                        | 4-19, 33-36                      |
| [D4]  | Schwedt G. Chromatographische Praxis in der anorganischen Analyse: Beispiele zur qualitativen u. quantitativen Analyse mit Dünnschicht-, Säulen- u. Gas-Chromatographie. Stuttgart, New York: Thieme; 1982. | 1-4                              |
| [D5]  | Schwedt G. Chromatographische Trennmethode: Theoretische Grundlagen, Techniken und analytische Anwendungen ; 32 Tabellen. 2nd ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 1986.                                           | 1-13, 30 f., 42-44, 57-68, 94-96 |
| [D6]  | Schwedt G. Taschenatlas der Analytik. 3rd ed. Weinheim: Wiley-VCH-Verl; 2007.                                                                                                                               | 142-151                          |
| [D7]  | Stahl E, Bolliger HR. Dünnschicht-Chromatographie: Ein Laboratoriumshandbuch. Berlin: Springer; 1962.                                                                                                       | 31 f., 44 f., 138-140            |
| [D8]  | Wollrab A. Chromatographie: Adsorption, Säulenchromatographie, Dünnschichtchromatographie, Papierchromatographie, Gaschromatographie. Köln: Aulis-Verl. Deubner; 1991.                                      | 2-8, 21, 34-36, 74 f.            |
| [D9]  | Eppert G. Flüssigchromatographie: HPLC – Theorie und Praxis; mit 31 Tab. und 62 Aufgaben mit Lösungen. 3rd ed. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg; 1997.                                                       | 5-9, 51-66, 83-98, 196 ff.       |
| [D10] | Flörke U, Wolff R, Glaum E, Böhmer V. Chemie. Bonn: Dümmler; op. 1988-cop. 1991.                                                                                                                            | 125, 157 f., 182, 308-312        |
| [D11] | Jastorff B, Jastorff-Störmann-Wölcke, Störmann R, Wölcke U. Struktur-Wirkungs-Denken in der Chemie: Eine Chance für mehr Nachhaltigkeit. Bremen [u.a.]: Aschenbeck & Isensee; 2003.                         | 38-75                            |

Tab. A 3: Liste der betrachteten englischen Lehrbücher zur Chromatografie

|       | <b>Titel</b>                                                                                                                                | <b>Auswahl Seiten</b>                                                           |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| [E1]  | Brady JE, Humiston GE. General chemistry: Principles and structure. 4th ed. New York: Wiley; 1986.                                          | 657 f.                                                                          |
| [E2]  | Brand I, Grime R. Longman chemistry, 11-14. Harlow: Longman; 2002.                                                                          | 64 f., 158 f.                                                                   |
| [E3]  | Dean JR. Practical skills in chemistry. Harlow: Prentice Hall; 2002.                                                                        | 205-210, 216 f.                                                                 |
| [E4]  | Ellett B. Oxford chemistry study dictionary. South Melbourne, Vic: Oxford University Press; 2000.                                           | 5, 33 f., 53, 178                                                               |
| [E5]  | Faust CB. Modern Chemical Techniques: Royal Soc.of Chemistry, Educ. Divn; 1992.                                                             | 116-122                                                                         |
| [E6]  | Gallagher R, Ingram P, Whitehead P. Chemistry. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 1996.                                               | 158 f.                                                                          |
| [E7]  | Randerath K, Libman DD. Thin-Layer Chromatography. Weinheim: Verl. Chemie; 1963.                                                            | 4-17, 29-31                                                                     |
| [E8]  | Rubinson JF, Robinson KA. Contemporary chemical analysis. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall; 1998.                                      | 404-409, 423-434                                                                |
| [E9]  | Sadek PC. Illustrated dictionary of separation sciences: Electrophoretic and chromatographic techniques. New York, Chichester: Wiley; 2003. | 4-6, 52, 64 f., 98, 101, 128 f., 136, 150 f., 169 f., 174, 179-185, 198 f., 208 |
| [E10] | Skoog DA. Analytical chemistry: An introduction. 7th ed. Fort Worth: Saunders College Pub; 2000.                                            | 646-649                                                                         |
| [E11] | Tyson J. Analysis: What analytical chemists do. London: Royal Society of Chemistry; 1988.                                                   | 141-148                                                                         |
| [E12] | Christian GD. Analytical chemistry. 4th ed. New York: Wiley; 1986.                                                                          | 441 ff., 479-484                                                                |
| [E13] | Geiss F. Fundamentals of thin layer chromatography: Planar chromatography. Heidelberg, New York: A. Hüthig; 1987.                           | 225-261, 296-298                                                                |
| [E14] | Meyer V. Practical high-performance liquid chromatography. 4th ed. Chichester, New York: John Wiley; 2004.                                  | 4-22, 73-81, 114-118, 146-166                                                   |
| [E15] | Sadek PC. The HPLC solvent guide. 2nd ed. New York: Wiley-Interscience; 2002.                                                               | 45 ff., 75-85, 216-230                                                          |
| [E16] | Scott, Raymond P. W. Liquid chromatography column theory. Chichester, West Sussex, Eng, New York: Wiley; 1992.                              | 1-6                                                                             |
| [E17] | Snyder LR, Kirkland JJ, Dolan JW. Introduction to modern liquid chromatography. 3rd ed. Hoboken, N.J: Wiley; 2010.                          | 19-35, 208-213, 217-234, 253-271                                                |
| [E18] | Touchstone JC. Practice of thin layer chromatography. 3rd ed. New York: Wiley; 1992.                                                        | 1-13, 86-106, 184-192                                                           |
| [E19] | Wall PE. Thin-layer chromatography: A modern practical approach. Cambridge: Royal Society of Chemistry; 2005.                               | 6-17, 86-100                                                                    |



Tab. A 4: Liste der in den betrachteten deutschen und englischen Lehrbüchern vorkommenden Inhalte zur Chromatografie mit Angabe der jeweiligen Seitenzahl

| Quelle | Inhalte zur Chromatografie  |                  |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
|--------|-----------------------------|------------------|------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------------|
|        | Chromatografie (Einführung) | TLC              | Adsorption / -chromatografie | WW          | Zu trennendes Gemisch | Eluent / eluierte Reihe / Elutionsstärke | Stationäre Phase / SIL | Dreieck-Schema nach Stahl | hydrophob / Umkehrphase / NP | Löslichkeit | Kenngrößen | Toluol    | Propanol  | Hexan     | Trennbeispiele |
| D1     |                             | 4-8, 22 f.       | 9-11                         |             |                       | 18-20, 27 f.                             | 15 f.                  | 20 f.                     |                              |             | 11 f.      |           |           |           |                |
| D2     | 18 f.                       | 36-39            | 76 f.                        |             |                       | 82-84                                    | 77-79                  |                           |                              |             |            |           |           |           | 85-87          |
| D3     |                             | 4-6              | 7-10                         |             |                       | 11, 15-17                                | 11-14, 33-36           | 17-19                     |                              |             |            |           |           |           |                |
| D4     | 1                           | 1-4              |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| D5     | 1-8                         | 94 f.            | 9-13, 57-64, 95 f.           |             |                       | 64-66                                    |                        | 67 f.                     | 42-44                        |             | 30 f.      |           |           |           |                |
| D6     | 142 f., 146 f.              | 148-151          |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| D7     | 138                         |                  |                              |             | 139                   | 139                                      | 139 f.                 | 31 f., 140                |                              |             |            |           |           |           | 44 f.          |
| D8     |                             | 21               | 2-8, 21                      |             |                       | 34 f.                                    |                        | 35 f.                     |                              |             | 74 f.      |           |           |           |                |
| D09    | 5 ff.                       | 196 ff.          |                              |             |                       | 83 ff.                                   | 55 ff.                 | 52                        |                              |             |            |           |           |           |                |
| D10    |                             |                  |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            | 182       | 157 f.    | 125       |                |
| D11    |                             |                  |                              | 38-75       |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            | 42 f., 65 | 42 f., 65 | 42 f., 65 |                |
| E1     |                             |                  |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E2     | 64 f.                       |                  |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E3     | 205-210                     | 216 f.           |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E4     | 33 f.                       | 178              | 5                            |             |                       | 53                                       |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E5     | 116 f.                      | 119-122          |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E6     |                             |                  |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E7     |                             | 4-6              | 7-9                          |             |                       | 10, 14-16                                | 11-14, 29-31           | 17                        |                              |             |            |           |           |           |                |
| E8     | 404-409                     | 423-425, 431-434 |                              |             |                       | 427                                      |                        |                           | 425-428                      |             |            |           |           |           |                |
| E9     |                             | 52, 150-151, 198 | 4-6                          | 208         |                       | 64-65, 129, 174, 183 f.                  | 179 f., 185            |                           | 98, 136                      | 101, 128    | 169 f.     | 199       |           |           |                |
| E10    | 646-649                     |                  |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E11    | 143-146                     | 146-148          |                              |             |                       |                                          |                        |                           |                              | 141 f.      |            |           |           |           |                |
| E12    | 441 ff.                     | 479 f.           | 445                          |             |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E13    |                             |                  |                              |             |                       |                                          | 226 ff.                |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E14    | 4 f.                        |                  | 7, 146 ff.                   |             |                       | 73 ff., 149 ff.                          | 114                    |                           | 159 ff.                      |             |            |           |           |           |                |
| E15    |                             |                  |                              |             | 224                   | 45 ff.                                   |                        |                           |                              |             | 219 ff.    | 78        | 219 ff.   | 82 ff.    |                |
| E16    | 1 ff.                       |                  |                              | 4 ff.       |                       |                                          |                        |                           |                              |             |            |           |           |           |                |
| E17    | 19 ff.                      |                  |                              | 30 ff., 228 |                       | 33 f., 257                               | 208, 217 ff.           |                           | 220 ff.                      |             |            |           |           |           |                |
| E18    |                             | 1 ff.            | 2                            | 88 f.       | 89, 91 ff.            | 86 ff.                                   |                        |                           |                              |             | 9          |           |           |           | 184 ff.        |
| E19    |                             | 86               |                              | 90          |                       | 86-96                                    | 7 ff.                  | 96 ff.                    | 15 ff.                       |             |            |           |           |           |                |

### 18.3 Berücksichtigte Kriterien bei der Zusammenstellung des Textmaterials

In Anlehnung an Befunde zur Einschätzung der didaktischen Wirksamkeit von Textstrukturierungs- und -gestaltungsmitteln (vgl. Göpferich 1998: 61–87, Janich 2004: 92–101) werden folgende Kriterien für die Textgestaltung zur Erleichterung der Textrezeption bei der Formatierung und Zusammenstellung der Textvorlagen für die Fallstudie berücksichtigt:

1. Texte werden nach Relevanz zur Aufgabenbearbeitung gegliedert/ausgewählt
2. Textabschnitte werden in der Originalformatierung der Ausgangsquelle übernommen und sind damit einheitlich formatiert (Ausnahme kurze Textabschnitte im dritten Aufgabenkomplex, die wie der Fließtext der Aufgabenstellungen formatiert wurde)
3. Quellenangaben erfolgen nach Absatzende (betrifft dritten Aufgabenkomplex)
4. Aufgabenstellungen werden auf Wesentliches reduziert, damit Studierende schnell erfassen, worum es geht.

Darüber hinaus sind noch Kriterien zur Textverständlichkeit zu beachten (vgl. Göpferich 2006: 154–186):

- I. Kommunikative Funktion des zusammengestellten Textmaterials, die sich zusammensetzt aus Zweck des Textes, seinen Adressaten und seinem Sender (vgl. ebd.: 156–158)
  1. (Verwendungs)zweck des zusammengestellten Textmaterials und der Anlagen zu den Aufgabenkomplexen durch die Autorin (ist nicht identisch mit dem Zweck der Originaltexte):  
Studierende als Empfänger durch die Ausführungen im Text dazu befähigen, die dargestellte Problemstellung zur DC-Trennung eines lipophilen Farbstoffgemisches (insbesondere der Einfluss verschieden polarer Laufmittel auf das Trennergebnis) mit Schülerinnen und Schülern zu erarbeiten
  2. Adressaten: Studierende ab 5. Fachsemester im Studiengang Lehramt an Gymnasien oder an berufsbildenden Schule:
    - a. sind in der Lage, Texte, die für Studierende des Faches Chemie oder Fachleute (Akademiker, Wissenschaftler) geschrieben sind, zu verstehen
    - b. sind in Bezug auf soziodemografische Daten heterogen (z. T. abgeschlossenes Fachstudium / Berufsausbildung / unterschiedliche Anzahl Fachsemester)
    - c. sind in besonderer Rezeptionssituation (im Seminarraum mit Kommilitonen oder an einem Arbeitsplatz im Büro); Ablenkung mag Konzentrationsfähigkeit beeinflussen;
    - d. erhalten ausreichend Zeit zur Bearbeitung der Aufgaben, da Zeitdruck hemmen mag oder zu Oberflächlichkeit führen kann
  3. Sender: einerseits die Autoren, die die Texte verfasst haben, sind sich dieser besonderen Anwendungssituation nicht bewusst gewesen. Ihr Ziel lag darin, einem breiten Fachpublikum Zusammenhänge über chromatografische Trenn-

verfahren näher zu bringen (mal überblicksartig, mal detailliert je nach Kapitel). Andererseits beeinflusst Autorin der Fallstudie, die Verständlichkeit der Originaltexte durch eigene Zusammensetzung einzelner Passagen, um Vpn direkt mit relevanten Textstellen zu konfrontieren, ohne dass sie selbst zu viel Zeit verlieren. Das betrifft insbesondere den dritten Aufgabenkomplex. Die soziale Relation zwischen Sender und Empfänger ist in beiden Fällen ‚höher-zu-tiefer‘.

## II. Textproduktions-Eckdaten (ebd.: 158–163)

1. Mentales Denotatsmodell (bezieht sich auf das, was verstanden werden soll): im Idealfall entstehen bei der Textrezeption im Kopf des Rezipienten unter Einbringung seines Vorwissens mentale Modelle der Gegenstände und Sachverhalte. Je nach Voraussetzungen der Rezipienten können diese vom Textproduzenten abweichen, der in der Exteriorisierungsphase die in seinem Gedächtnis vorhandenen mentalen Repräsentation der Gegenstände und Sachverhalte codiert hat. In der Textauswahl wird darauf geachtet, dass Textpassagen an das zu erwartende Vorwissen der Vpn anknüpfen.
2. Mentales Konventionsmodell (fungiert als eine Art *advance organizer*<sup>148</sup>): bezieht sich auf Textsortenkonventionen (z. B. Gliederungsstruktur von Textsorten); in dieser Studie sind die Grundlage Textstücke aus einem Lehrbuch für den universitären Bereich, einer Textsorte, mit der die Vpn vertraut sind. Originalgliederungsstruktur und Makrostruktur werden allerdings z. T. verändert. Die textsortenspezifisch standardisierten Formulierungen hingegen werden beibehalten.  
Es sind durch das Zusammenstellen der Textpassagen durch Auslassung von inhaltlich weniger relevanten Textabschnitten Konventionsverstöße nicht auszuschließen, die beim Rezipienten top-down Prozesse in Gang setzen. D. h. der Rezipient versucht, die Konventionsverstöße zu interpretieren. Dadurch wird er vom eigentlichen Thema abgelenkt, sodass Verarbeitungskapazität in Anspruch genommen wird.
3. Medium: Texte bestehen aus Text und Bild. Bilder, auf die im Text verwiesen wird, werden übernommen, sodass „der Kreativität bei der Konstruktion mentaler Denotatsmodelle weniger Grenzen gesetzt [sind] als bei einer rein verbalen Vermittlung“ (ebd.: 161). Hier determiniert die wissenschaftliche Fragestellung der Fallstudie das Medium (Textabschnitte und Abbildungen aus einem Lehrbuch für den universitären Bereich).
4. Juristische und redaktionelle Richtlinien treffen in dieser Fallstudie nicht zu, da Texte nach eigenem Ermessen zusammengestellt oder formatiert wurden.

---

<sup>148</sup> „der es dem Rezipienten erleichtert, die Informationen, die er aufnimmt in einen Zusammenhang zu bringen, es steuert seine Erwartungen zu dem, was im Text als nächstes behandelt wird, und auch zur Art der Versprachlichung (Stil, Fertigstücke, Terminologie etc.), in der dies geschieht. Werden seine Erwartungen erfüllt, so erleichtert ihm das mentale Konventionsmodell das Verstehen“ (ebd.: 160–161).

Sie haben höchstens eine Rolle bei dem Autorenteam der Originaltextquelle gespielt. So sind im zweiten Aufgabenkomplex die Textpassagen in der original vorliegenden Formatierung übernommen worden. Nur die dazugehörigen Abbildungen sind gebündelt ans Textende gesetzt worden, um den Vpn die Arbeit mit dem Textmaterial zu erleichtern. Das war ein Vorschlag einer Vp aus dem ersten Durchgang des zweiten Teils der Fallstudie, der für die weiteren Durchgänge umgesetzt wurde.

### III. Verständlichkeitsdimensionen (vgl. ebd.: 163–186)

1. Prägnanz: Unter diesem Aspekt gibt es vier Arten von Verstößen, die vermieden werden sollten

- a. Fehlende oder überflüssige Details im Denotatsmodell
- b. Lange statt kurze Formulierungen
- c. Tautologien
- d. Redundanzen

Auf diese Art Verstöße ist der Originaltext nicht analysiert worden. Textpassagen sind in der Originalfassung übernommen worden. Die Auswahl der Textpassagen folgte nach inhaltlichen Gesichtspunkten der den Aufgabenkomplexen übergeordneten Fallsituation.

Zu a: z. B. Redundanzen (überflüssige Details im Denotatsmodell) sind in englischen Quellen eher gegeben, da Autoren in ihrer Argumentation Begründungszusammenhänge ausführlich darlegen, was zwangsläufig zu Redundanzen führen kann. Für Rezipienten mit geringem Vorwissen (wie es bei der Mehrheit der Vpn in dieser Fallstudie zu erwarten ist) zu einer Thematik haben Redundanzen Vorteile. Wenn ein Rezipient Sachverhalte aus vorherigen Textpassagen, auf die in späteren Textpassagen Bezug genommen wird, nicht mehr abrufbar hat, dann helfen Redundanzen beim Verständnis solcher Textpassagen. Daher wurden für schwierige Sachverhalte Textpassagen aus verschiedenen Kapiteln zusammengefügt, die inhaltlich zwar ähnlich sind, aber Zusammenhänge an unterschiedlichen Beispielen erläutern.

Zu b: geringst möglicher Zeichenaufwand ist schwer realisierbar, da das Textmaterial auf eine heterogene Adressatengruppe zugeschnitten wird. Daher werden Texte auch Definitionen von Fachtermini enthalten, die für einige Vpn überflüssig sind, für andere wiederum nicht.

2. Korrektheit (Fehler im Text erschweren Rezipienten das Verständnis): Einer der Autoren (Lloyd R. Snyder) war auf dem Gebiet der Chromatografie ein hoch anerkannter Fachwissenschaftler (vgl. Molnár 2019), auf dessen Daten zur Chromatografie auch deutsche Autoren Bezug nehmen (z. B. Schwedt 1986:68). Das Buch des Autorenteam (Snyder/Kirkland/Dolan 2010), aus dem die Texte sind, ist eine Einführung in die Flüssigkeitschromatografie und wurde bei Erscheinen ein Bestseller (vgl. Molnár 2019:509). Die Flüssigkeitschromatografie wird von Grund auf erklärt, dass auch Rezipienten mit geringen Vorkenntnissen einen Zugang zu den Begründungszusammenhängen

chromatografischer Trennungen finden müssten. In der Fallstudie wurde die 3. Auflage verwendet. Vor dem Hintergrund der genannten Aspekte müsste der Aspekt der Korrektheit ausreichend gewährleistet sein.

3. Motivation (gemeint ist die, die der Text aus sich selbst heraus schafft): auf der Ebene des mentalen Denotatsmodells liefert das ausgewählte Fachbuch viele Beispiele (vielfach veranschaulicht an Chromatogrammen, also Primärdaten durchgeführter Analysen), an denen die Zusammenhänge chromatografischer Verfahren erläutert werden. Abbildungen werden im Text genau beschrieben und interpretiert, dass der Rezipient die Interpretation der Abbildungen mit Hilfe des Textes nachvollziehen kann. Auf der Codierungsebene enthält der Text metakommunikative Elemente (s. Tab. 12, S. 81), um den Rezipienten bspw. zu informieren, welchen Fokus eine Textpassage hat, die bei ausreichendem Vorwissen auch übersprungen werden kann (vgl. Snyder/Kirkland/Dolan 2010:30).
4. Struktur (die inhaltliche): der Text ist klar gegliedert und arbeitet viel mit *advance organizers*, „die die Erwartungen des Lesers steuern und es ihm erleichtern, das Aufgenommene zu strukturieren und die Informationen zueinander in Beziehung zu setzen“ (Göpferich 2006:174).
5. Simplizität (Wortwahl und Syntax): die Texte aus Snyder/Kirkland/Dolan (2010) sind aus lexikalischer und syntaktischer Sicht als anspruchsvoll einzustufen. Fachtermini zur Chromatografie mögen vielen Vpn der Fallstudie noch unbekannt sein. Sie werden zwar im Text definiert, aber dann an anderer Stelle als Fachbegriffe genutzt, was voraussetzt, dass sich der Rezipient die Bedeutung der Fachbegriffe gemerkt hat.
6. Perzipierbarkeit: bezieht sich auf die formal-gestalterischen Texteigenschaften, über die die sinnliche Aufnahme des Textes beeinflusst wird. Die wurde im Wesentlichen so belassen wie im Original, nur dass Abbildungen gebündelt ans Ende des Textes gesetzt wurden. Außerdem wurde für die ausgewählten Textabschnitte und Abbildungen ein Inhaltsverzeichnis angelegt, dass Vpn der Fallstudie schnell Zugriff auf für sie inhaltlich relevante Textpassagen haben.

#### **18.4 Konstruktionsprinzipien zur Erstellung von Concept Maps bei naturwissenschaftlichen Themen**

- Ein Concept Map besteht aus Aussagen (Propositionen) über die Beziehung zwischen zwei oder mehreren Begriffen (Konzepten).
- Ein Begriff (Konzept) ist ein einzelnes Substantiv, in Einzelfällen eine Wortgruppe (z. B. „Merkmal flüssig“, „kovalentes Oxid“, „Molekülgröße Kohlenwasserstoff (KW)“, „obere Etage“).
- Markierte Begriffe (Konzepte) werden auf Klebezettel geschrieben (auch Begriffe, die nicht direkt im Text genannt werden).
- Begriffe werden so angeordnet, dass zusammenhängende Begriffe nah beieinander sind.

- Die miteinander in Beziehung stehenden Begriffe werden durch beschriftete Pfeile verbunden. Der Begriff (das Konzept), von dem der Pfeil ausgeht, wird als Vorbereichskonzept (VK) bezeichnet. Der mit dem Vorbereichskonzept in Beziehung gesetzte Begriff wird als Nachbereichskonzept (NK) bezeichnet.
- Alle Pfeile müssen beschriftet werden.
- Verknüpfungswörter sind häufig Verben (und sollten möglichst im Aktiv verwendet werden), können aber auch Adjektive, Adverbien oder Konjunktionen enthalten oder sein (z. B. „Rohöl enthält verschiedenen Kohlenwasserstoff“).
- Ist eine Relation an eine Bedingung geknüpft, wird diese auf den Pfeil geschrieben (z. B. „geht durch Erwärmen über in“); genauso verfährt man am besten mit Spezifikationen der Vor- und Nachbereichskonzepte (z. B. Ladungsträger frei beweglich begründet Leitfähigkeit).
- Spezifikationen wie z. B. „hoch“ der Vor- und Nachbereichskonzepte werden am besten auch auf den Pfeil geschrieben (Molekülgröße KW hoch führt zu hoch Siedepunkt KW).
- Auf bestimmte und unbestimmte Artikel zu den Begriffen wird verzichtet.
- Verknüpfungen/Relationen können auch Adjektive, Adverbien und Konjunktionen enthalten.
- Stehen zwei Konzepte in einem hierarchischen Verhältnis zueinander, ist die Pfeilrichtung der Relation immer vom untergeordneten zum übergeordneten Begriff (z. B. „Dichte ist Eigenschaft“ nicht „Eigenschaft ist Dichte“).
- Grammatische Fehler können vernachlässigt werden, da ein Begriff häufig mehrfach verknüpft wird und dieser Begriff für die jeweilige Relation im Numerus oder Genus geändert werden müsste. Daher sind möglichst Begriffe im Singular und Nominativ zu verwenden.
- Werden Beispiele zu einem Begriff genannt, sollte immer als Relation „z. B.“ verwendet werden, da „wie“ auch bei Vergleichen verwendet wird und somit nicht immer eindeutig gedeutet werden kann.

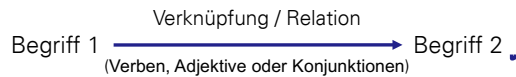
### 18.5 Material zum Concept Mapping Workshop

Diese Folien sind aus dem Material einer Lehrveranstaltung „Strukturieren, Argumentieren, Beweisen“, die im Ergänzungsbereich der Fakultät Erziehungswissenschaften der TU Dresden angeboten wurde. Die Lehrveranstaltung wurde von Dr. Velichka Rayanova und der Autorin gehalten. Die hier aufgeführten Folien wurden von der Autorin erstellt und im Concept Mapping Workshop eingesetzt.

## Begriffsnetz – „Concept Mapping“

Definition: Concept Map ist ein Begriffsnetz, das Zusammenhänge zwischen einzelnen Begriffen, Objekten, Ereignissen usw. darstellt.

Bestandteile eines/einer Concept Map:



Aussage über Beziehung zwischen  
zwei oder mehreren Begriffen = Proposition  
(einzelne Wörter/Wortgruppen)

Quelle: Fürstenau, Bärbel / Trojahn, Iris / Kneppers, Lenie / (2011): Einführung Concept Mapping, Handout zum internationalen Projekt: Concept Mapping and Summary Writing as Learning Tools in Problem-Oriented Learning

Zugehörige Publikationen:

Fürstenau, B. & Kneppers, L. (2014). Concept Mapping und Zusammenfassen als Lernstrategien beim fallbasierten Lernen. *Berufsbildung*, 68, Heft 147, S. 37-39.  
 Fürstenau, B., Kneppers, L., & Dekker, R. (2012). Concept Mapping and Text Writing as Learning Tools in Problem-Oriented Learning. In A. J. Cañas, J. D. Novak, & J. Vanhear (Eds.), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proc. of the Fifth International Conference on Concept Mapping (Vol. 1)* (pp. 97-104). Malta: University of Malta.  
 Fürstenau, B. & Kneppers, H. C. (2010). Concept Mapping as Learning Tool in Problem-Oriented Learning. In J. Sanchez, A. J. Cañas, J. D. Novak (Eds.), *Concept Maps: Making Learning Meaningful. Proc. of Fourth International Conference on Concept Mapping (Vol. 1)* (pp. 137-145). Viña del Mar, Chile: Universidad de Chile.

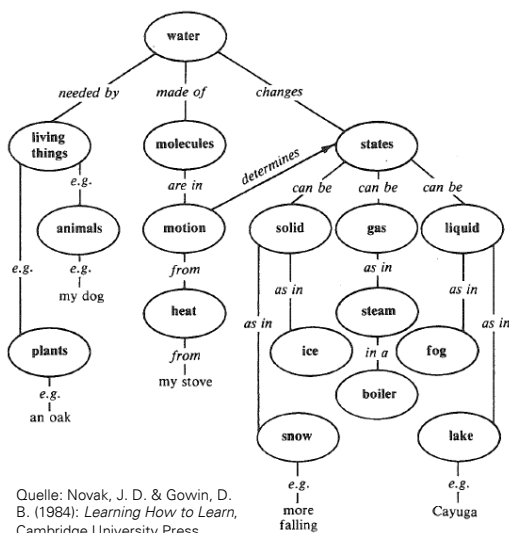
61

Ergänzungsbereich: Strukturieren, Argumentieren, Beweisen

© Rayanova/Düwel

## Begriffsnetz – „Concept Mapping“

propositions



Quelle: Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984): *Learning How to Learn*, Cambridge University Press.

62

Ergänzungsbereich: Wissensstrukturen, -logik, -erwerb

© Rayanova/Düwel

### Begriffe/Konzepte

- water
- molecules
- motion
- heat
- states
- solid
- gas
- liquid
- steam
- ice
- fog
- boiler
- snow
- lake
- living things
- animals
- plants

### Relationen

- needed by
- made of
- change(s)
- determine(s)
- is/are in
- from
- as in
- can be
- e. g.



Institut für Berufliche Fachrichtungen; Berufliche Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik und Fachdidaktik Chemie

## Begriffsnetz – „Concept Mapping“

Vorgehensweise zur Erstellung einer/s Concept Maps:

1. Verschaffen Sie sich einen Überblick über den gesamten Text.
  - Überfliegen Sie den Text so, dass Sie einen ersten Eindruck von seinem Aufbau und Inhalt erhalten.
  - Achten Sie auf Überschriften, Anfänge der einzelnen Abschnitte, Schlüsselwörter oder bekannte Begriffe.
2. Beantworten Sie die folgenden Fragen:
  - Womit beschäftigt sich der Text im Kern?
  - Welche(r) Begriff(e) ist/sind für den Text zentral?
3. Teilen Sie den Text in sinnvolle Abschnitte, damit Sie ihn abschnittsweise bearbeiten können.
4. Lesen Sie die einzelnen Textabschnitte sorgfältig und markieren Sie die wichtigsten Begriffe.

Quelle: Fürstenau, Bärbel / Trojahnner, Iris / Kneppers, Lenie / (2011): Einführung Concept Mapping, Handout zum internationalen Projekt: Concept Mapping and Summary Writing as Learning Tools in Problem-Oriented Learning

64

Ergänzungsbereich: Strukturieren, Argumentieren, Beweisen

© Rayanova/Düwel



Institut für Berufliche Fachrichtungen; Berufliche Fachrichtung Labor- und Prozesstechnik und Fachdidaktik Chemie

## Begriffsnetz – „Concept Mapping“

Erstellung der Concept Map

- markierte Begriffe auf Klebezettel schreiben (auch Begriffe, die nicht direkt im Text genannt werden)
- Begriffe so anordnen, dass zusammenhängende Begriffe nah beieinander sind
- Begriffe durch beschriftete Pfeile verbinden

Bitte beachten:

- alle Pfeile müssen beschriftet werden!
- Verknüpfungswörter sind häufig Verben (sollten möglichst im aktiv verwendet werden)
- Begriffe können beliebig oft miteinander verbunden werden
- Concept Map muss ihre Gedanken möglichst vollständig darstellen

Quelle: Fürstenau, Bärbel / Trojahnner, Iris / Kneppers, Lenie / (2011): Einführung Concept Mapping, Handout zum internationalen Projekt: Concept Mapping and Summary Writing as Learning Tools in Problem-Oriented Learning

65

Ergänzungsbereich: Strukturieren, Argumentieren, Beweisen

© Rayanova/Düwel



### 18.6 Originaltextabschnitte aus deutschem Lehrbuch zum Thema „Wasser“

Diesen Text erhielten die Vpn der Fallstudie zu der Aufgabe, ein Concept Map zu erstellen:

„Unter den kovalenten Oxiden – die besser im Zusammenhang mit den entsprechenden Elementen behandelt werden – besitzt das **Wasser** dank seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften nicht nur für die Chemie, sondern für die ganze belebte und unbelebte Natur eine gewaltige Bedeutung. Seine in mancher Hinsicht einzigartigen Eigenschaften lassen sich letzten Endes alle auf die Struktur des  $\text{H}_2\text{O}$ -Moleküls und dessen Fähigkeit, sehr starke Wasserstoffbrücken bilden zu können, zurückführen (Tabelle 14.3).

Im Eis ist ein O-Atom tetraedrisch von vier H-Atomen umgeben, von denen zwei durch Atombindungen und zwei durch H-Brücken gebunden werden. Diese Anordnung gibt eine sehr voluminöse, lockere Struktur (Abb. 14.7 und 14.8). Beim Schmelzen bricht die Gitterordnung zusammen, und die Moleküle können sich dichter zusammenlagern, so daß Wasser bei 0 °C eine höhere Dichte besitzt als Eis. Beim weiteren Erwärmen nimmt einerseits die Raumbeanspruchung der Teilchen zu (stärkere Wärmebewegung), andererseits wird die Ordnung immer mehr gestört, und die Teilchen lagern sich enger zusammen. Als Folge dieser einander entgegengesetzten Effekte zeigt Wasser ein Maximum der Dichte bei 4 °C. Dieses *Dichtemaximum* verhindert ein vollständiges Gefrieren auch nur wenig tiefer Gewässer. Auch oberhalb 4 °C ist im *flüssigen Wasser* innerhalb gewisser Bereiche (die je nach Temperatur etwa 90 bis 30  $\text{H}_2\text{O}$ -Moleküle umfassen) eine gewisse *Ordnung* vorhanden. Ein Beweis dafür ist die relativ hohe Verdampfungsentropie von  $109 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  (nicht assoziierte Flüssigkeiten besitzen gewöhnlich Verdampfungsentropien um  $109 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ). Die hohe Polarität des Moleküls bedingt den „abnorm“ hohen Siedepunkt ( $\text{H}_2\text{O}$  100 °C,  $\text{H}_2\text{S}$  –61 °C) und das ausgezeichnete Lösevermögen für Salze und für Verbindungen aus stark polaren Molekülen, wie Harnstoff, Alkohol, Zucker usw.

Natürliches Wasser ist niemals rein (auch Regenwasser enthält Sauerstoff und  $\text{CO}_2$  gelöst). Die wichtigsten gelösten Bestandteile von Leitungswasser sind neben Sauerstoff und  $\text{CO}_2$  Salze wie  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ , usw. („Härte“ des Wassers, siehe S. 557). Durch mehrfache Destillation kann man völlig reines „Leitfähigkeitswasser“ erhalten (Prüfung der Reinheit durch Messung der Leitfähigkeit).“ (Christen 1985: 488–491)

## 19 Anhang zu Kapitel 12

### 19.1 Listen der Variablen

#### 19.1.1 Variablen der Testphasen der Hauptuntersuchung

Tab. A 5: Variablen der Testphasen und die jeweils eingesetzten Instrumente

| Abk.   | Bezeichnung der Phase in der Hauptuntersuchung                                                           | Eingesetzte Instrumente                        |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| T1_En0 | Teil 1 der Hauptuntersuchung zu Beginn des C-Tests                                                       | Fragebogen, C-Test, FAM (18 Items)             |
| T1_En1 | Teil 1 der Hauptuntersuchung nach allgemeinsprachlichen Teil des C-Tests                                 | C-Test, MOT/FAM (6 Items)                      |
| T1_En2 | Teil 1 der Hauptuntersuchung nach diskursspezifischem Teil des C-Tests                                   | C-Test, MOT/FAM (6 Items)                      |
| T1_SC0 | Teil 1 der Hauptuntersuchung zu Beginn des SC-Fachtests                                                  | SC-Fachtest, FAM (18 Items)                    |
| T1_SC1 | Teil 1 der Hauptuntersuchung während des SC-Fachtests nach Aufgaben 7                                    | SC-Fachtest, MOT/FAM (6 Items)                 |
| T1_SC2 | Teil 1 der Hauptuntersuchung am Ende des SC-Fachtests                                                    | SC-Fachtest, MOT/FAM (6 Items)                 |
| T2_A0  | Teil 2 der Hauptuntersuchung zu Beginn des ersten Aufgabenkomplexes nach dem Lesen der Ausgangssituation | Erster Aufgabenkomplex (A), FAM (18 Items)     |
| T2_A1  | Teil 2 der Hauptuntersuchung am Ende des ersten Aufgabenkomplexes                                        | Erster Aufgabenkomplex (A), MOT/FAM (6 Items)  |
| T2_B0  | Teil 2 der Hauptuntersuchung zu Beginn des zweiten Aufgabenkomplexes nach dem Lesen der Aufgaben         | Zweiter Aufgabenkomplex (B), MOT/FAM (6 Items) |
| T2_B1  | Teil 2 der Hauptuntersuchung am Ende des zweiten Aufgabenkomplexes                                       | Zweiter Aufgabenkomplex (B), MOT/FAM (6 Items) |
| T2_C0  | Teil 2 der Hauptuntersuchung zu Beginn des dritten Aufgabenkomplexes nach dem Lesen der Aufgaben         | Dritter Aufgabenkomplex (C), MOT/FAM (6 Items) |
| T2_C1  | Teil 2 der Hauptuntersuchung am Ende des dritten Aufgabenkomplexes                                       | Dritter Aufgabenkomplex (C), MOT/FAM (6 Items) |
| T2_D0  | Teil 2 der Hauptuntersuchung zu Beginn des vierten Aufgabenkomplexes nach dem Lesen der Aufgaben         | Vierter Aufgabenkomplex (D), MOT/FAM (6 Items) |
| T2_D1  | Teil 2 der Hauptuntersuchung am Ende des vierten Aufgabenkomplexes                                       | Vierter Aufgabenkomplex (D), MOT/FAM (6 Items) |
| T2_SC0 | Teil 2 der Hauptuntersuchung zu Beginn des SC-Fachtests                                                  | SC-Fachtest, MOT/FAM (6 Items)                 |
| T2_SC1 | Teil 2 der Hauptuntersuchung während des SC-Fachtests nach Aufgaben 7                                    | SC-Fachtest, MOT/FAM (6 Items)                 |
| T2_SC2 | Teil 2 der Hauptuntersuchung am Ende des SC-Fachtests                                                    | SC-Fachtest, MOT/FAM (6 Items)                 |
| T2_E0  | Teil 2 der Hauptuntersuchung zu Beginn des fünften Aufgabenkomplexes nach dem Lesen der Aufgaben         | Fünfter Aufgabenkomplex (E), MOT/FAM (6 Items) |
| T2_E1  | Teil 2 der Hauptuntersuchung am Ende des fünften Aufgabenkomplexes                                       | Fünfter Aufgabenkomplex (E), MOT/FAM (6 Items) |

### 19.1.2 Variablen zur Erfassung der Motivation

Tab. A 6: Variablen der FAM-Items nach Skalen zur Erfassung der aktuellen Motivation

| Item-Abk.    | Bezeichnung des Items                                                                     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| FAM_05_M     | Ich fühle mich unter Druck, bei der Aufgabe gut abschneiden zu müssen.                    |
| FAM_09_M     | Ich fürchte mich ein wenig davor, dass ich mich hier blamieren könnte.                    |
| FAM_12_M     | Es ist mir etwas peinlich, hier zu versagen.                                              |
| FAM_16_M     | Wenn ich an die Aufgabe denke, bin ich etwas beunruhigt.                                  |
| FAM_18_M     | Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmen mich.                                    |
|              |                                                                                           |
| FAM_02_E     | Ich glaube, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein                            |
| FAM_03_E*    | Wahrscheinlich werde ich die Aufgabe nicht schaffen.                                      |
| FAM_03_E_umk | Wahrscheinlich schaffe ich die Aufgabe.                                                   |
| FAM_13_E     | Ich glaube, dass kann jeder schaffen.                                                     |
| FAM_14_E*    | Ich glaube, ich schaffe diese Aufgabe nicht.                                              |
| FAM_14_E_umk | Ich glaube, ich schaffe diese Aufgabe.                                                    |
|              |                                                                                           |
| FAM_01_I     | Ich mag solche Rätsel und Knobeleyen                                                      |
| FAM_04_I     | Bei der Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.       |
| FAM_07_I     | Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.                |
| FAM_11_I     | Bei Aufgaben wie dieser brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.    |
| FAM_17_I     | Eine solche Aufgabe würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.                         |
|              |                                                                                           |
| FAM_06_H     | Die Aufgabe ist eine richtige Herausforderung für mich.                                   |
| FAM_08_H     | Ich bin sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.                         |
| FAM_10_H     | Ich bin fest entschlossen, mich bei dieser Aufgabe voll anzustrengen.                     |
| FAM_15_H     | Wenn ich die Aufgabe schaffe, werde ich schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit sein. |

\* Item hat andere Polung und muss entsprechend umcodiert werden,

FAM: Fragebogen zur Erfassung der aktuellen Motivation

I: Interesse, E: Erfolgswahrscheinlichkeit, H: Herausforderung, M: Misserfolgsbefürchtung

Tab. A 7: Variablen der drei MOT-Items und drei FAM-Items zur Erfassung der aktuellen Motivation

| Item-Abk. | Bezeichnung des Items                                  |
|-----------|--------------------------------------------------------|
| MOT_1     | Die Aufgabe hat mir Spaß gemacht.                      |
| MOT_2     | Ich bin sicher, die richtige Lösung gefunden zu haben. |
| MOT_3     | Mir war klar, wie ich vorzugehen hatte.                |

| Item-Abk. | Bezeichnung des Items                                   |
|-----------|---------------------------------------------------------|
| FAM_01_I  | Ich mag solche Rätsel und Knobeleyen.                   |
| FAM_06_H  | Die Aufgabe war eine richtige Herausforderung für mich. |
| FAM_18_M  | Die konkreten Leistungsanforderungen hier lähmten mich. |

### 19.1.3 Variablen zum Fragebogen der Fallstudie

Tab. A 8: Variablen zum Fragebogen der Fallstudie

| Variable   | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GJahr      | Geburtsjahr                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Nat        | Nationalität(1= deutsch; 0=andere)                                                                                                                                                                                                                              |
| MSpr       | Muttersprache (1= Deutsch; 2=Englisch; 0=andere)                                                                                                                                                                                                                |
| Gschl      | Geschlecht (m=männlich; w=weiblich)                                                                                                                                                                                                                             |
| SchA       | Schulart (1=Allgemeinbildendes Gymnasium ; 2=Gesamtschule; 3= Berufliches Gymnasium; 4= andere Schulform)                                                                                                                                                       |
| SchA_Jahr  | Jahr, in dem Abitur erworben wurde                                                                                                                                                                                                                              |
| BGy_FR     | Schwerpunkt am Beruflichen Gymnasium (T=Technik; W/V=Wirtschaft und Verwaltung; AgrW= Agrarwissenschaft/-wirtschaft; Bio/U= Biotechnologie/Umwelt; Soz= Sozialwissenschaften/-wesen; E/H= Ernährung/Hauswirtschaft; G=Gesundheit; Gest=Gestaltung/künstlerisch) |
| Abi        | Abitur; 1=ja; 0=nein                                                                                                                                                                                                                                            |
| Note_Abi   | Abiturdurchschnittsnote                                                                                                                                                                                                                                         |
| Note_CLK   | Note Chemie Leistungskurs (nach deutschem Notensystem: 1 = höchste; 6 = niedrigste Note)                                                                                                                                                                        |
| Note_CGK   | Note Chemie Grundkurs (nach deutschem Notensystem: 1 = höchste; 6 = niedrigste Note)                                                                                                                                                                            |
| Note_PLK   | Note Physik Leistungskurs (nach deutschem Notensystem: 1 = höchste; 6 = niedrigste Note)                                                                                                                                                                        |
| Note_PGK   | Note Physik Grundkurs (nach deutschem Notensystem: 1 = höchste; 6 = niedrigste Note)                                                                                                                                                                            |
| Note_MLK   | Note Mathe Leistungskurs (nach deutschem Notensystem: 1 = höchste; 6 = niedrigste Note)                                                                                                                                                                         |
| Note_MGK   | Note Mathe Grundkurs (nach deutschem Notensystem: 1 = höchste; 6 = niedrigste Note)                                                                                                                                                                             |
| Note_ELK   | Note Englisch Leistungskurs (nach deutschem Notensystem: 1 = höchste; 6 = niedrigste Note)                                                                                                                                                                      |
| Note_EGK   | Note Englisch Grundkurs (nach deutschem Notensystem: 1 = höchste; 6 = niedrigste Note)                                                                                                                                                                          |
| BQ         | Berufliche Qualifizierung; 1=ja; 0=nein                                                                                                                                                                                                                         |
| BQ_FA      | Facharbeiterabschluss (0= kein Beruf im Berufsfeld LPT; 1=CK; 2=BL, PL 3=CL, CTA)                                                                                                                                                                               |
| BQ_FA_Jahr | Jahr, in dem Facharbeiterabschluss erworben wurde                                                                                                                                                                                                               |
| Note_BQ_FA | Durchschnittsnote Berufsabschluss                                                                                                                                                                                                                               |

| Variable    | Beschreibung                                                                                                      |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BQ_B        | Bachelorabschluss (0=nein; 1=Geisteswissenschaften; 2=Naturwissenschaften außer Chemie; 3=Chemie)                 |
| BQ_B_Jahr   | Jahr, in dem Bachelor erworben wurde                                                                              |
| Note_BQ_B   | Durchschnittsnote Bachelorabschluss                                                                               |
| BQ_M        | Master-/Magister-/Diplomabschluss (0=nein; 1=Geisteswissenschaften; 2=Naturwissenschaften außer Chemie; 3=Chemie) |
| BQ_M_Jahr   | Jahr, in dem Master-/Magister-/Diplomabschluss erworben wurde                                                     |
| Note_M      | Durchschnittsnote Master-/Magister-/Diplomabschluss                                                               |
| BQ_PhD      | Promotion (0=Geisteswissenschaften; 1=Naturwissenschaften außer Chemie; 2=Chemie)                                 |
| BQ_PhD_Jahr | Jahr, in dem Promotion erworben wurde                                                                             |
| Note_BQ_PhD | Note Promotion                                                                                                    |
| SprR        | Sprachreise (0=nein; 1=ja)                                                                                        |
| Spr_L       | Land der Sprachreise (0=nicht-englischsprachiges Land ; 1=USA/GB/AUS)                                             |
| SprR_D      | Dauer der Sprachreise (1=bis zu einem Monat; 2=2-3 Monate; 3=4-6 Monate; 4=7-12 Monate; 5=mehr als 1 Jahr)        |
| AA          | Auslandsaufenthalt (0=nein; 1=ja)                                                                                 |
| AA_L        | Land der Auslandsaufenthalt (0=nicht-englischsprachiges Land ; 1=USA/GB/AUS)                                      |
| AA_D        | Dauer der Auslandsaufenthalt (1=bis zu einem Monat; 2=2-3 Monate; 3=4-6 Monate; 4=7-12 Monate; 5=mehr als 1 Jahr) |
| StudR       | Studienreise im Rahmen einer Klassenfahrt (Dauer: 5 Tage) in englischsprachiges Land (1=ja; 0=nein)               |
| U_Kurse     | Uni-Kurse Englisch (1=ja; 0=nein)                                                                                 |
| F_Ser       | englische Fernsehserien/-programme im Original (1=ja; 0=nein)                                                     |
| ZertE       | Englischzertifikat (0=nein; 1=ja)                                                                                 |
| ZertE_N     | Name des Englischzertifikats (1=KMK; 2=TOEFL; 3=IELTS; 4=andere)                                                  |
| ZertE_Jahr  | Jahr, in dem Englischzertifikat erworben wurde                                                                    |
| ZertE_NSt   | Niveaustufe des Englischzertifikats (1=A1; 2=A2; 3=B1; 4=B2; 5=C1; 6=C2)                                          |
| LA_StG      | Lehramtsstudiengang (1=MS; 2=GYM; 3=BS)                                                                           |
| LA_F1       | Erstes Lehramtsfach                                                                                               |
| LA_F1_umk   | Erstes Lehramtsfach                                                                                               |
| LA_F2       | Zweites Lehramtsfach                                                                                              |
| LA_FS_F1    | Fachsemester des Lehramtsstudienganges im ersten Fach                                                             |
| LA_FS_F2    | Fachsemester des Lehramtsstudienganges im zweiten Fach                                                            |
| Note_G_Ch   | Grundlagen der Chemie und Chemie der Elemente                                                                     |
| Note_R_AC   | Reaktionen in der Anorganischen Chemie                                                                            |
| Note_V_AC   | Vertiefung: Anorganische Chemie                                                                                   |
| Note_G_OC   | Grundlagen der Organischen Chemie                                                                                 |
| Note_V_OC   | Vertiefung: Organische Chemie                                                                                     |

| Variable       | Beschreibung                                                                                                                                                                                                       |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Note_G_Nw      | Grundlagen der Naturwissenschaften                                                                                                                                                                                 |
| Note_V_AnalCh  | Vertiefung: Analytische Chemie                                                                                                                                                                                     |
| Note_G_FDBD    | FD Grundlagen/BD: Grundlagen                                                                                                                                                                                       |
| Note_Exp_FDBD  | FD/BD Experimentallehre                                                                                                                                                                                            |
| Note_TA_FDBD   | FD/BD Technische Aspekte                                                                                                                                                                                           |
| Note_PL_FD     | FD Projektlernen                                                                                                                                                                                                   |
| Note_ChemWelt  | ChemWelt                                                                                                                                                                                                           |
| Note_SPÜ       | Schulpraktische Übungen                                                                                                                                                                                            |
| Note_BlockB    | Block B                                                                                                                                                                                                            |
| Inh_G_Extr     | Theoretische Grundlagen der Extraktion (0=nie behandelt; 1=in der Schule; 2=im Beruf; 3=im Studium; 4=in Schule und Studium; 5=in Schule und Beruf; 6=in Beruf und Studium; 7=in Schule, Beruf und Studium)        |
| Inh_D_l-l-Extr | Durchführung einer Flüssig-Flüssig-Extraktion (0=nie behandelt; 1=in der Schule; 2=im Beruf; 3=im Studium; 4=in Schule und Studium; 5=in Schule und Beruf; 6=in Beruf und Studium; 7=in Schule, Beruf und Studium) |
| Inh_G_Chr      | Theoretische Grundlagen der Chromatografie (0=nie behandelt; 1=in der Schule; 2=im Beruf; 3=im Studium; 4=in Schule und Studium; 5=in Schule und Beruf; 6=in Beruf und Studium; 7=in Schule, Beruf und Studium)    |
| Inh_D_Chr      | Durchführung chromatografischer Trennungen (0=nie behandelt; 1=in der Schule; 2=im Beruf; 3=im Studium; 4=in Schule und Studium; 5=in Schule und Beruf; 6=in Beruf und Studium; 7=in Schule, Beruf und Studium)    |
| Inh_DC_Para    | Dünnschichtchromatografie von Paracetamol (0=nie behandelt; 1=in der Schule; 2=im Beruf; 3=im Studium; 4=in Schule und Studium; 5=in Schule und Beruf; 6=in Beruf und Studium; 7=in Schule, Beruf und Studium)     |
| Inh_DC_Cof     | Dünnschichtchromatografie von Coffein (0=nie behandelt; 1=in der Schule; 2=im Beruf; 3=im Studium; 4=in Schule und Studium; 5=in Schule und Beruf; 6=in Beruf und Studium; 7=in Schule, Beruf und Studium)         |
| Inh_DC_ASS     | Dünnschichtchromatografie von ASS (0=nie behandelt; 1=in der Schule; 2=im Beruf; 3=im Studium; 4=in Schule und Studium; 5=in Schule und Beruf; 6=in Beruf und Studium; 7=in Schule, Beruf und Studium)             |
| Inh_HPLC       | HPLC (0=nie behandelt; 1=in der Schule; 2=im Beruf; 3=im Studium; 4=in Schule und Studium; 5=in Schule und Beruf; 6=in Beruf und Studium; 7=in Schule, Beruf und Studium)                                          |

**19.1.4 Variablen zum C-Test, SC-Test und den Aufgabenkomplexen (Teile A bis E)**

Tab. A 9: Variablen zum C-Test, SC-Test und den Aufgabenkomplexen (Teile A bis E)

| Variable    | Beschreibung                                                                                                                          |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T1_En       | Gesamtergebnis C-Test zur Bestimmung der globalen englischen Sprachkompetenzen                                                        |
| T1_SC       | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie vor der Hauptuntersuchung                                                        |
| T2_SC       | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie nach der Hauptuntersuchung                                                       |
| T2_A        | Gesamtergebnis des ersten Aufgabenkomplexes (A) der Hauptuntersuchung                                                                 |
| T2_B        | Gesamtergebnis des zweiten Aufgabenkomplexes (B) der Hauptuntersuchung                                                                |
| T2_C        | Gesamtergebnis des dritten Aufgabenkomplexes (C) der Hauptuntersuchung                                                                |
| T2_D        | Gesamtergebnis des vierten Aufgabenkomplexes (D) der Hauptuntersuchung                                                                |
| T2_A_B      | Gesamtergebnis des ersten bis zweiten Aufgabenkomplexes (A und B) der Hauptuntersuchung                                               |
| T2_A_B_C    | Gesamtergebnis des ersten bis dritten Aufgabenkomplexes (A, B und C) der Hauptuntersuchung                                            |
| T2_A_B_C_D  | Gesamtergebnis des ersten bis vierten Aufgabenkomplexes (A bis D) der Hauptuntersuchung                                               |
| T2_E_A1     | Gesamtergebnis zu A1 des fünften Aufgabenkomplexes (E) der Hauptuntersuchung (3= vollst. erkannt; 2=teilw. erkannt; 1= nicht erkannt) |
| T2_E_A2     | Gesamtergebnis zu A2 des fünften Aufgabenkomplexes (E) der Hauptuntersuchung (3= vollst. erkannt; 2=teilw. erkannt; 1= nicht erkannt) |
| T2_E_A3     | Gesamtergebnis zu A3 des fünften Aufgabenkomplexes (E) der Hauptuntersuchung (3= vollst. erkannt; 2=teilw. erkannt; 1= nicht erkannt) |
| T2_E_A4     | Gesamtergebnis zu A4 des fünften Aufgabenkomplexes (E) der Hauptuntersuchung (3= vollst. erkannt; 2=teilw. erkannt; 1= nicht erkannt) |
| T2_A_d_e_f  | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d–f des ersten Aufgabenkomplexes (A) der Hauptuntersuchung                                |
| T2_AB_d_e   | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d–e und 2d–e des ersten Aufgabenkomplexes (A) der Hauptuntersuchung                       |
| T2_ErkW_ges | Gesamtergebnis Erkenntniswege (1f, 2f, 4L3.1 und 4L3.2)                                                                               |
| T2_E_Mw     | Gesamtergebnis des fünften Aufgabenkomplexes (E) der Hauptuntersuchung                                                                |
| T1_En_umk   | Gesamtergebnis C-Test zur Bestimmung der globalen englischen Sprachkompetenzen nach Klassen                                           |
| T1_SC_umk   | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie vor der Hauptuntersuchung nach Klassen                                           |
| T2_SC_umk   | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie nach der Hauptuntersuchung nach Klassen                                          |
| T2_A_umk    | Gesamtergebnis des ersten Aufgabenkomplexes (A) der Hauptuntersuchung nach Klassen                                                    |
| T2_B_umk    | Gesamtergebnis des zweiten Aufgabenkomplexes (B) der Hauptuntersuchung nach Klassen                                                   |
| T2_C_umk    | Gesamtergebnis des dritten Aufgabenkomplexes (C) der Hauptuntersuchung nach Klassen                                                   |
| T2_D_umk    | Gesamtergebnis des vierten Aufgabenkomplexes (D) der Hauptuntersuchung nach Klassen                                                   |

| Variable        | Beschreibung                                                                                                                 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T2_A_B_umk      | Gesamtergebnis des ersten bis zweiten Aufgabenkomplexes (A und B) der Hauptuntersuchung nach Klassen                         |
| T2_A_B_C_umk    | Gesamtergebnis des ersten bis dritten Aufgabenkomplexes (A, B und C) der Hauptuntersuchung nach Klassen                      |
| T2_A_B_C_D_umk  | Gesamtergebnis des ersten bis vierten Aufgabenkomplexes (A bis D) der Hauptuntersuchung nach Klassen                         |
| T2_A_d_e_f_umk  | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d–f des ersten Aufgabenkomplexes (A) der Hauptuntersuchung nach Klassen          |
| T2_AB_d_e_umk   | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d–e und 2d–e des ersten Aufgabenkomplexes (A) der Hauptuntersuchung nach Klassen |
| T2_ErkW_ges_umk | Gesamtergebnis Erkenntniswege (1f, 2f, 4L3.1 und 4L3.2) nach Klassen                                                         |
| T2_E_Mw_umk     | Gesamtergebnis des fünften Aufgabenkomplexes (E) der Hauptuntersuchung nach Klassen                                          |
| t_T1_SC         | Bearbeitungszeit in Minuten für Single-Choice-Test zur Chromatografie vor der Hauptuntersuchung                              |
| t_T2_SC         | Bearbeitungszeit in Minuten für Single-Choice-Test zur Chromatografie nach der Hauptuntersuchung                             |
| t_T2_A          | Bearbeitungszeit in Minuten für ersten Aufgabenkomplex (A) der Hauptuntersuchung                                             |
| t_T2_B          | Bearbeitungszeit in Minuten für zweiten Aufgabenkomplex (B) der Hauptuntersuchung                                            |
| t_T2_C          | Bearbeitungszeit in Minuten für dritten Aufgabenkomplex (C) der Hauptuntersuchung                                            |
| t_T2_D          | Bearbeitungszeit in Minuten für vierten Aufgabenkomplex (D) der Hauptuntersuchung                                            |
| t_T2_A_D        | Bearbeitungszeit in Minuten für ersten bis vierten Aufgabenkomplex (D) der Hauptuntersuchung                                 |
| t_T2_E          | Bearbeitungszeit in Minuten für fünften Aufgabenkomplex (E) der Hauptuntersuchung                                            |
| t_T2_ges        | Bearbeitungszeit in Minuten für alle Aufgabenkomplex der Hauptuntersuchung                                                   |
| t_T2_A_umk      | Bearbeitungszeit in Minuten für ersten Aufgabenkomplex (A) der Hauptuntersuchung nach Klassen                                |
| t_T2_B_umk      | Bearbeitungszeit in Minuten für zweiten Aufgabenkomplex (B) der Hauptuntersuchung nach Klassen                               |
| t_T2_C_umk      | Bearbeitungszeit in Minuten für dritten Aufgabenkomplex (C) der Hauptuntersuchung nach Klassen                               |
| t_T2_D_umk      | Bearbeitungszeit in Minuten für vierten Aufgabenkomplex (D) der Hauptuntersuchung nach Klassen                               |
| t_T2_A_D_umk    | Bearbeitungszeit in Minuten für die Aufgabenkomplexe A bis D der Hauptuntersuchung nach Klassen                              |
| t_T2_E_umk      | Bearbeitungszeit in Minuten für fünften Aufgabenkomplex (E) der Hauptuntersuchung nach Klassen                               |
| t_T2_ges_umk    | Bearbeitungszeit in Minuten für alle Aufgabenkomplex der Hauptuntersuchung nach Klassen                                      |



## 19.2 Experten-Concept Maps zur Chromatografie als Basis des Kategoriensystems der Fallstudie

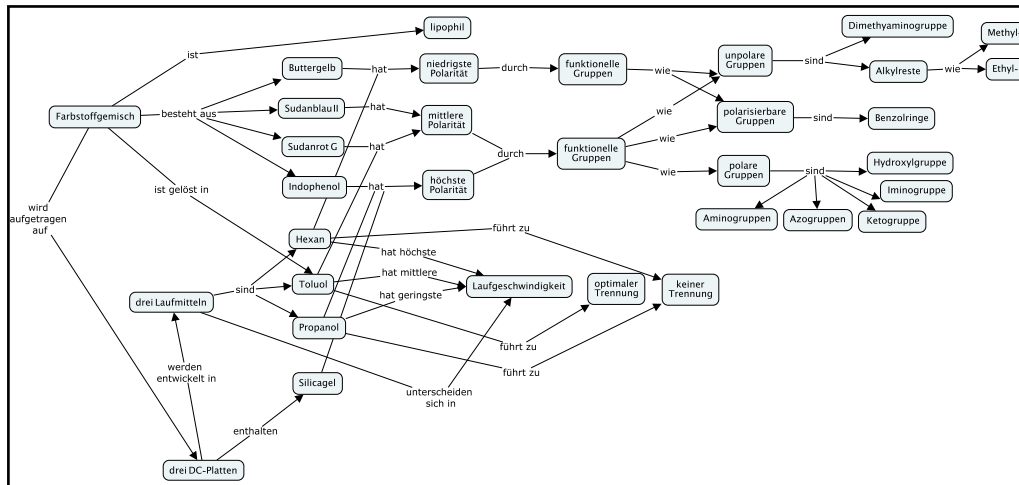


Abb. A 11: Einfaches Experten-Concept Map zur DC-Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches

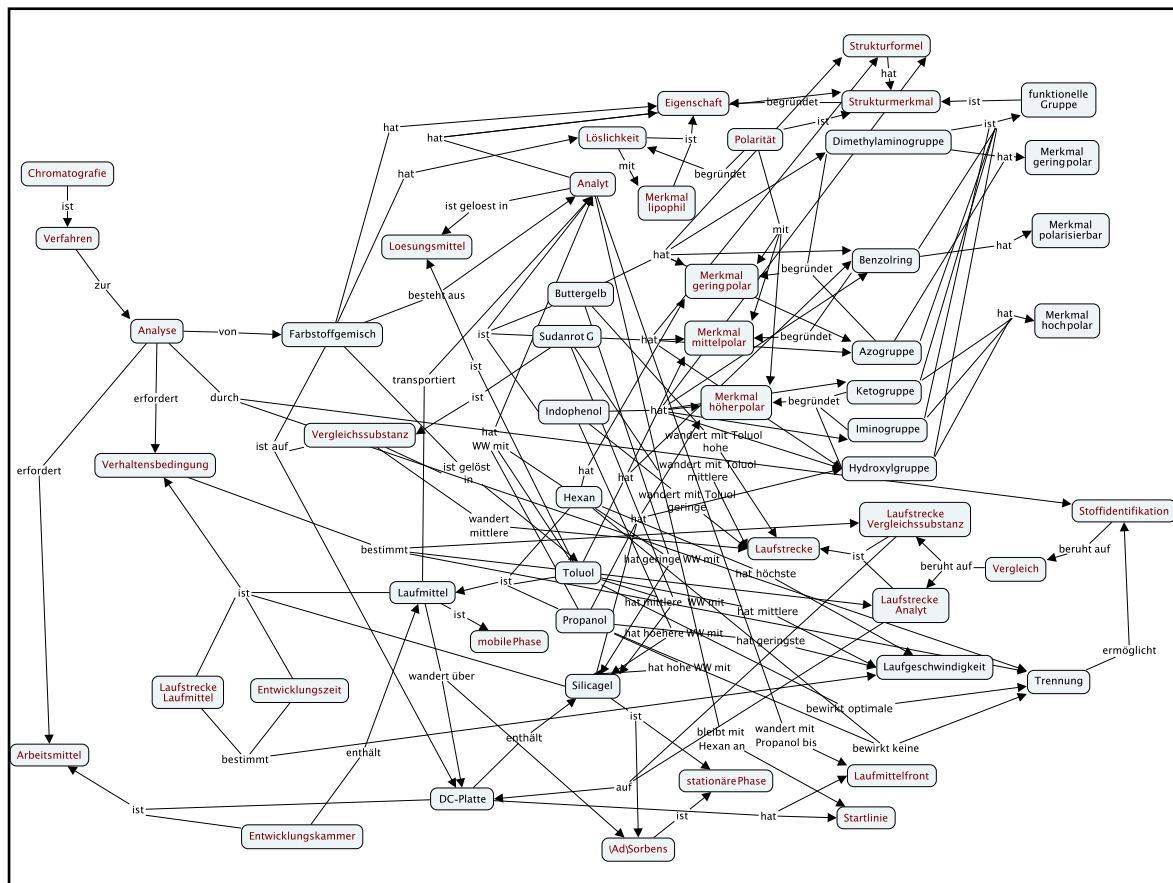


Abb. A 12: Komplexes Experten-Concept Map zur DC-Trennung des lipophilen Farbstoffgemisches

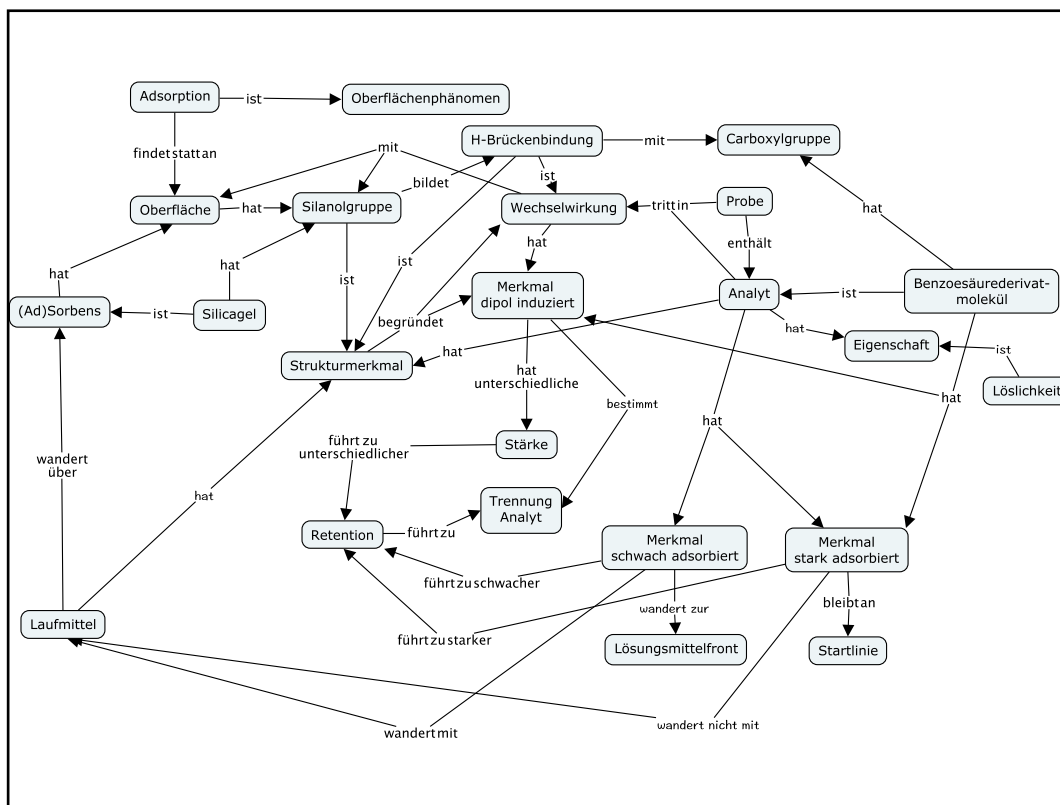


Abb. A 13: Experten-Concept Map zum Text 3EI des dritten Aufgabenkomplexes des Lehr-Lernkonzeptes

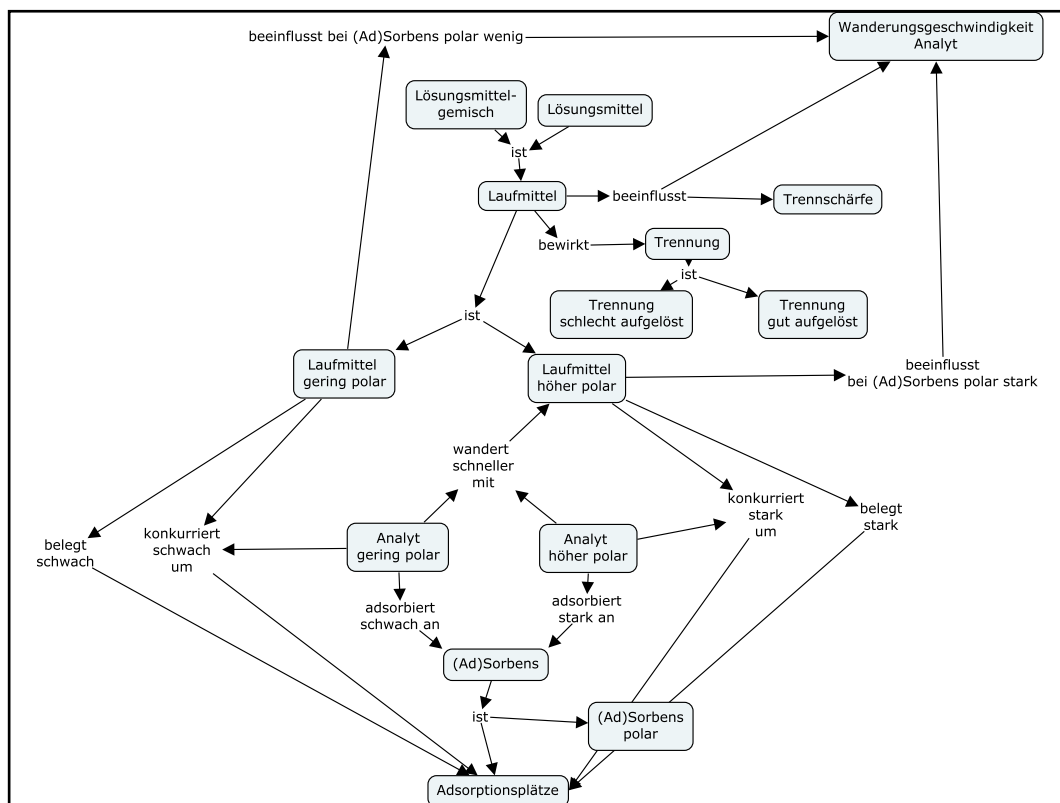


Abb. A 14: Experten-Concept Map zum Text 3EI des dritten Aufgabenkomplexes des Lehr-Lernkonzeptes

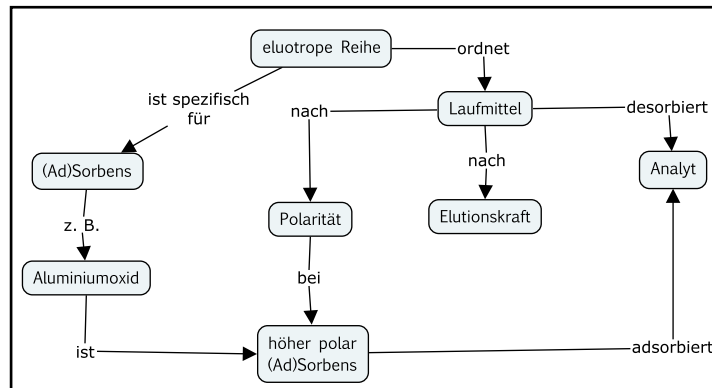


Abb. A 15: Experten-Concept Map zum Text 3EIII des dritten Aufgabenkomplexes des Lehr-Lernkonzeptes

### 19.3 Beispiel einer Dokumentengruppe und den dazugehörigen Sets

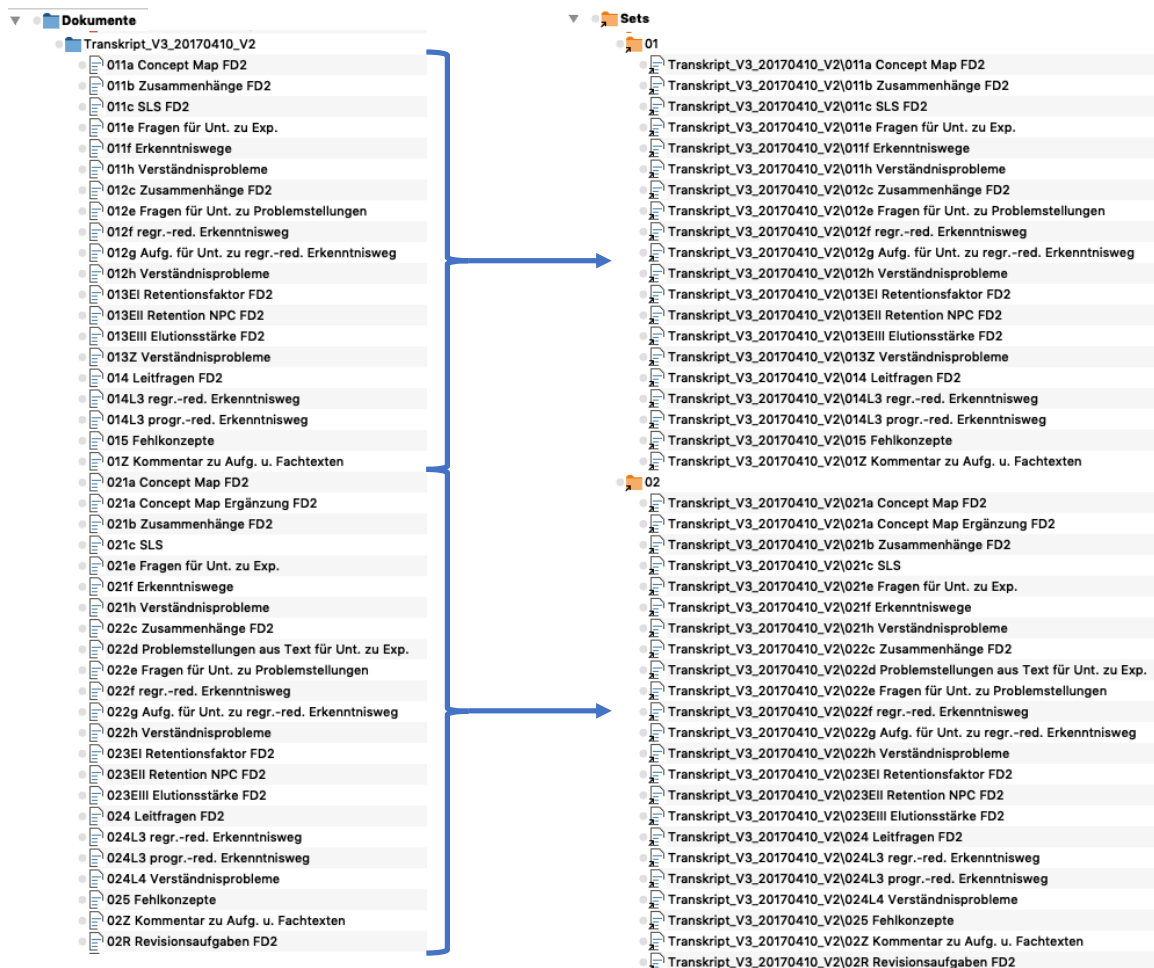


Abb. A 16: Beispiel einer Dokumentengruppe und den dazugehörigen Sets von zwei Vpn

## 19.4 Mustervorlage eines strukturierten Dokumentes zur Erstellung der Transkripte

```
#TEXT121a Concept Map
#CODE Aufgaben\1a Concept Map
#ENDCODE#

#TEXT121b Zusammenhänge
#CODE Aufgaben\1b Zusammenhänge
#ENDCODE#

#TEXT121c SLS
#CODE Aufgaben\1c SLS\Stoff im AZ
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\1c SLS\Stoff im EZ
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\1c SLS\Wirkprinzip (Bed-Bdt)
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\1c SLS\Bedingung
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\1c SLS\Apparatur
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\1c SLS\Substanzspezifisches Verhalten
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\1c SLS\Qualitative Analyse
#ENDCODE#

#TEXT121d Problemstellungen für Unt. zu Exp.
#CODE Aufgaben\1d Problemstellungen für Unt. zu Exp.
#ENDCODE#

#TEXT121e Fragen für Unt. zu Exp.
#CODE Aufgaben\1e Fragen für Unt. zu Exp.
#ENDCODE#

#TEXT121f Erkenntniswege
#CODE Aufgaben\1f Erkenntniswege\induktives Vorgehen
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\1f Erkenntniswege\deduktives Vorgehen
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\1f Erkenntniswege\regr.-red. Vorgehen
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\1f Erkenntniswege\progr.-red. Vorgehen
#ENDCODE#

#TEXT121g Aufg. für Unt. zu Exp. u. Erkenntniswegen
#CODE Aufgaben\1g Aufg. für Unt. zu Exp. u. Erkenntniswegen
#ENDCODE#
```

#TEXT121h Verständnisprobleme  
#CODE Aufgaben\1h Verständnisprobleme  
#ENDCODE#

#TEXT122c Zusammenhänge  
#CODE Aufgaben\2c Zusammenhänge  
#ENDCODE#

#TEXT122d Problemstellungen aus Text für Unt. zu Exp.  
#CODE Aufgaben\2d Problemstellungen aus Text für Unt. zu Exp.  
#ENDCODE#

#TEXT122e Fragen für Unt. zu Problemstellungen  
#CODE Aufgaben\2e Fragen für Unt. zu Problemstellungen  
#ENDCODE#

#TEXT122f regr.-red. Erkenntnisweg  
#CODE Aufgaben\2f regr.-red. Erkenntnisweg  
#ENDCODE#

#TEXT122g Aufg. für Unt. zu regr.-red. Erkenntnisweg  
#CODE Aufgaben\2g Aufg. für Unt. zu regr.-red. Erkenntnisweg  
#ENDCODE#

#TEXT122h Verständnisprobleme  
#CODE Aufgaben\2h Verständnisprobleme  
#ENDCODE#

#TEXT123EI Retentionsfaktor  
#CODE Aufgaben\3\_EI Retentionsfaktor\b. Concept Map  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_EI Retentionsfaktor\c. Trennergebnis\Hexan  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_EI Retentionsfaktor\c. Trennergebnis\Toluol  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_EI Retentionsfaktor\c. Trennergebnis\Propanol  
#ENDCODE#

#TEXT123EII Retention NPC  
#CODE Aufgaben\3\_EII Retention NPC\b. Concept Map  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_EII Retention NPC\c. Trennergebnis\Hexan  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_EII Retention NPC\c. Trennergebnis\Toluol  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_EII Retention NPC\c. Trennergebnis\Propanol  
#ENDCODE#

#TEXT123EIII Elutionsstärke  
#CODE Aufgaben\3\_EIII Elutionsstärke\b. Concept Map  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_EIII Elutionsstärke\c. Trennergebnis\Hexan  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_EIII Elutionsstärke\c. Trennergebnis\Toluol  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_EIII Elutionsstärke\c. Trennergebnis\Propanol  
#ENDCODE#

#TEXT123Z Verständnisprobleme  
#CODE Aufgaben\3\_Verständnisprobleme\EI Retentionsfaktor  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_Verständnisprobleme\EII Retention NPC  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\3\_Verständnisprobleme\EIII Elutionsstärke  
#ENDCODE#

#TEXT124 Leitfragen  
#CODE Aufgaben\4 L1 Wechselwirkungen  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\4 L2 Interpretation DC-Ergebnisse\Elutionskraft RF  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\4 L2 Interpretation DC-Ergebnisse\Elutionskraft Str  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\4 L2 Interpretation DC-Ergebnisse\Polarität Analyten RF  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\4 L2 Interpretation DC-Ergebnisse\Polarität Analyten Str  
#ENDCODE#

#TEXT124L3 progr.-red. Erkenntnisweg  
#CODE Aufgaben\4 L3 Erkenntnisweg (progr.-red.)  
#ENDCODE#

#TEXT124L4 Verständnisprobleme  
#CODE Aufgaben\4 L4 Verständnisprobleme  
#ENDCODE#

#TEXT125 Fehlkonzepte  
#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1a\Erwartungsbild  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1a\Analyse Antw. 1  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1a\Erklärung für Unterricht  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1b-c\Erwartungsbild  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1b-c\Analyse Antw. 2  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1b-c\Analyse Antw. 3  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1b-c\Analyse Antw. 4  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1b-c\Erklärung für Unterricht  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1b-c\Erklärung für Unterricht\Antw. 2  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1b-c\Erklärung für Unterricht\Antw. 3  
#ENDCODE#

#CODE Aufgaben\5 Fehlkonzepte 1b-c\Erklärung für Unterricht\Antw. 4  
#ENDCODE#

#TEXT12Z Kommentar zu Aufg. u. Fachtexten  
#CODE Aufgaben\Kommentar zu Aufg. u. Fachtexten  
#ENDCODE#

### 19.5 Propositionsliste des Kategoriensystems zur Auswertung der Daten nach Inhaltsaspekten

Tab. A 10: Propositionsliste des Kategoriensystems zur Auswertung der Daten nach Inhaltsaspekten

| Code-Kette                                      | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK)                        | Spezifikation für VK | Grundrelation   | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK)    |
|-------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| <b>1 Verfahren: Definition u. Arbeitsmittel</b> |           |                                                |                      |                 |                      |                             |
| K00V_01                                         | dyn       | Analyt                                         |                      | untersuchen auf |                      | Verunreinigung              |
| K00V_02                                         | dyn       | Verhaltensbedingung für HPLC                   |                      | durch           |                      | Dünnschichtchromatografie   |
| K00V_03                                         | stat      | Reinigung                                      |                      | von             |                      | Analyten                    |
| K00V_04                                         | stat      | Dünnschichtchromatografie                      |                      | ist             |                      | Chromatografie              |
| K00V_05                                         | stat      | Hochleistungsflüssigkeitschromatografie        |                      | ist             |                      | Chromatografie              |
|                                                 |           |                                                |                      |                 |                      |                             |
| K01V_01                                         | dyn       | Chromatografie                                 |                      | ist             |                      | Verfahren                   |
| K01V_02                                         | dyn       | Verfahren                                      |                      | zur             |                      | Trennung                    |
| K01V_03                                         | dyn       | Verfahren                                      |                      | zur             |                      | Analyse                     |
| K01V_04                                         | dyn       | Analyse                                        |                      | durch           |                      | Stoffidentifikation         |
| K01V_05                                         | stat      | Trennung                                       |                      | von             |                      | Analyt/<br>Farbstoffgemisch |
| K01V_06                                         | stat      | Farbstoffgemisch                               |                      | enthält         |                      | Analyt                      |
|                                                 |           |                                                |                      |                 |                      |                             |
| K02V_01                                         | dyn       | Trennung                                       |                      | erfordert       |                      | Arbeitsmittel               |
| K02V_02                                         | stat      | DC-Platte                                      |                      | ist             |                      | Arbeitsmittel               |
| K02V_03                                         | stat      | DC-Platte                                      |                      | hat             |                      | Startlinie                  |
| K02V_04                                         | stat      | DC-Platte                                      |                      | hat             |                      | Laufmittelfront             |
| K02V_05                                         | stat      | DC-Platte                                      |                      | enthält         |                      | Silicagel                   |
| K02V_06                                         | stat      | Silicagel/DC-Platte                            |                      | ist             |                      | stationäre Phase            |
| K02V_07                                         | stat      | Stationäre Phase                               |                      | ist             |                      | Verhaltensbedingung         |
| K02V_08                                         | stat      | Entwicklungskammer                             |                      | ist             |                      | Arbeitsmittel               |
| K02V_09                                         | stat      | Entwicklungskammer                             |                      | enthält         |                      | Laufmittel                  |
| K02V_10                                         | stat      | Laufmittel                                     |                      | ist             |                      | mobile Phase                |
| K02V_11                                         | stat      | Laufmittel                                     |                      | ist             |                      | Verhaltensbedingung         |
| K02V_12                                         | dyn       | Laufmittel/mobile Phase                        |                      | wandert über    |                      | DC-Platte/stationäre Phase  |
| K02V_13                                         | stat      | Analyt/Farbstoffgemisch/<br>Vergleichssubstanz |                      | ist gelöst in   |                      | Lösungsmittel               |



| Code-Kette                                                                         | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK)                        | Spezifikation für VK | Grundrelation          | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK) |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
| K02V_14                                                                            | stat      | Toluol                                         |                      | ist                    |                      | Lösungsmittel            |
| K02V_15                                                                            | stat      | Analyt/Farbstoffgemisch/<br>Vergleichssubstanz |                      | ist auf                |                      | DC-Platte                |
| <b>2 Verhaltensbedingungen: Silicagel und Laufmittel Hexan, Propanol u. Toluol</b> |           |                                                |                      |                        |                      |                          |
| K03B_01                                                                            | stat      | Laufstrecke<br>Laufmittel                      |                      | ist                    |                      | Verhaltensbedingung      |
| K03B_02                                                                            | stat      | Entwicklungszeit                               |                      | ist                    |                      | Verhaltensbedingung      |
|                                                                                    |           |                                                |                      |                        |                      |                          |
| K04B_01                                                                            | stat      | Silicagel                                      |                      | hat                    |                      | Hydroxylgruppe           |
| K04B_02                                                                            | stat      | Silicagel                                      |                      | hat                    | sehr hoch            | Polarität                |
| K04B_03                                                                            | stat      | Laufmittel                                     |                      | hat                    | unterschiedlich      | Polarität                |
|                                                                                    |           |                                                |                      |                        |                      |                          |
| K05B_01                                                                            | stat      | Hexan                                          |                      | ist                    |                      | Laufmittel               |
| K05B_02                                                                            | stat      | Hexan                                          |                      | ist                    |                      | Kohlenwasserstoffkette   |
| K05B_03                                                                            | stat      | Hexan                                          |                      | hat                    | sehr gering          | Polarität                |
| K05B_04                                                                            | dyn       | Hexan                                          |                      | hat WW mit             |                      | Analyt                   |
| K05B_04a                                                                           | dyn       | Hexan                                          |                      | hat ge/keine WW mit    |                      | Analyt                   |
| K05B_04b                                                                           | dyn       | Analyt                                         |                      | hat in Hexan           | gering               | Löslichkeit              |
| K05B_05                                                                            | dyn       | Hexan                                          |                      | hat sehr gering WW mit |                      | Silicagel                |
| K05B_06                                                                            | dyn       | Hexan                                          |                      | hat                    | sehr gering          | Elutionskraft            |
| K05B_07                                                                            | dyn       | Hexan                                          |                      | hat                    | hoch                 | Laufgeschwindigkeit      |
| K05B_08                                                                            | dyn       | Hexan                                          |                      | bewirkt                | keine                | Trennung                 |
|                                                                                    |           |                                                |                      |                        |                      |                          |
| K06B_01                                                                            | stat      | Propanol                                       |                      | ist                    |                      | Laufmittel               |
| K06B_02                                                                            | stat      | Propanol                                       |                      | hat                    |                      | Hydroxylgruppe           |
| K06B_03                                                                            | stat      | Propanol                                       |                      | hat                    |                      | Propylgruppe             |
| K06B_04                                                                            | stat      | Propanol                                       |                      | hat                    | hoch                 | Polarität                |
| K06B_05                                                                            | dyn       | Propanol                                       |                      | hat WW mit             |                      | Analyt                   |
| K06B_05a                                                                           | dyn       | Propanol                                       |                      | hat mittel/hoch WW mit |                      | Analyt                   |
| K06B_05b                                                                           | dyn       | Analyt                                         |                      | hat in Propanol        | mittel/hoch          | Löslichkeit              |

| Code-Kette | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK) | Spezifikation für VK | Grundrelation        | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK) |
|------------|-----------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|
| K06B_06    | dyn       | Propanol                |                      | hat sehr hoch WW mit |                      | Silicagel                |
| K06B_07    | dyn       | Propanol                |                      | hat                  | hoch                 | Elutionskraft            |
| K06B_08    | dyn       | Propanol                |                      | hat                  | gering               | Laufgeschwindigkeit      |
| K06B_09    | dyn       | Propanol                |                      | bewirkt              | keine                | Trennung                 |
|            |           |                         |                      |                      |                      |                          |
| K07B_01    | stat      | Toluol                  |                      | ist                  |                      | Laufmittel               |
| K07B_02    | stat      | Toluol                  |                      | hat                  |                      | Benzolring               |
| K07B_03    | stat      | Toluol                  |                      | hat                  |                      | Methylgruppe             |
| K07B_04    | stat      | Toluol                  |                      | hat                  | gering               | Polarität                |
| K07B_05    | dyn       | Toluol                  |                      | hat WW mit           |                      | Analyt                   |
| K07B_05a   | dyn       | Toluol                  |                      | hat mittel WW mit    |                      | Analyt                   |
| K07B_05b   | dyn       | Analyt                  |                      | hat in Toluol        | mittel               | Löslichkeit              |
| K07B_06    | dyn       | Toluol                  |                      | hat gering WW mit    |                      | Silicagel                |
| K07B_07    | dyn       | Toluol                  |                      | hat                  | gering               | Elutionskraft            |
| K07B_08    | dyn       | Toluol                  |                      | hat                  | mittel               | Laufgeschwindigkeit      |
| K07B_09    | dyn       | Toluol                  |                      | bewirkt              | optimal              | Trennung                 |
| 3 Analyt   |           |                         |                      |                      |                      |                          |
| K08A_01    | stat      | Farbstoffgemisch        |                      | hat                  | lipophil             | Löslichkeit              |
| K08A_02    | stat      | Analyt                  |                      | hat in LM            | unterschiedlich      | Löslichkeit              |
| K08A_03    | stat      | Analyt                  |                      | hat                  | unterschiedlich      | Polarität                |
| K08A_03    | dyn       | Farbstoffgemisch        |                      | ist gelöst in        |                      | Toluol                   |
| K08A_04    | stat      | Vergleichssubstanz      |                      | ist gelöst in        |                      | Toluol                   |
|            |           |                         |                      |                      |                      |                          |
| K09A_01    | stat      | Buttergelb              |                      | ist                  |                      | Analyt                   |
| K09A_02    | stat      | Indophenol              |                      | ist                  |                      | Analyt                   |
| K09A_03    | stat      | Sudanrot G              |                      | ist                  |                      | Analyt                   |
| K09A_04    | stat      | Sudanrot G              |                      | ist                  |                      | Vergleichssubstanz       |
| K09A_05    | stat      | Analyt                  |                      | hat                  |                      | Farbe                    |
| K09A_06    | stat      | Buttergelb              |                      | hat                  | gelb                 | Farbe                    |
| K09A_07    | stat      | Indophenol              |                      | hat                  | blau                 | Farbe                    |
| K09A_08    | stat      | Sudanrot G              |                      | hat                  | rot                  | Farbe                    |
|            |           |                         |                      |                      |                      |                          |
| K10A_01    | stat      | Buttergelb              |                      | hat                  |                      | Strukturformel           |

| Code-Kette | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK)           | Spezifikation für VK | Grundrelation          | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK) |
|------------|-----------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------------|
| K10A_02    | stat      | Buttergelb                        |                      | hat                    |                      | Azogruppe                |
| K10A_03    | stat      | Buttergelb                        |                      | hat                    |                      | Benzolring               |
| K10A_04    | stat      | Buttergelb                        |                      | hat                    |                      | Dimethylaminogruppe      |
| K10A_05    | stat      | Buttergelb                        |                      | hat                    | gering               | Polarität                |
| K10A_06    | dyn       | Buttergelb                        |                      | hat gering WW mit      |                      | Silicagel                |
| K10A_07    | dyn       | Buttergelb                        |                      | hat gering WW mit      |                      | Hexan                    |
| K10A_08    | dyn       | Buttergelb                        |                      | hat gering WW mit      |                      | Propanol                 |
| K10A_09    | dyn       | Buttergelb                        |                      | hat mittel WW mit      |                      | Toluol                   |
| K10A_10    | stat      | Buttergelb                        |                      | hat in Hexan           | gering               | Löslichkeit              |
| K10A_11    | stat      | Buttergelb                        |                      | hat in Propanol        | gering               | Löslichkeit              |
| K10A_12    | stat      | Buttergelb                        |                      | hat in Toluol          | mittel               | Löslichkeit              |
|            |           |                                   |                      |                        |                      |                          |
| K11A_01    | stat      | Indophenol                        |                      | hat                    |                      | Strukturformel           |
| K11A_02    | stat      | Indophenol                        |                      | hat                    |                      | Benzolring               |
| K11A_03    | stat      | Indophenol                        |                      | hat                    |                      | Hydroxylgruppe           |
| K11A_04    | stat      | Indophenol                        |                      | hat                    |                      | Iminogruppe              |
| K11A_05    | stat      | Indophenol                        |                      | hat                    |                      | Ketogruppe               |
| K11A_06    | stat      | Indophenol                        |                      | hat                    | hoch                 | Polarität                |
| K11A_07    | dyn       | Indophenol                        |                      | hat hoch WW mit        |                      | Silicagel                |
| K11A_08    | dyn       | Indophenol                        |                      | hat sehr gering WW mit |                      | Hexan                    |
| K11A_09    | dyn       | Indophenol                        |                      | hat hoch WW mit        |                      | Propanol                 |
| K11A_10    | dyn       | Indophenol                        |                      | hat mittel WW mit      |                      | Toluol                   |
| K11A_11    | stat      | Indophenol                        |                      | hat in Hexan           | sehr gering          | Löslichkeit              |
| K11A_12    | stat      | Indophenol                        |                      | hat in Propanol        | hoch                 | Löslichkeit              |
| K11A_13    | stat      | Indophenol                        |                      | hat in Toluol          | mittel               | Löslichkeit              |
|            |           |                                   |                      |                        |                      |                          |
| K12A_01    | stat      | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz |                      | hat                    |                      | Strukturformel           |
| K12A_02    | stat      | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz |                      | hat                    |                      | Azogruppe                |
| K12A_03    | stat      | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz |                      | hat                    |                      | Benzolring               |

| Code-Kette                                               | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK)                                   | Spezifikation für VK | Grundrelation        | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK)       |
|----------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|
| K12A_04                                                  | stat      | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz                         |                      | hat                  |                      | Hydroxylgruppe                 |
| K12A_05                                                  | stat      | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz                         |                      | hat                  | mittel               | Polarität                      |
| K12A_06                                                  | dyn       | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz                         |                      | hat mittel WW<br>mit |                      | Silicagel                      |
| K12A_07                                                  | dyn       | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz                         |                      | hat gering WW<br>mit |                      | Hexan                          |
| K12A_08                                                  | dyn       | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz                         |                      | hat mittel WW<br>mit |                      | Propanol                       |
| K12A_09                                                  | dyn       | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz                         |                      | hat mittel WW<br>mit |                      | Toluol                         |
| K12A_10                                                  | stat      | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz                         |                      | hat in Hexan         | gering               | Löslichkeit                    |
| K12A_11                                                  | stat      | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz                         |                      | hat in Propanol      | mittel               | Löslichkeit                    |
| K12A_12                                                  | stat      | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz                         |                      | hat in Toluol        | mittel               | Löslichkeit                    |
| <b>4 Qual. Analyse: allg. Verh.-bed. u. Tr.; Def. KG</b> |           |                                                           |                      |                      |                      |                                |
| K13Q_01                                                  | dyn       | Verhaltensbedingung                                       |                      | bestimmt             |                      | Trennung                       |
| K13Q_02                                                  | dyn       | Verhaltensbedingung                                       |                      | bestimmt             |                      | Laufstrecke Analyt             |
| K13Q_03                                                  | stat      | Laufstrecke Analyt                                        | gleich               | ist                  | keine                | Trennung                       |
| K13Q_04                                                  | stat      | Laufstrecke Analyt                                        | unterschiedlich      | ist                  | optimal              | Trennung                       |
| K13Q_05                                                  | dyn       | Quotient Laufstrecke Laufmittel und Entwicklungszeit      |                      | definiert            |                      | Laufgeschwindigkeit Laufmittel |
| K13Q_06                                                  | dyn       | Quotient Laufstrecke Analyt und Laufstrecke Laufmittel    |                      | definiert            |                      | RF-Wert                        |
| K13Q_07                                                  | dyn       | Quotient Stoffmenge Analyt stPh und Stoffmenge Analyt mPh |                      | definiert            |                      | k-Wert                         |
| K13Q_08                                                  | stat      | RF-Wert                                                   |                      | ist                  |                      | Kenngröße                      |
| K13Q_09                                                  | stat      | k-Wert                                                    |                      | ist                  |                      | Kenngröße                      |
| K13Q_10                                                  | stat      | RF-Wert                                                   |                      | ist                  |                      | Retentionsfaktor               |
| K13Q_11                                                  | stat      | k-Wert                                                    |                      | ist                  |                      | Retentionsfaktor               |
| K13Q_12                                                  | stat      | k-Wert                                                    |                      | ist                  |                      | Kapazitätsfaktor               |

| Code-Kette | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK)                       | Spezifikation für VK | Grundrelation            | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK)                       |
|------------|-----------|-----------------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------------------------|
| K13Q_13    | dyn       | RF-Wert                                       |                      | korrespondiert mit       |                      | k-Wert                                         |
|            |           |                                               |                      |                          |                      |                                                |
| K14Q_01    | dyn       | Stoffidentifikation                           |                      | beruht auf Vergleich von |                      | Laufstrecke/RF-Wert Analyt/Vergleichssubstanz/ |
| K14Q_02    | dyn       | Laufstrecke/RF-Wert Analyt/Vergleichssubstanz |                      | bestimmbar auf           |                      | DC-Platte                                      |
| K14Q_03    | stat      | Laufstrecke/RF-Wert Analyt/Vergleichssubstanz | gleich               | ist                      | gleich               | Analyt/Vergleichssubstanz                      |
| K14Q_04    | dyn       | Stoffidentifikation                           |                      | beruht auf Vergleich von |                      | Farbe                                          |
| K14Q_05    | stat      | Farbe Analyt/Vergleichssubstanz               | gleich               | ist bei gleichem RF-Wert | gleich               | Analyt/Vergleichssubstanz                      |
|            |           |                                               |                      |                          |                      |                                                |
| K15Q_01    | stat      | Analyt                                        |                      | bleibt mit Hexan an      |                      | Startlinie                                     |
| K15Q_02    | stat      | Analyt                                        |                      | wandert mit Propanol bis |                      | Laufmittelfront                                |
| K15Q_03    | stat      | Analyt                                        |                      | hat mit Toluol           | unterschiedlich      | Laufstrecke                                    |
| K15Q_04    | stat      | Buttergelb                                    |                      | hat mit Toluol           | hoch                 | Laufstrecke                                    |
| K15Q_05    | stat      | Indophenol                                    |                      | hat mit Toluol           | gering               | Laufstrecke                                    |
| K15Q_06    | stat      | Sudanrot G/Vergleichssubstanz                 |                      | hat mit Toluol           | mittel               | Laufstrecke                                    |
|            |           |                                               |                      |                          |                      |                                                |
| K16Q_01    | dyn       | Analyt                                        |                      | hat mit Hexan            | gering               | RF-Wert                                        |
| K16Q_02    | dyn       | Analyt                                        |                      | hat mit Propanol         | hoch                 | RF-Wert                                        |
| K16Q_03    | dyn       | Analyt                                        |                      | hat mit Toluol           | unterschiedlich      | RF-Wert                                        |
| K16Q_04    | dyn       | Buttergelb                                    |                      | hat mit Toluol           | hoch                 | RF-Wert                                        |
| K16Q_05    | dyn       | Indophenol                                    |                      | hat mit Toluol           | gering               | RF-Wert                                        |
| K16Q_06    | dyn       | Sudanrot G/Vergleichssubstanz                 |                      | hat mit Toluol           | mittel               | RF-Wert                                        |
|            |           |                                               |                      |                          |                      |                                                |
| K17Q_01    | dyn       | Analyt                                        |                      | hat mit Hexan            | hoch                 | k-Wert                                         |
| K17Q_02    | dyn       | Analyt                                        |                      | hat mit Propanol         | gering               | k-Wert                                         |
| K17Q_03    | dyn       | Analyt                                        |                      | hat mit Toluol           | unterschiedlich      | k-Wert                                         |

| Code-Kette                     | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK)           | Spezifikation für VK | Grundrelation     | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK)        |
|--------------------------------|-----------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|
| K17Q_04                        | dyn       | Buttergelb                        |                      | hat mit Toluol    | gering               | k-Wert                          |
| K17Q_05                        | dyn       | Indophenol                        |                      | hat mit Toluol    | hoch                 | k-Wert                          |
| K17Q_06                        | dyn       | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz |                      | hat mit Toluol    | mittel               | k-Wert                          |
|                                |           |                                   |                      |                   |                      |                                 |
| K18Q_01                        | dyn       | Analyt                            |                      | hat mit Hexan     | hoch                 | Stoffmenge in stationärer Phase |
| K18Q_02                        | dyn       | Analyt                            |                      | hat mit Propanol  | gering               | Stoffmenge in stationärer Phase |
| K18Q_03                        | dyn       | Analyt                            |                      | hat mit Toluol    | unterschiedlich      | Stoffmenge in stationärer Phase |
| K18Q_04                        | dyn       | Buttergelb                        |                      | hat mit Toluol    | gering               | Stoffmenge in stationärer Phase |
| K18Q_05                        | dyn       | Indophenol                        |                      | hat mit Toluol    | hoch                 | Stoffmenge in stationärer Phase |
| K18Q_06                        | dyn       | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz |                      | hat mit Toluol    | mittel               | Stoffmenge in stationärer Phase |
|                                |           |                                   |                      |                   |                      |                                 |
| K19Q_01                        | dyn       | Analyt                            |                      | hat mit Hexan     | gering               | Stoffmenge in mobiler Phase     |
| K19Q_02                        | dyn       | Analyt                            |                      | hat mit Propanol  | hoch                 | Stoffmenge in mobiler Phase     |
| K19Q_03                        | dyn       | Analyt                            |                      | hat mit Toluol    | unterschiedlich      | Stoffmenge in mobiler Phase     |
| K19Q_04                        | dyn       | Buttergelb                        |                      | hat mit Toluol    | hoch                 | Stoffmenge in mobiler Phase     |
| K19Q_05                        | dyn       | Indophenol                        |                      | hat mit Toluol    | gering               | Stoffmenge in mobiler Phase     |
| K19Q_06                        | dyn       | Sudanrot G/<br>Vergleichssubstanz |                      | hat mit Toluol    | mittel               | Stoffmenge in mobiler Phase     |
| <b>5 Wirkprinzip Adsorbens</b> |           |                                   |                      |                   |                      |                                 |
| K20W_01                        | dyn       | Adsorption                        |                      | beruht auf WW mit |                      | (Ad)Sorbens                     |
| K20W_02                        | stat      | Adsorption                        |                      | ist               | physikalisch         | Vorgang                         |
| K20W_03                        | stat      | Silicagel                         |                      | ist               |                      | (Ad)Sorbens                     |
| K20W_04                        | stat      | (Ad)Sorbens                       |                      | ist               |                      | stationäre Phase                |
| K20W_05                        | stat      | (Ad)Sorbens                       | hoch polar           | ist               |                      | Normalphase (NP)                |
| K20W_06                        | stat      | (Ad)Sorbens                       | gering polar         | ist               |                      | Umkehrphase (RP)                |
| K20W_07                        | stat      | (Ad)Sorbens                       |                      | hat               |                      | Oberfläche                      |
| K20W_08                        | stat      | (Ad)Sorbens                       |                      | hat               |                      | Adsorptionsplätze               |

| Code-Kette                                                 | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK)          | Spezifikation für VK | Grundrelation                                           | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK)          |
|------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| K20W_09                                                    | stat      | (Ad)Sorbens                      |                      | hat                                                     |                      | Eigenschaft                       |
| K20W_10                                                    | stat      | (Ad)Sorbens                      |                      | hat                                                     |                      | Strukturmerkmal                   |
| K20W_11                                                    | dyn       | Strukturmerkmal<br>(Ad)Sorbens   |                      | begründet                                               |                      | Eigenschaft<br>(Ad)Sorbens        |
| K20W_12                                                    | dyn       | Strukturmerkmal<br>(Ad)Sorbens   |                      | begründet                                               |                      | WW mit Analyt                     |
| K20W_13                                                    | dyn       | Strukturmerkmal<br>(Ad)Sorbens   |                      | begründet                                               |                      | WW mit Laufmittel                 |
| <b>5 Wirkprinzip Laufmittel in WW m. Analyt u. stPhase</b> |           |                                  |                      |                                                         |                      |                                   |
| K21W_01                                                    | stat      | Laufmittel                       |                      | transportiert                                           |                      | Moleküle (Analyt/Lösungsmittel)   |
| K21W_02                                                    | stat      | Laufmittel                       |                      | hat bei NPC                                             | gering               | Polarität                         |
| K21W_03                                                    | stat      | Laufmittel                       |                      | hat bei RPC                                             | hoch                 | Polarität                         |
| K21W_04                                                    | stat      | Laufmittel                       |                      | hat                                                     |                      | Eigenschaft                       |
| K21W_05                                                    | stat      | Laufmittel                       |                      | hat                                                     |                      | Strukturmerkmal                   |
| K21W_06                                                    | dyn       | Strukturmerkmal<br>Laufmittel    |                      | begründet                                               |                      | Eigenschaft<br>Laufmittel         |
| K21W_07                                                    | dyn       | Strukturmerkmal<br>Laufmittel    |                      | begründet                                               |                      | WW mit Analyt/<br>Lösungsmittel   |
| K21W_08                                                    | dyn       | Strukturmerkmal<br>Laufmittel    |                      | begründet                                               |                      | WW mit (Ad)Sorbens                |
| K21W_09                                                    | dyn       | WW Laufmittel<br>mit (Ad)Sorbens |                      | begründet                                               |                      | Laufgeschwindigkeit<br>Laufmittel |
|                                                            |           |                                  |                      |                                                         |                      |                                   |
| K22W_01                                                    | dyn       | Laufmittel                       |                      | hat WW mit                                              |                      | Analyt                            |
| K22W_02                                                    | dyn       | Laufmittel                       | hoch polar           | hat gering WW<br>mit                                    | gering<br>polar      | Analyt                            |
| K22W_03                                                    | dyn       | Laufmittel                       | hoch polar           | hat hoch WW mit                                         | hoch<br>polar        | Analyt                            |
| K22W_04                                                    | dyn       | Laufmittel                       | gering polar         | hat hoch WW mit                                         | gering<br>polar      | Analyt                            |
| K22W_05                                                    | dyn       | Laufmittel                       | gering polar         | hat gering WW<br>mit                                    | hoch<br>polar        | Analyt                            |
|                                                            |           |                                  |                      |                                                         |                      |                                   |
| K23W_01                                                    | dyn       | Laufmittel                       |                      | desorbiert                                              |                      | Analyt                            |
| K23W_02                                                    | dyn       | Laufmittel                       | gering polar         | desorbiert gering<br>auf hoch polar<br>stationäre Phase |                      | Analyt                            |
| K23W_03                                                    | dyn       | Laufmittel                       | hoch polar           | desorbiert hoch<br>auf hoch polar<br>stationäre Phase   |                      | Analyt                            |

| Code-Kette | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK) | Spezifikation für VK | Grundrelation                                       | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK) |
|------------|-----------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| K23W_04    | dyn       | Laufmittel              | gering polar         | desorbiert hoch auf gering polar stationäre Phase   |                      | Analyt                   |
| K23W_05    | dyn       | Laufmittel              | hoch polar           | desorbiert gering auf gering polar stationäre Phase |                      | Analyt                   |
|            |           |                         |                      |                                                     |                      |                          |
| K24W_01    | dyn       | Laufmittel              |                      | bestimmt                                            |                      | Laufstrecke Analyt       |
| K24W_02    | dyn       | Laufmittel              | gering polar         | bewirkt auf hoch polar stationäre Phase             | gering               | Laufstrecke Analyt       |
| K24W_03    | dyn       | Laufmittel              | hoch polar           | bewirkt auf hoch polar stationäre Phase             | hoch                 | Laufstrecke Analyt       |
| K24W_04    | dyn       | Laufmittel              | gering polar         | bewirkt auf gering polar stationäre Phase           | hoch                 | Laufstrecke Analyt       |
| K24W_05    | dyn       | Laufmittel              | hoch polar           | bewirkt auf gering polar stationäre Phase           | gering               | Laufstrecke Analyt       |
|            |           |                         |                      |                                                     |                      |                          |
| K25W_01    | dyn       | Laufmittel              |                      | hat WW mit                                          |                      | (Ad)Sorbens              |
| K25W_02    | dyn       | Laufmittel              | hoch polar           | hat gering WW mit                                   | gering polar         | (Ad)Sorbens              |
| K25W_03    | dyn       | Laufmittel              | hoch polar           | hat hoch WW mit                                     | hoch polar           | (Ad)Sorbens              |
| K25W_04    | dyn       | Laufmittel              | gering polar         | hat hoch WW mit                                     | gering polar         | (Ad)Sorbens              |
| K25W_05    | dyn       | Laufmittel              | gering polar         | hat gering WW mit                                   | hoch polar           | (Ad)Sorbens              |
|            |           |                         |                      |                                                     |                      |                          |
| K26W_01    | dyn       | Laufmittel              |                      | belegt                                              |                      | Adsorptionsplätze        |
| K26W_02    | dyn       | Laufmittel              | gering polar         | belegt gering auf hoch polar stationäre Phase       |                      | Adsorptionsplätze        |
| K26W_03    | dyn       | Laufmittel              | hoch polar           | belegt hoch auf hoch polar stationäre Phase         |                      | Adsorptionsplätze        |
| K26W_04    | dyn       | Laufmittel              | gering polar         | belegt hoch auf gering polar stationäre Phase       |                      | Adsorptionsplätze        |
| K26W_05    | dyn       | Laufmittel              | hoch polar           | belegt gering auf gering polar stationäre Phase     |                      | Adsorptionsplätze        |



| Code-Kette                                             | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK)       | Spezifikation für VK | Grundrelation                                           | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK)       |
|--------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
|                                                        |           |                               |                      |                                                         |                      |                                |
| K27W_01                                                | dyn       | Laufmittel                    |                      | konkurriert um                                          |                      | Adsorptionsplätze              |
| K27W_02                                                | dyn       | Laufmittel                    | gering polar         | konkurriert gering auf hoch polar stationäre Phase um   |                      | Adsorptionsplätze              |
| K27W_03                                                | dyn       | Laufmittel                    | hoch polar           | konkurriert hoch auf hoch polar stationäre Phase um     |                      | Adsorptionsplätze              |
| K27W_04                                                | dyn       | Laufmittel                    | gering polar         | konkurriert hoch auf gering polar stationäre Phase um   |                      | Adsorptionsplätze              |
| K27W_05                                                | dyn       | Laufmittel                    | hoch polar           | konkurriert gering auf gering polar stationäre Phase um |                      | Adsorptionsplätze              |
|                                                        |           |                               |                      |                                                         |                      |                                |
| K28W_01                                                | dyn       | WW Laufmittel mit (Ad)Sorbens | hoch                 | bewirkt                                                 | gering               | Laufgeschwindigkeit Laufmittel |
| K28W_02                                                | dyn       | WW Laufmittel mit (Ad)Sorbens | gering               | bewirkt                                                 | hoch                 | Laufgeschwindigkeit Laufmittel |
| <b>5 Wirkprinzip Analyt (Str-Eig) u. WW m. stPhase</b> |           |                               |                      |                                                         |                      |                                |
| K29W_01                                                | stat      | Analyt                        |                      | hat                                                     |                      | Eigenschaft                    |
| K29W_02                                                | stat      | Analyt/FG                     |                      | hat                                                     |                      | Löslichkeit                    |
| K29W_03                                                | stat      | Analyt                        |                      | hat                                                     |                      | Löslichkeit                    |
| K29W_04                                                | dyn       | Strukturmerkmal Analyt        |                      | begründet                                               |                      | Eigenschaft Analyt             |
| K29W_05                                                | dyn       | Strukturmerkmal Analyt        |                      | begründet                                               |                      | WW mit Laufmittel              |
| K29W_06                                                | dyn       | Strukturmerkmal Analyt        |                      | begründet                                               |                      | WW mit (Ad)Sorbens             |
| K29W_07                                                | dyn       | Wechselwirkung (Analyt)       | unterschiedlich      | bestimmt                                                |                      | Trennung                       |
| K29W_08                                                | stat      | Analyt                        |                      | hat bei NPC                                             | gering               | Polarität                      |
| K29W_09                                                | stat      | Analyt                        |                      | hat bei RPC                                             | hoch                 | Polarität                      |
|                                                        |           |                               |                      |                                                         |                      |                                |
| K30W_01                                                | dyn       | Analyt                        |                      | hat WW mit                                              |                      | (Ad)Sorbens                    |
| K30W_02                                                | dyn       | Analyt                        | hoch polar           | hat hoch WW mit                                         | hoch polar           | (Ad)Sorbens                    |
| K30W_03                                                | dyn       | Analyt                        | gering polar         | hat gering WW mit                                       | hoch polar           | (Ad)Sorbens                    |

| Code-Kette                           | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK) | Spezifikation für VK | Grundrelation                                           | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK)   |
|--------------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| K30W_04                              | dyn       | Analyt                  | hoch polar           | hat gering WW mit                                       | gering polar         | (Ad)Sorbens                |
| K30W_05                              | dyn       | Analyt                  | gering polar         | hat hoch WW mit                                         | gering polar         | (Ad)Sorbens                |
|                                      |           |                         |                      |                                                         |                      |                            |
| K31W_01                              | dyn       | Analyt                  |                      | belegt                                                  |                      | Adsorptionsplätze          |
| K31W_02                              | dyn       | Analyt                  |                      | konkurriert um                                          |                      | Adsorptionsplätze          |
| K31W_03                              | dyn       | Analyt                  | gering polar         | konkurriert gering auf hoch polar stationäre Phase um   |                      | Adsorptionsplätze          |
| K31W_04                              | dyn       | Analyt                  | hoch polar           | konkurriert hoch auf hoch polar stationäre Phase um     |                      | Adsorptionsplätze          |
| K31W_05                              | dyn       | Analyt                  | gering polar         | konkurriert hoch auf gering polar stationäre Phase um   |                      | Adsorptionsplätze          |
| K31W_06                              | dyn       | Analyt                  | hoch polar           | konkurriert gering auf gering polar stationäre Phase um |                      | Adsorptionsplätze          |
|                                      |           |                         |                      |                                                         |                      |                            |
| K32W_01                              | dyn       | Retention               | unterschiedlich      | bewirkt                                                 |                      | Trennung Analyt            |
| K32W_02                              | dyn       | Analyt                  | gering adsorbiert    | hat                                                     | gering               | Retention/hoch RF/gering k |
| K32W_03                              | dyn       | Analyt                  | gering adsorbiert    | hat                                                     | hoch                 | Laufstrecke                |
| K32W_04                              | dyn       | Analyt                  | hoch adsorbiert      | hat                                                     | hoch                 | Retention                  |
| K32W_05                              | dyn       | Analyt                  | hoch adsorbiert      | hat                                                     | gering               | Laufstrecke                |
| <b>5 Wirkprinzip eluotrope Reihe</b> |           |                         |                      |                                                         |                      |                            |
| K33W_01                              | dyn       | eluotrope Reihe         |                      | ist spezifisch für                                      |                      | (Ad)Sorbens                |
| K33W_02                              | dyn       | eluotrope Reihe         |                      | ordnet                                                  | nach Elutionskraft   | Laufmittel                 |
| K33W_03                              | dyn       | eluotrope Reihe         |                      | ordnet                                                  | nach Polarität       | Laufmittel                 |
| K33W_04                              |           | Parameter Epsilon       |                      | ist Kenngröße für                                       |                      | Elutionskraft              |
| K33W_04a                             |           | Laufmittel              |                      | hat                                                     |                      | Elutionskraft              |

| Code-Kette                                                                          | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK) | Spezifikation für VK | Grundrelation                         | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| K33W_05                                                                             | dyn       | Laufmittel              | gering polar         | hat auf hoch polar stationäre Phase   | gering               | Elutionskraft            |
| K33W_06                                                                             | dyn       | Laufmittel              | hoch polar           | hat auf hoch polar stationäre Phase   | hoch                 | Elutionskraft            |
| K33W_07                                                                             | dyn       | Laufmittel              | gering polar         | hat auf gering polar stationäre Phase | hoch                 | Elutionskraft            |
| K33W_08                                                                             | dyn       | Laufmittel              | hoch polar           | hat auf gering polar stationäre Phase | gering               | Elutionskraft            |
| K33W_09                                                                             | dyn       | Elutionskraft           | hoch                 | bewirkt                               | gering               | k-Wert                   |
| K33W_10                                                                             | dyn       | Elutionskraft           | gering               | bewirkt                               | hoch                 | k-Wert                   |
| K33W_11                                                                             | dyn       | Elutionskraft           | hoch                 | LM desorbiert hoch                    |                      | Analyt                   |
| K33W_12                                                                             | dyn       | Elutionskraft           | gering               | LM desorbiert gering                  |                      | Analyt                   |
| <b>5 Wirkprinzip allg. Betrachtung Str-Eig-Bez. zur Übertragung auf A, LM, stPh</b> |           |                         |                      |                                       |                      |                          |
| K34W_01                                                                             | stat      | Strukturformel          |                      | hat                                   |                      | Strukturmerkmal          |
| K34W_02                                                                             | stat      | funktionelle Gruppe     |                      | ist                                   |                      | Strukturmerkmal          |
| K34W_02a                                                                            | stat      | Kohlenwasserstoffkette  |                      | ist                                   |                      | Strukturmerkmal          |
| K34W_03                                                                             | dyn       | Strukturmerkmal         |                      | begründet                             |                      | Eigenschaft d. Stoffes   |
| K34W_04                                                                             | dyn       | Strukturmerkmal         |                      | begründet                             |                      | Eigenschaft der Teilchen |
| K34W_05                                                                             | stat      | Polarität               |                      | ist                                   |                      | Eigenschaft der Teilchen |
| K34W_06                                                                             | dyn       | Polarität               |                      | begründet                             |                      | Löslichkeit              |
| K34W_07                                                                             | stat      | Löslichkeit             |                      | ist                                   |                      | Eigenschaft d. Stoffes   |
| K34W_08                                                                             | dyn       | Strukturmerkmal         |                      | begründet                             |                      | Stärke der WW            |
|                                                                                     |           |                         |                      |                                       |                      |                          |
| K35W_01                                                                             | stat      | Azogruppe               |                      | ist                                   |                      | funktionelle Gruppe      |
| K35W_02                                                                             | stat      | Azogruppe               |                      | hat                                   | gering               | Polarität                |
| K35W_03                                                                             | stat      | Benzolring              |                      | ist                                   |                      | funktionelle Gruppe      |
| K35W_04                                                                             | dyn       | Benzolring              |                      | hat                                   | gering               | Polarität                |
| K35W_05                                                                             | stat      | Benzolring              |                      | hat                                   |                      | Merkmal polarisierbar    |
| K35W_06                                                                             | stat      | Dimethylaminogruppe     |                      | ist                                   |                      | funktionelle Gruppe      |
| K35W_07                                                                             | stat      | Dimethylaminogruppe     |                      | hat                                   | gering               | Polarität                |
| K35W_08                                                                             | stat      | Hydroxylgruppe          |                      | ist                                   |                      | funktionelle Gruppe      |

| Code-Kette | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK) | Spezifikation für VK | Grundrelation | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK) |
|------------|-----------|-------------------------|----------------------|---------------|----------------------|--------------------------|
| K35W_09    | stat      | Hydroxylgruppe          |                      | hat           | sehr hoch            | Polarität                |
| K35W_10    | stat      | Ketogruppe              |                      | ist           |                      | funktionelle Gruppe      |
| K35W_11    | stat      | Ketogruppe              |                      | hat           | sehr hoch            | Polarität                |
| K35W_12    | stat      | Iminogruppe             |                      | ist           |                      | funktionelle Gruppe      |
| K35W_13    | stat      | Iminogruppe             |                      | hat           | hoch                 | Polarität                |
| K35W_14    | stat      | Methylgruppe            |                      | ist           |                      | Kohlenwasserstoffkette   |
| K35W_15    | stat      | Propylgruppe            |                      | ist           |                      | Kohlenwasserstoffkette   |
| K35W_16    | stat      | Kohlenwasserstoffkette  |                      | hat           | sehr gering          | Polarität                |
|            |           |                         |                      |               |                      |                          |
| K36W_01    | stat      | Dipol-Dipol-Kräfte      |                      | ist           | zwischen molekular   | Wechselwirkung           |
| K36W_02    | stat      | Dipol-Dipol-Kräfte      |                      | ist           | hoch                 | Wechselwirkung           |
| K36W_03    | dyn       | funktionelle Gruppe     | hoch polar           | bildet aus    |                      | Dipol-Dipol-Kräfte       |
| K36W_04    | dyn       | Hydroxylgruppe          |                      | bildet aus    |                      | Dipol-Dipol-Kräfte       |
| K36W_05    | dyn       | Ketogruppe              |                      | bildet aus    |                      | Dipol-Dipol-Kräfte       |
| K36W_06    | dyn       | Iminogruppe             |                      | bildet aus    |                      | Dipol-Dipol-Kräfte       |
|            |           |                         |                      |               |                      |                          |
| K37W_01    | stat      | H-Brückenbindung        |                      | ist           | zwischen molekular   | Wechselwirkung           |
| K37W_02    | stat      | H-Brückenbindung        |                      | ist           | sehr hoch            | Wechselwirkung           |
| K37W_03    | dyn       | funktionelle Gruppe     | hoch polar           | bildet aus    |                      | H-Brückenbindung         |
| K37W_04    | dyn       | Hydroxylgruppe          |                      | bildet aus    |                      | H-Brückenbindung         |
| K37W_05    | dyn       | Ketogruppe              |                      | bildet aus    |                      | H-Brückenbindung         |
| K37W_06    | dyn       | Iminogruppe             |                      | bildet aus    |                      | H-Brückenbindung         |
|            |           |                         |                      |               |                      |                          |
| K38W_01    | stat      | Pi-Pi-Transfer-Kräfte   |                      | ist           | zwischen molekular   | Wechselwirkung           |
| K38W_02    | stat      | Pi-Pi-Transfer-Kräfte   |                      | ist           | ind-Dipol            | Wechselwirkung           |
| K38W_03    | stat      | Pi-Pi-Transfer-Kräfte   |                      | ist           | mittel               | Wechselwirkung           |
| K38W_04    | dyn       | funktionelle Gruppe     | mit Pi-Elektronen    | bildet aus    |                      | Pi-Pi-Transfer-Kräfte    |

| Code-Kette | Prop.-art | Vorbereichskonzept (VK) | Spezifikation für VK | Grundrelation | Spezifikation für NK | Nachbereichskonzept (NK) |
|------------|-----------|-------------------------|----------------------|---------------|----------------------|--------------------------|
| K38W_05    | dyn       | Benzolring              |                      | bildet aus    |                      | Pi-Pi-Transfer-Kräfte    |
|            |           |                         |                      |               |                      |                          |
| K39W_01    | stat      | van der Waals-Kräfte    |                      | ist           | zwischen molekular   | Wechselwirkung           |
| K39W_02    | stat      | van der Waals-Kräfte    |                      | ist           | ind-Dipol            | Wechselwirkung           |
| K39W_03    | stat      | van der Waals-Kräfte    |                      | ist           | sehr gering          | Wechselwirkung           |
| K39W_04    | dyn       | funktionelle Gruppe     | gering polar         | bildet aus    |                      | van der Waals-Kräfte     |
| K39W_05    | dyn       | Kohlenwasserstoffkette  |                      | bildet aus    |                      | van der Waals-Kräfte     |
| K39W_06    | dyn       | Benzolring              |                      | bildet aus    |                      | van der Waals-Kräfte     |
| K39W_07    | dyn       | Dimethylaminogruppe     |                      | bildet aus    |                      | van der Waals-Kräfte     |

## 19.6 Vorgehensweise zur Absicherung einer konsistenten Codierung

### 19.6.1 Ankerbeispiele zur Codierung aus Intracoding und Inter coding

Zum Intracodieren wurde das bereits codierte Dokument mit FD1 und das noch zu codierende Dokument mit FD2 versehen. Intracodiert wurden alle Dokumente der Vpn 01 bis 04 des ersten Durchganges. Die Erstcodierung lag mehrere Wochen zurück. Die prozentuale Übereinstimmung der jeweils verglichenen Dokumente lag bei allen Dokumentenpaaren bei über 90 %. Da auch nicht vorhandene Codes, die den überwiegenden Teil der Codes des umfangreichen Code-Systems (N=300) ausmachen, bei der Berechnung des Übereinstimmungsgrades berücksichtigt werden, fallen Abweichungen bei den vorkommenden Codes kaum ins Gewicht. Die vorkommenden Codes sind allerdings zentral bei der Beurteilung der Argumentationslinien. Daher wurden alle Codierungen mehrmals überprüft, sodass die Codezuordnung möglichst konsistent ist. Dazu wurden die Codings aller Vpn als Excel-Tabelle exportiert. Die Zeilen der Tabelle wurden nach folgender Reihenfolge sortiert:

1. Dokumentname
2. Segment
3. Code

Die Codings wurden von vier Experten, einschließlich der Autorin, die mit dem Forschungsanliegen und dem Kategorienschema besonders gut vertraut waren, überprüft.<sup>148</sup> Für jeden Experten wurde eine Spalte festgelegt, in der Codierungen von Segmenten kom-

<sup>148</sup> In der COACTIV-Studie waren die drei Experten, die bei der Bestimmung der Analyseneinheiten involviert waren, auch Codierer des Aufgabenmaterials aus dem Mathematikunterricht (vgl. Jordan et al. 2006: 18).

mentiert werden konnten. Die Autorin (FD) hat Änderungen und Hinweise zur Codierung entsprechend vermerkt und hervorgehoben. Dazu wurden Codes und Textabschnitte/Wörter entsprechend farblich kenntlich gemacht (s. Tab. A 11).

Tab. A 11: Legende zur Hervorhebung vorgenommener Änderungen und Hinweise zu Codierungen

|  |                                                                                                                             |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | gelöschte Codierung                                                                                                         |
|  | neue Codierung                                                                                                              |
|  | Verweis auf Codierungen, die zusammengehören<br>Bemerkung zur Codierung, wenn Segment eine Information nur implizit enthält |
|  | Erklärung zur Codierung                                                                                                     |
|  | Frage zu (Nach)Codierung                                                                                                    |

Exemplarisch werden in Tab. A 12 bis Tab. A 15 Abschnitte des Excel-Tabellenblattes dargestellt. Drei der fünf Beispiele (Kap. 19.6.1.1 bis Kap. 19.6.1.5) sind auch in Kap. 19.7.2 (S. 424) beschriebene Ankerbeispiele. Bei den Beispielen aus Kap. 19.6.1.1 bis Kap. 19.6.1.4 handelt es sich um Segmente einer Vp aus dem ersten Durchgang. Die Dokumente des ersten Durchganges wurden für den Intracodervergleich von der Autorin zweimal codiert. Die Kennzeichnung „FD2“ am Ende des Dokumentennamens gibt an, dass es sich um die zweite Codierung handelt.

Abweichungen ergaben sich aufgrund von Interpretationsspielräumen. Obwohl das Codesystem mit 300 Propositionen so angelegt ist, dass möglichst alle Aussagenvarianten der Vpn abgedeckt werden, gibt es immer noch Grenzfallentscheidungen, die in den Ankerbeispielen im Anhang (Kap. 19.7.2, S. 424) ausgeführt werden. Exemplarisch wird die Codierungsweise entsprechend der Regeln im Codebuch an einzelnen Textsegmenten im Folgenden erläutert.

#### 19.6.1.1 Ankerbeispiel zur Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit dem Laufmittel Propanol

Im ersten Beispiel in Tab. A 12 geht es um die Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit dem Laufmittel Propanol (s. Ankerbeispiel Kap. 19.7.2.1a Segment aus 011b Zusammenhänge (Zeile 43), S. 424).

Tab. A 12: Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von drei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „011b Zusammenhänge FD2“ zur Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit Propanol

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                      | 011b Zusammenhänge FD2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Code</b>                               | Propositionen\01 Verfahren\K01V_Definition\K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Segment</b>                            | Bei Propanol gab es wieder keine Wechselwirkungen.<br><b>Das Gemisch wurde vom Laufmittel mitgenommen</b> , konnte aber nicht mit der Platte in Wechselwirkung treten u. ist damit bis zur Laufmittelfront mitgelaufen und wurde nicht getrennt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b> | K06B_Propanol\K06B_01 Propanol ist Laufmittel<br>K06B_Propanol\K06B_05 Propanol hat WW mit Analyt<br>K06B_Propanol\K06B_09 Propanol bewirkt keine Trennung<br>K15Q Laufstrecke Analyt\K15Q_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront<br>K23W_Laufmittel Desorption Analyt\K23W_01 Laufmittel desorbiert Analyt<br>K27W_Laufmittel Konkurrieren um Adsorptionsplätze\K27W_01 Laufmittel konkurriert um <small>Adsorptionsplätze</small><br>K21W_01 Laufmittel transportiert Moleküle (Analyt/Lösungsmittel)<br>K31W_02 Analyt konkurriert um <small>Adsorptionsplätze</small> |
| <b>FD</b>                                 | Umcodierung: statt <b>K06B_05</b> -> <b>K21W01</b><br><b>K23W_01</b> gelöscht<br>neu: <b>K31W_02</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Experte 1</b>                          | K01V_06 passt für mich nicht, da es nur um das Laufmittel geht, diese Aussage steckt hier nicht drin; K06B_05 würde ich drinlassen, entspricht inhaltlich dem Segment, wenn auch mit anderen Worten; K31W_02 passt für mich nicht, weil genau die Aussage, warum Laufmittel nicht mit Platte in WW treten konnte, nicht beschrieben ist, die Begründung fehlt                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Experte 2</b>                          | K01V_06 passt für mich (aus dem Gesamtkontext)<br>Umcodierung K06B_05 ist für mich i.O.<br>Löschen K23W_01 ist i.O:<br>K31W_02: ist für mich nicht zutreffend                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>FD2</b><br><b>Frage an Experte 3</b>   | K01V_06?<br>K06B_05 würde ich drinlassen?<br><b>K27W_01</b><br><b>K31W_02?</b> – Konkurrenz besteht darin, dass Analyt u. LM unterschiedl. Chancen haben an Platte anzudocken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Antwort Experte 3</b>                  | K01V_06? nein hat=hat nicht?<br>K06B_05 würde ich drinlassen? Nein; <b>K31W_02?</b> nein                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>FD3</b>                                | Codierung wird beibehalten u. wird im Abschnitt „Intra- und Interkodieren“ erläutert; zusätzl. wird Erläuterung als Memo im Dokumentenbrowser angelegt<br><b>K31W_02 wird gelöscht</b><br>überprüft am 31.07.2019; Codierung beibehalten                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

„K06B\_01 Propanol ist Laufmittel“ steckt im Segment „Bei Propanol gab es wieder keine Wechselwirkungen. Das Gemisch wurde vom Laufmittel mitgenommen“. Obwohl Vp den Bezug, dass Propanol Laufmittel ist, nicht eindeutig formuliert, wird der Code zugeordnet, da Bezug durch die Aufgabenstellung gegeben ist, die die Grundlage für die Ausführungen ist.

„Das Gemisch“ bezieht sich auf „Farbstoffgemisch“. Für die Standardisierung werden Wechselwirkungen (WW) allgemein auf das Laufmittel (LM), den Analyten und das Adsorbens bezogen. Um „Gemisch“ zu standardisieren, muss der Code „K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt“ zugeordnet werden.

Problematisch ist die Interpretation von „Bei Propanol gab es wieder keine Wechselwirkungen.“, da Vp nicht explizit festlegt, ob es um die Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt, Laufmittel und stationärer Phase oder zwischen Analyt und stationärer Phase geht. Da Vp formuliert, dass das Gemisch vom Laufmittel mitgenommen wurde, ist anzunehmen, dass Vp von Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt ausgeht. Somit können mit „keine Wechselwirkungen“ nur die Wechselwirkungen zwischen Analyt und stationärer Phase gemeint sein, die die Vp als nicht vorhanden einstuft, weil das Gemisch vom Laufmittel bis zur Laufmittelfront mitgenommen wurde. Da Negationen im Code-System nicht berücksichtigt werden, käme für die Standardisierung der Aussage zu Wechselwirkungen höchstens der Code „K30W\_03 Analyt gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens“ in Frage. Die Zuordnung wurde allerdings nicht vorgenommen, da im Segment keine Aussage zur Polarität des Laufmittels und des Analyten getroffen wird.

Die allgemeine Aussage „K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt“ steckt implizit in der Teilaussage „Das Gemisch wurde vom Laufmittel mitgenommen, [...]“. Aber die explizit genannte Wechselwirkungsbeziehung beschränkt die Vp nur auf Analyt und stationäre Phase („[Das Gemisch] konnte aber nicht mit der Platte in Wechselwirkung treten“). Daher wurde der Code nicht zugeordnet. Da Vp davon auszugehen scheint, dass der Analyt keine Wechselwirkung mit der stationären Phase eingeht, scheint sie auch nicht die Desorptionseffekte des Laufmittels zu betrachten. Somit wurden weder Code „K23W\_01 Laufmittel desorbiert Analyt“ noch Code „K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze“ zugeordnet. Die Teilaussage wurde nur mit dem Code „K21W\_01 Laufmittel transportiert Moleküle (Analyt/Lösungsmittel)“ standardisiert. Das Segment wurde daher nur mit folgenden Propositionen codiert:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_09 Propanol bewirkt keine Trennung
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K21W\_01 Laufmittel transportiert Moleküle (Analyt/Lösungsmittel)



### 19.6.1.2 Ankerbeispiel zur Begründung der guten Trennung des Farbstoffgemisches mit dem Laufmittel Toluol

Im zweiten Beispiel in Tab. A 13 geht es um die Begründung der guten Trennung des Farbstoffgemisches mit dem Laufmittel Toluol (s. Ankerbeispiel Kap. 19.7.2.1b Segment aus 011b Zusammenhänge (Zeile 50), S. 425).

*Tab. A 13: Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von drei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „011b Zusammenhänge FD2“ zur Begründung der guten Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol*

|                                           |                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                      | 011b Zusammenhänge FD2                                                                                                                                                                                   |
| <b>Code</b>                               | Propositionen\01 Verfahren\K01V_Definition\K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt                                                                                                                       |
| <b>Segment</b>                            | Bei Toluol waren die Wechselwirkungen zw. Laufmittel und Gemisch optimal und daher war die gute Auftrennung möglich.                                                                                     |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b> | K07B_Toluol\K07B_01 Toluol ist Laufmittel<br>K07B_Toluol\K07B_05 Toluol hat WW mit Analyt<br>K07B_Toluol\K07B_09 Toluol bewirkt optimal Trennung<br><a href="#">K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt</a> |
| <b>FD</b>                                 | neu: <a href="#">K22W_01</a>                                                                                                                                                                             |
| <b>Experte 1</b>                          | für mich bräuchte es nicht K22W_01, da sich diese Aussage aus K07B_01 und K07B_05 zwingend ergibt.                                                                                                       |
| <b>Experte 2</b>                          | ich stimme FD zu.                                                                                                                                                                                        |

Diskutiert wurde die Zuordnung des Codes K22W\_01. Auch wenn die Proposition inhaltlich in K07B\_01 und K07B\_05 enthalten ist, wurde der Code zugeordnet, weil Vp nicht nur von Toluol spricht, sondern auch den Begriff „Laufmittel“ verwendet und damit die Aussage über die Wechselwirkungen verallgemeinert.

### 19.6.1.3 Ankerbeispiel zur Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit dem Laufmittel Hexan

Im dritten Beispiel in Tab. A 14 geht es um die Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit dem Laufmittel Hexan.

Tab. A 14: Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von drei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „011b Zusammenhänge FD2“ zur Begründung der schlechten Trennung des Farbstoffgemisches mit Hexan

|                                           |                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                      | 011b Zusammenhänge FD2                                                                                                                           |
| <b>Code</b>                               | Propositionen\02 Verhaltensbedingungen\K05B_Hexan\K05B_01 Hexan ist Laufmittel                                                                   |
| <b>Segment</b>                            | Mit Hexan bleiben die Substanzen unten kleben, d. h. sie werden vom Laufmittel nicht mitgenommen, <b>es gibt keine Wechselwirkung mit Hexan.</b> |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b> | K15Q Laufstrecke Analyt\K15Q_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie                                                                            |
| <b>FD</b>                                 | <b>orange</b> Markiertes ist fachl. nicht richtig, daher nicht codiert bzw. dem Code „falsche Propositionen“ zugeordnet.                         |
| <b>Experte 1</b>                          | ok                                                                                                                                               |
| <b>Experte 2</b>                          | ok                                                                                                                                               |

Die Code-Zuordnung für dieses Beispiel war eindeutig, sodass es nicht unter den Ankerbeispielen im Anhang berücksichtigt wurde. Die Begründung „es gibt keine Wechselwirkungen mit Hexan“ ist eine sehr starke Vereinfachung, aber fachlich falsch, denn Wechselwirkungen des Laufmittels Hexan mit hydrophoben Bereichen der Farbstoffmoleküle sind vorhanden, nur dass sie deutlich schwächer sind als die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen oder Wasserstoffbrückenbindungen, die polare funktionelle Gruppen der Farbstoffmoleküle mit den Hydroxylgruppen des Silicagels (der stationären Phase) eingehen, was der entscheidende Grund dafür ist, dass die Farbstoffmoleküle sehr stark zurückgehalten werden und sich fast gar nicht von der Startlinie wegbewegen. Somit wurden dem Segment nur die folgenden zwei Codes zugeordnet:

- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K15Q\_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie

#### 19.6.1.4 Ankerbeispiel zur Interpretation der $R_F$ -Werte bei der Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol

Im vierten Beispiel in Tab. A 15 geht es um die Interpretation der  $R_F$ -Werte bei der Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol (s. Ankerbeispiel Kap. 19.7.2.2a Segment aus 013EI Retentionsfaktor (Zeile 73), S. 439).

Tab. A 15: Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von drei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „013EI Retentionsfaktor FD2“ zur Interpretation der  $R_F$ -Werte bei der Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                      | 013EI Retentionsfaktor FD2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Code</b>                               | Propositionen\04 Qualitative Analyse\K15Q_K19Q_Laufstrecke u. Kenngrößen Analyt m. jew. LM\K15Q Laufstrecke Analyt\K15Q_04 Buttergelb wandert mit Toluol hoch Laufstrecke                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Segment</b>                            | <p>„Die <math>R_F</math>-Werte sind von Indophenol (unten) zu Buttergelb (oben) zunehmend.</p> <p>Bei Buttergelb ist die Menge im Laufmittel größer als in der mobilen Phase, daher weit nach oben gewandert.</p> <p>Bei Indophenol (unten) ist die Menge an gelöstem Stoff in der stationären Phase größer, als in der mobilen.</p> <p>Bei Sudanrot halten sich die Mengen in stationäre u. mobile Phase relativ die Waage.“</p>                                                                                       |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b> | <p>K16Q <math>R_F</math>-Wert\K16Q_04 Buttergelb hat mit Toluol hoch <math>R_F</math>-Wert</p> <p>K16Q <math>R_F</math>-Wert\K16Q_05 Indophenol hat mit Toluol gering <math>R_F</math>-Wert</p> <p>K16Q <math>R_F</math>-Wert\K16Q_06 Sudanrot G/Vergl.-subst. hat mit Toluol mittel <math>R_F</math>-Wert</p> <p>K18Q Stoffmenge in stationärer Phase\K18Q_04 Buttergelb hat mit Toluol gering Stoffmenge in stPh</p> <p>K19Q Stoffmenge in mobiler Phase\K19Q_04 Buttergelb hat mit Toluol hoch Stoffmenge in mPh</p> |
| <b>FD</b>                                 | <p>lt. Aufgabenstellung geht es um Trennergebnis Toluol</p> <p>blau markierte Segmente wurden in der Codierung zusammengeführt</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Experte 1</b>                          | ok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Experte 2</b>                          | ok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Ursprünglich wurde jeder Satz des Segmentes separat codiert. Bei der Überprüfung der Codierungen stellte sich allerdings heraus, dass die Zuordnung der Codes K16Q\_05 und K16Q\_06 nur nachvollziehbar ist, wenn das Segment im Ganzen betrachtet wird. Daher wurden Codierungen der einzelnen Sätze zusammengeführt.

Bei der Aussage „Bei Buttergelb ist die Menge im Laufmittel größer als in der mobilen Phase, daher weit nach oben gewandert.“ meint die Vp statt mobiler Phase die stationäre Phase. In diesem Fall waren sich alle Experten einig, dass es sich um einen Flüchtigkeitsfehler handelt und die Aussage als richtig gewertet werden kann, denn bei Indophenol und Sudanrot werden die Stoffmengenverhältnisse in den jeweiligen Phasen richtig eingeschätzt. Codiert wurden:

- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K15Q\_04 Buttergelb wandert mit Toluol hoch Laufstrecke

- K16Q\_04 Buttergelb hat mit Toluol hoch RF-Wert
- K16Q\_05 Indophenol hat mit Toluol gering RF-Wert
- K16Q\_06 Sudanrot G/Vergleichssubstanz hat mit Toluol mittel RF-Wert
- K18Q\_04 Buttergelb hat mit Toluol gering Stoffmenge in stPh
- K19Q\_04 Buttergelb hat mit Toluol hoch Stoffmenge in mPh

Abschließend werden noch im Kap. 19.6.1.5 zwei Beispiele zur Codierung von Propositionen aus Concept Maps herausgegriffen.

#### 19.6.1.5 Beispiele zur Codierung von Propositionen aus Concept Maps der Vpn

Inhaltlich im Zusammenhang stehende Propositionen aus dem Concept Map einer Versuchsperson

„Hexan (Stoffe) hat Polarität  
Laufmittel (Stoffe) mit bestimmter Polarität (Stoffe)/(Wirkprinzip)  
Polarität (Stoffe)/(Wirkprinzip) bestimmt Trennleistung“

wurde codiert mit:

K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung  
K04B\_03 Laufmittel hat unterschiedlich Polarität  
K05B\_01 Hexan ist Laufmittel  
K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung

Da aus der Aufgabenstellung hervorgeht, dass Hexan ein Laufmittel ist, wird der Code K05B\_01 zugeordnet. Der Zusammenhang zwischen der Polarität des Laufmittels und der Trennung des Farbstoffgemisches ist durch die letzten beiden Propositionen gegeben, die inhaltlich durch die Codierung mit K01V\_11, K04B\_03 und K13Q\_01 erfasst werden.

Nicht codiert und mit dem Code „keine Zuordnung“ zugeordnet wurden solche Propositionen aus Concept Maps von Versuchspersonen,

- a. deren Vor- und Nachbereichskonzepte nicht direkt im Zusammenhang stehen, z. B. „WW (Wirkprinzip) die ungeeignet für Auswertung (Apparatur)“
- b. die unvollständig sind, dass eine eindeutige Zuordnung nicht möglich ist, z. B. „Propanol (Stoffe) hat WW (Wirkprinzip)“ oder „Kieselgel (Stoffe) benötigt Lösungsmittel unpolar (Stoffe)“

Die Beispiele unter a. und b. stammen aus dem Concept Map von Vp08.

Die Proposition unter a. steht im Zusammenhang mit der ersten Proposition unter b. Das Vorbereichskonzept „Wechselwirkung“ und das Nachbereichskonzept „Auswertung“ des Beispiels unter a. stehen nicht miteinander in direktem Zusammenhang. Wechselwirkungen gibt es zwischen den am Trennvorgang beteiligten Komponenten (Analyt, Laufmittel, stationäre Phase). Die Vp impliziert, dass unter Einsatz des Laufmittels Propanol das Stoffgemisch nicht getrennt wird und daher keine Auswertung möglich ist. Für die Begründung des Trennergebnisses sind die Wechselwirkungsbeziehungen zwischen den am Trennvorgang beteiligten Komponenten zu berücksichtigen.

Die Propositionen unter b. sind unvollständig. Bei den im Codesystem enthaltenen Propositionen kommt der Begriff „Wechselwirkung“ nicht als Konzept vor, sondern nur in der Relation „hat WW mit“. Somit ist die erste Proposition unter b) unvollständig, weil die Nennung der Komponente, mit der Propanol in Wechselwirkung tritt, fehlt.

Im zweiten Beispiel unter b) „Kieselgel (Stoffe) benötigt Lösungsmittel unpolar (Stoffe)“ ist die Proposition „Laufmittel ist Verhaltensbedingung“ enthalten. Die Spezifikation, dass ein unpolares Laufmittel (von der Vp als Lösungsmittel bezeichnet) beim Einsatz von Kieselgel benötigt wird, könnte ein Verweis auf die Bedingungen in der Normalphasenchromatografie sein, bei der die stationäre Phase polarer als das Laufmittel ist. Dazu hätte die Vp Kieselgel als polar charakterisiert haben müssen. Da diese Spezifikation fehlt, ist die Proposition unvollständig und wird weder dem Code „K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung“ noch dem Code „K20W\_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)“ zugeordnet.

Eine vollständige Liste der nicht zugeordneten Textsegmente ist im Anhang (s. Kap. 19.7.7, S.483).

### 19.6.2 Memos zum Festhalten von Auffälligkeiten während der Codierung

An den Ankerbeispielen wurde verdeutlicht, welche Schwierigkeiten es bei der Interpretation der Aussagen der Vpn gab. Um Überlegungen, die bei der Codierung ausschlaggebend waren festzuhalten, gibt es MAXQDA die Möglichkeit Memos anzulegen. Es gibt verschiedene Memo-Arten.

Zum einen können Memos einzelnen Codes hinzugefügt werden, um die Anwendung des Codes zu dokumentieren. In diesen Memos wurden die Codierregeln und die jeweiligen Ankerbeispiele eingefügt.

Zum anderen können Memos an Textsegmente angeheftet werden. Hier wurde die Möglichkeit genutzt, Memos nach inhaltlichen und methodischen Gesichtspunkten zu kategorisieren. Bei der Auswertung der Daten dieser Fallstudie wurden folgende Memo-Unterscheidungen getroffen (s. Tab. A 16):

Tab. A 16: Verwendete Memos zur Kommentierung von Textsegmenten während der Datenanalyse

| Icon                                                                                | Beschriftung des Memos                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|  | Erkenntnisstand/-gewinn Vp                         |
|  | offene Frage                                       |
|  | Hinweise Theoriebildung/-bezug                     |
|  | Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung     |
|  | Fehlkonzepte d. Vpn                                |
|  | Beschreibung Abbildungen, auf die Vpn Bezug nehmen |

Icons sind Bildschirmfotos von der Memoansicht im Programm MAXQDA 2018 (VERBI Software 2018)

Diese Memos können beim Generieren der „Liste der Codings“ mit exportiert werden, dass beim Durchgehen der Codierungen die Segmente mit Memos noch einmal in gebündelter Form betrachtet werden können (s. Tab. A 17). Das war besonders für die Experten wichtig, die die Codierungen an den Segmenten überprüfen und nachvollziehen sollten.

Tab. A 17: Abschnitte aus dem Excel-Tabellenblatt mit Kommentaren von zwei Experten zur Codierung eines Segmentes aus dem Dokument „013EII Retention NPC FD2“ zur Erklärung des Verdrängungsprinzips bei der NPC

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                      | 013EII Retention NPC FD2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Code</b>                               | Propositionen\02 Verhaltensbedingungen\K06B_Propanol\K06B_04 Propanol hat hoch Polarität                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Segment</b>                            | Das Propanol ist polar u. heftet sich daher besonders gut an die polare Silicaschicht. Die Farben haben keine Chance das Lösungsmittel zu verdrängen u. wandern daher mit dem Laufmittel bis nach oben mit.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b> | K06B_Propanol\K06B_06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel<br>K15Q Laufstrecke Analyt\K15Q_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront<br>K25W_Laufmittel WW mit (Ad)Sorbens\K25W_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens<br>K25W_Laufmittel WW mit (Ad)Sorbens\K25W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens<br>K27W_Laufmittel Konkurrieren um Adsorptionsplätze\K27W_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze<br>K27W_Laufmittel Konkurrieren um Adsorptionsplätze\K27W_03 LM hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Adsorptionsplätze<br>K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt<br>K31W_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze |
| <b>Memos</b>                              | FD, 31.07.2019<br>Titel: Silcagel, Adsorbens – stPhase<br>„Die Codes K06B_01 Propanol ist Laufmittel, K20W_03 Silicagel ist Adsorbens, K20W_04 Adsorbens ist stationäre Phase<br><a href="#">K20W_08 (Ad)Sorbens hat Adsorptionsplätze (am 11.1.2019 hinzugefügt)</a><br>werden als Verbindung zu verallgemeinernden Codes benötigt.“                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>FD</b>                                 | <a href="#">neu: K01V_06, K31W_02</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Experte 1</b>                          | ja, das passt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Experte 2</b>                          | ok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Das Beispiel in Tab. A 17 ist auch als Ankerbeispiel in Kap. 19.7.2.1e (S. 427), aufgeführt. Das Memo begründet die nachträgliche Zuordnung von Codes, die auch von den beiden Experten bestätigt wird. Die Aussage „Die Farben haben keine Chance das Lösungsmittel zu verdrängen“ ist in den Codes K01V\_06, K27W\_01 und K31W\_02 enthalten. Die Zuordnung von K27W\_03 erfolgte, weil Vp ausführt, dass Propanol polar ist und sich daher besonders gut an polare Silicaschicht „anheftet“. Die Aussagen, dass Propanol Laufmittel und die Silicaschicht Adsorbens ist und Adsorptionsplätze hat, sind nur implizit im Segment enthalten, werden aber als Verbindung zu verallgemeinernden Codes benötigt. Daher

wurden die Codes „K06B\_01 Propanol ist Laufmittel“, „K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens“, „K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase“ und „K20W\_08 (Ad)Sorbens hat Adsorptionsplätze“ nachträglich noch zugeordnet.

Auf diese Weise wird der Prozess des Codierens, des Überprüfens der Codierungen und des Interpretierens der codierten Daten enorm erleichtert, denn durch die Memos können Textsegmente nach bestimmten Gesichtspunkten in MAXQDA herausgefiltert werden. Will man offene Fragen gezielt bearbeiten, lässt man sich alle Memos mit dem Fragezeichen-Icon anzeigen. Durch Anklicken einer Memo-Zeile wird im Dokumentenbrowser der Software das Segment in dem betreffenden Dokument automatisch angezeigt. Genauso können Textsegmente sondiert werden, die für die Ergebnisdiskussion wichtig sind wie Erkenntnisgewinne oder Fehlkonzepte der Vpn.

### 19.6.3 Abschließende Konsistenzprüfung der Codierungen

Die Vielzahl der Ankerbeispiele und Grenzfallentscheidungen verdeutlicht, dass bei einem Umfang von 290 Dokumenten und den im Prozess erfolgten Nachbesserungen im Kategoriensystem und den Codierungen eine abschließende Konsistenzprüfung unerlässlich ist. Das betrifft insbesondere die Zuordnung der verallgemeinernden Codes wie solche, die dem Segment in Tab. A 17 nachträglich zugeordnet wurden.

In der ursprünglichen Codierweise wurde nur das explizit Formulierte für die Zuordnung der Codes berücksichtigt. Im Prozess des Codierens wurde allerdings deutlich, dass Vpn im Laufe der Aufgabenbearbeitung bereits Erkanntes/Formuliertes nicht noch einmal wiederholen, sondern in komprimierter Form oder in anderen Worten wiedergeben. Wurden bspw. die Farbstoffe Indophenol, Sudanrot und Buttergelb einmal genannt, werden an anderer Stelle nur noch Konzepte wie „Farbstoffgemisch“, „Probe“ oder „Analyt“ genannt. Ähnlich verhält es sich mit der Nennung der Laufmittel Hexan, Toluol und Propanol, die konkret genannt oder ersatzweise mit „Laufmittel“ oder „mobile Phase“ bezeichnet werden.

Für die Konsistenzprüfung wurde das Smart Coding Tool von MAXQDA verwendet. Dieses Tool ermöglicht sich alle Segmente anzeigen zu lassen, die einen ausgewählten Code enthalten. Gleichzeitig wird angezeigt, welche weiteren Codes dem jeweiligen Segment zugeordnet wurden. Diese Ansicht kann als Excel-Datei exportiert werden. Das hat den Vorteil, dass man in der Excel-Datei kenntlich machen kann, welche Änderungen in der Codierung vorgenommen werden sollen. Die Vorgehensweise wird an einem Beispiel erläutert.

Um den Fokus der Konsistenzprüfung herauszukristallisieren, wurde in einem ersten Schritt eine Code-Matrix generiert. Dazu wurden alle Dokumente der Vpn und eng miteinander in Beziehung stehende Codes in MAXQDA aktiviert. Im Anschluss wurde die Funktion „Code-Matrix-Browser“ aufgerufen, um für alle aktivierten Codes und Dokumente eine Matrix zu erstellen, deren Spalten nur die Dokumentensets (pro Vp ein Set) auflisten. Diese Matrix wurde als Excel-Datei exportiert. In dem Tabellenblatt wurden alle

vorkommenden Codes grün markiert. Wenn bei einer Vp ein Code fehlte, der aber aufgrund anderer vorkommender Codes evtl. hätte zugeordnet werden können, wurde die Zelle in dem Tabellenblatt gelb markiert (s. Tab. A 18).

Tab. A 18: Code-Matrix zur Konsistenzprüfung der Codierungen zu allen Codes, die das Farbstoffgemisch spezifizieren

| Vp                                                           | 1 | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--------------------------------------------------------------|---|----|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 01 Verfahren\K01V_Definition                                 |   |    |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt                      | 1 | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| K02V_13 Analyt/FG/V ist gelöst in Lösungsmittel              | 1 | 0  | 1 | 1 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| K02V_14 Toluol ist Lösungsmittel                             | 1 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| 03 Analyt\K08A_Farbstoffgemisch Löslichkeit u. Polarität     |   |    |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| K08A_01 Farbstoffgemisch hat lipophil Löslichkeit            | 1 | 1  | 1 | 1 | 1 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  |
| K08A_02 Analyt hat in LM unterschiedlich Löslichkeit         | 0 | 1  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| K08A_03 Analyt hat unterschiedlich Polarität                 | 1 | 1  | 0 | 1 | 0 | 0 | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  |
| 03 Analyt\K09A_Analyten d. Farbstoffgemisches u. deren Farbe |   |    |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| K09A_01 Buttergelb ist Analyt                                | 1 | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | NK | NK | 1  | 1  | 1  | 1  |
| K09A_02 Indophenol ist Analyt                                | 1 | 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | 1  | NK | 1  | 1  | 1  | 1  |
| K09A_03 Sudanrot G ist Analyt                                | 1 | NK | 1 | 1 | 1 | 1 | 1  | NK | NK | 1  | 1  | 1  | 1  |
| K09A_04 Sudanrot G ist Vergleichssubstanz                    | 1 | 0  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  |
| SUMME                                                        | 9 | 6  | 6 | 7 | 5 | 4 | 10 | 3  | 3  | 9  | 8  | 8  | 7  |

NK: Nachcodierung prüfen

Für die Überprüfung wurde das Smart Coding Tool geöffnet und der Code „K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt“ ausgewählt. In der Ansicht der Codings kann man zwischen zwei Optionen wählen: entweder nur die aktivierten Codes (s. Abb. A 17) oder alle Codes anzeigen zu lassen (s. Abb. A 18). Bei der ersten Option konzentriert man sich nur darauf, inwiefern die in Tab. A 18 fehlenden Codes den angezeigten Segmenten der jeweiligen Vpn noch zugeordnet werden müssten. Bei der zweiten Option kontrolliert man, ob die gesamte Zuordnung von Codes korrekt ist.

Beide Varianten wurden als Excel-Datei exportiert, um alle Codings zu prüfen und Nachcodierungen zu vermerken. Dazu werden die Codierregeln 1b und 1c auf konsistente Anwendung überprüft:

- b. Standardmäßig bei der Nennung von Farbstoffgemisch, Stoffgemisch oder Gemisch den Code „K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt“ zuordnen.
- c. Standardmäßig bei der Nennung von Buttergelb, Indophenol und Sudanrot die Codes „K09A\_01 Buttergelb ist Analyt“, „K09A\_02 Indophenol ist Analyt“ bzw. „K09A\_03 Sudanrot G ist Analyt“ zuordnen. Der Code „K09A\_04 Sudanrot G ist Vergleichssubstanz“ wird zugeordnet, wenn der Begriff „Vergleichssubstanz“ explizit genannt wird.

Auf diese Weise wurden auch die anderen Aspekte in den Codierungen auf konsistente Umsetzung der Codierregeln überprüft. Diskussionsfälle wurden in einem gesonderten Excel-Tabellenblatt aufgelistet und mit den Experten diskutiert. Ein paar Beispiele aus dieser Diskussion werden kurz dargelegt.



| Dokument               | Codings                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Codes                                                                        | Kommentar                                                                        |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 081a Concept Map       | Probe ist Farbstoffgemisch (Stoffe)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                              |                                                                                  |
| 081b Zusammenhänge     | Probe ist Farbstoffgemisch. Dieses wird auf DC-Platte aufgetragen. DC-Platte ist Kieselgel. Ebenfalls aufgetragen wird Referenzprobe.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                              |                                                                                  |
| 081c SLS               | Probe ist Farbstoffgemisch (Stoffe)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                              |                                                                                  |
| 083EI Retentionsfaktor | [Text d. Vp wurde neben den englischen Text geschrieben]<br>TLC<br>HPLC mit Kieselgel Kolonne<br>gleiche Probe, mob. Phase, Temp., gleiche stat. Ph.<br><Folgefeil> sollten gleiche Werte für k hervorbringen (für jede Verbindung in Probe)                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                              |                                                                                  |
| 084 Leitfragen         | Da Tolul relativ klein und unpol ist, kann es von den Farbstoffen verdrängt werden (siehe EII)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                              |                                                                                  |
| 091b Zusammenhänge     | Ein Chromatogramm enthält eine Substanz, eine mobile Phase und eine stationäre Phase.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                              | FD: Chromatogramm ist fachlich falsch, denn Begriff bezeichnet das Trennergebnis |
| 091c SLS               | Stoffgemische werden getrennt in Einzelstoffe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                              |                                                                                  |
| 091c SLS               | Stoffgemische werden getrennt in Einzelstoffe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                              |                                                                                  |
| 093EII Retention NPC   | Bei NPC treten vor allem polare Interaktionen auf, denn polare Moleküle von Lösungsmittel und vom gelösten Stoff werden mehr mit der polaren Silicat-Oberfläche reagieren als mit der weniger polaren mobilen Phase.<br>An dieser Stelle betrachtet man Interaktionen zwischen gelösten Stoff und Lösungsmittel mit der stationären Phase.<br>Also: stationäre Phase = Silicat-OF<br>mobile Phase = Laufmittel<br>(Lösungsmittel = Tolul)<br><gewinkelter Pfeil> für alle Farbstoffe | K02V_14 Tolul ist Lösungsmittel                                              |                                                                                  |
| 093EII Retention NPC   | unpolares Laufmittel<br><Folgefeil> kaum Wechselwirkung mit polarer Silicat-Oberfläche<br><Folgefeil> Farbstoffmoleküle in Tolul gelöst<br><Folgefeil> werden von Oberfläche sofort adsorbiert, da keinerlei Wechselwirkungen zwischen mobiler und stationärer Phase bestehen                                                                                                                                                                                                        | K02V_13 Analyt/FQ/V ist gelöst in Loes...<br>K02V_14 Tolul ist Lösungsmittel |                                                                                  |
| 093EII Retention NPC   | Tolul Laufmittel und gleichzeitig Lösungsmittel <Folgefeil> ist eher unpol<br><Folgefeil> Tolul wird zum Teil an Oberfläche gebunden<br><Folgefeil> Farbstoffmoleküle können aber auch verdrängen, dar mischbar? <gewinkelter Pfeil> unsicher!                                                                                                                                                                                                                                       | K02V_14 Tolul ist Lösungsmittel                                              |                                                                                  |
| 093EII Retention NPC   | - polares Laufmittel<br>- lipophile und unpolare LM in Tolul (unpol) gelöst<br><Folgefeil> polare LM-Moleküle besetzen OF der stationären, polaren Phase<br><Folgefeil> Farbstoffmoleküle verbleiben in der mobilen Phase                                                                                                                                                                                                                                                            | K02V_14 Tolul ist Lösungsmittel                                              |                                                                                  |
|                        | Mit der Annahme, dass zum chromatographischen System die mobile Phase (Laufmittel) und die stationäre Phase gehören sowie die gelösten Stoffe ergibt sich, dass die Elutionskraft beim                                                                                                                                                                                                                                                                                               | K02V_13 Analyt/FQ/V ist gelöst in Loes...                                    |                                                                                  |

Abb. A 17: MAXQDA-Ansicht „Smart Coding Tool“ mit der Auswahl des Codes „K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt“ – nur aktivierte Codes (ebd.)

| Dokument               | Codings                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Codes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Kommentar                                                                        |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 081a Concept Map       | Probe ist Farbstoffgemisch (Stoffe)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 081a Concept Map                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                  |
| 081b Zusammenhänge     | Probe ist Farbstoffgemisch. Dieses wird auf DC-Platte aufgetragen. DC-Platte ist Kieselgel. Ebenfalls aufgetragen wird Referenzprobe.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 081b Zusammenhänge<br>K02V_05 DC-Platte enthält Silicagel<br>K02V_15 Farbstoffgemisch ist auf DC-...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                  |
| 081c SLS               | Probe ist Farbstoffgemisch (Stoffe)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Stoff im AZ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                  |
| 083EI Retentionsfaktor | [Text d. Vp wurde neben den englischen Text geschrieben]<br>TLC<br>HPLC mit Kieselgel Kolonne<br>gleiche Probe, mob. Phase, Temp., gleiche stat. Ph.<br><Folgefeil> sollten gleiche Werte für k hervorbringen (für jede Verbindung in Probe)                                                                                                                                                                                                                                         | 083EI Retentionsfaktor<br>K00V_04 Dünnschichtchromatografie l...<br>K00V_05 Hochleistungsflüssigkeitchro...<br>K02V_06 Silicagel/DC-Platte ist statio...<br>K02V_07 Silicagel/stationäre Phase ist ...<br>K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase<br>K02V_11 Laufmittel ist Verhaltensbedin...<br>K13Q_01 Verhaltensbedingung bestim...<br>K13Q_09 k-Wert ist Kenngröße                                                                                                                                 |                                                                                  |
| 084 Leitfragen         | Da Tolul relativ klein und unpol ist, kann es von den Farbstoffen verdrängt werden (siehe EII)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Polarität Analyten RF<br>K07B_01 Tolul ist Laufmittel<br>K07B_04 Tolul hat gering Polarität<br>K27W_01 Laufmittel konkurriert um Ad...<br>K27W_02 LM gepo konkurriert gering a...<br>K31W_02 Analyt konkurriert um Adsorp...                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                  |
| 091b Zusammenhänge     | Ein Chromatogramm enthält eine Substanz, eine mobile Phase und eine stationäre Phase.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 091b Zusammenhänge<br>K02V_01 Trennung erfordert Arbeitsmit...<br>K02V_06 Silicagel/DC-Platte ist statio...<br>K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | FD: Chromatogramm ist fachlich falsch, denn Begriff bezeichnet das Trennergebnis |
| 091c SLS               | Stoffgemische werden getrennt in Einzelstoffe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Stoff im AZ<br>K01V_05 Trennung von Analyt/Farbstof...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                  |
| 091c SLS               | Stoffgemische werden getrennt in Einzelstoffe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Stoff im EZ<br>K01V_05 Trennung von Analyt/Farbstof...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                  |
| 093EII Retention NPC   | Bei NPC treten vor allem polare Interaktionen auf, denn polare Moleküle von Lösungsmittel und vom gelösten Stoff werden mehr mit der polaren Silicat-Oberfläche reagieren als mit der weniger polaren mobilen Phase.<br>An dieser Stelle betrachtet man Interaktionen zwischen gelösten Stoff und Lösungsmittel mit der stationären Phase.<br>Also: stationäre Phase = Silicat-OF<br>mobile Phase = Laufmittel<br>(Lösungsmittel = Tolul)<br><gewinkelter Pfeil> für alle Farbstoffe | 093EII Retention NPC<br>K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase<br>K04B_02 Silicagel hat sehr hoch Polari...<br>K20W_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens<br>K20W_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist N...<br>K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt<br>K22W_05 LM gering polar hat gering W...<br>K25W_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)S...<br>K30W_02 Analyt hopo hat hoch WW mi...                                                                                                                                      |                                                                                  |
| 093EII Retention NPC   | unpolares Laufmittel<br><Folgefeil> kaum Wechselwirkung mit polarer Silicat-Oberfläche<br><Folgefeil> Farbstoffmoleküle in Tolul gelöst<br><Folgefeil> werden von Oberfläche sofort adsorbiert, da keinerlei Wechselwirkungen zwischen mobiler und stationärer Phase bestehen                                                                                                                                                                                                        | Hexan<br>K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase<br>K02V_13 Analyt/FQ/V ist gelöst in Loes...<br>K02V_14 Tolul ist Lösungsmittel<br>K04B_02 Silicagel hat sehr hoch Polari...<br>K05B_01 Hexan ist Laufmittel<br>K05B_03 Hexan hat sehr gering Polari...<br>K05B_05 Hexan hat sehr gering WW mi...<br>K20W_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens<br>K20W_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche<br>K25W_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)S...<br>K25W_05 LM gepo hat gering WW mit ...<br>K30W_01 Analyt konk mit (Ad)Sorb... |                                                                                  |

Abb. A 18: MAXQDA-Ansicht in dem „Smart Coding Tool“ mit der Auswahl des Codes „K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt“ – alle Codes (ebd.)

### 19.6.3.1 Diskussionsfälle zur Codierung von Aussagen über die Löslichkeit von Analyten in der mobilen Phase

Der erste Diskussionsfall (s. Tab. A 19) betrifft die Codierung von Aussagen über die Löslichkeit von Analyten in der mobilen Phase. Löslichkeit eines Stoffes (Analyten) in einem anderen Stoff (Lösungsmittel) setzt voraus, dass beide Stoffe miteinander in Wechselwirkung treten. Je ähnlicher die Wechselwirkungen sind, die Stoffe miteinander eingehen können, desto besser ist die Löslichkeit des zu lösenden Stoffes in dem Lösungsmittel.

Die Aufgabenstellung und die Tabellenzeile, in die die Antwort (Segment in Tab. A 19) einzutragen war, geben schon vor, dass es um die Betrachtungen des Trennergebnisses mit dem Laufmittel Hexan geht, was die Zuordnung der Codes K05B\_01 und K19Q\_01 rechtfertigt. Der letzte Code impliziert allerdings, dass Wechselwirkungen zwischen den Stoffen mitgedacht wurden. Die einzigen Codes, in denen Wechselwirkungen zwischen Hexan und Analyt benannt werden sind „K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt“ und die violett markierten in der Zeile FD4. Die Propositionen der violett markierten Codes differenzieren allerdings die Stärke der Wechselwirkungen der jeweiligen Analyten, dass mit diesen Codes zu viel in die Aussage der Vp „Da keine Moleküle der Farbstoffe gelöst werden“ hineininterpretiert wird. Daher wurde das Kategoriensystem um die beiden Codes „K05B\_04a Hexan hat gering WW mit Analyt“ und „K05B\_04b Analyt hat in Hexan gering Löslichkeit“ ergänzt.

Tab. A 19: Diskussionsfall 1: Segment aus dem Dokument „063EIII Elutionsstärke“ zur Codierung von Aussagen über die Löslichkeit von Analyten in der mobilen Phase

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                      | 063EIII Elutionsstärke                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Code</b>                               | Propositionen\02 Verhaltensbedingungen\K05B_Hexan\K05B_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft                                                                                                                                                                                                |
| <b>Segment</b>                            | Da <b>keine</b> Moleküle der <b>Farbstoffe</b> gelöst werden ist <b>Epsilon = Epsilon Null</b>                                                                                                                                                                                               |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b> | K15Q Laufstrecke Analyt\K15Q_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie<br>K33W_04 Parameter Epsilon ist Kenngrösse für Elutionskraft<br>K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt<br>K05B_01 Hexan ist Laufmittel<br>K19Q_01 Analyt hat mit Hexan gering Stoffmenge in mPh                      |
| <b>FD/FD3</b>                             | neu FD: K33W_04, neu FD3: K01V_06, K05B_01, K19Q_01                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Memo</b>                               | FD, 09.08.2019<br>Titel: Begründung ge Elutionskraft<br>Für die Aussage „Da keine Moleküle der Farbstoffe gelöst werden“ wurde zuerst „K15Q_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie“ zugeordnet. Code wurde ersetzt durch den Code „K19Q_01 Analyt hat mit Hexan gering Stoffmenge in mPh“. |

| Dokument-name    | 063EIII Elutionsstärke                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FD4</b>       | <p>SCd_K19Q_01<br/> K05B_04 Hexan hat WW mit Analyt<br/> vgl. 013EI (Zeile 2) 032c (Zeile 7)<br/> K10A_07 Buttergelb hat gering WW mit Hexan<br/> K10A_10 Buttergelb hat in Hexan gering Löslichkeit<br/> K11A_08 Indophenol hat sehr gering WW mit Hexan<br/> K11A_11 Indophenol hat in Hexan sehr gering Löslichkeit<br/> K12A_07 Sudanrot G/Vergl.-subst hat gering WW mit Hexan<br/> K12A_10 Sudanrot G/Vergl.-subst hat in Hexan gering Löslichk.</p> <p>Statt der Codes K10A_07, _10 etc. könnten übergeordnete/verallgemeinernde Codes erstellt werden:</p> <p>K05B_04a Hexan hat gering WW mit Analyt<br/> K05B_04b Analyt hat in Hexan gering Löslichkeit</p> <p>daraus resultiert:<br/> K19Q_01 Analyt hat mit Hexan gering Stoffmenge in mPh</p> |
| <b>Experte 2</b> | ok                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>FD5</b>       | <p>Die Codes K05B_04a Hexan hat gering WW mit Analyt und K05B_04b Analyt hat in Hexan gering Löslichkeit werden doch nicht zugeordnet, weil Ursache (WW) nicht explizit genannt wird; da Vp in 1c die Aussage „es gibt keine Wechselwirkungen mit Hexan“ verwendet, was fachlich falsch bzw. zu vereinfacht ist, wird auch der Code „K05B_04 Hexan hat WW mit Analyt“ gelöscht.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

FD4: Behebung von Inkonsistenzen; Erstellung Code-Matrizes (ab 14.08.2019)

SCd\_K19Q\_01: Bezeichnung des Tabellenblattes, das mit dem Smart Coding Tool erzeugt wurde. Der dabei ausgewählte Code war „K19Q\_01 Analyt hat mit Hexan gering Stoffmenge in mPh“

Da im zweiten Diskussionsfall (s. Tab. A 20) nach der Einschätzung von Experte 3 von der Zuordnung der Codes K05B\_04a und K05B\_04b abgeraten wird, wurde die Codezuordnung erneut überdacht.

Beide Aussagen „Da keine Moleküle der Farbstoffe gelöst werden ist Epsilon = Epsilon Null“ und „Die Menge an gelöstem Stoff in die mobile Phase ist gering“ beschränken sich auf die phänomenologische Ebene. Die Ursache (die Wechselwirkungen) wird nicht benannt.

Aufgrund dieser Expertensicht wird von der Zuordnung dieser beiden Codes in beiden Diskussionsfällen abgesehen, was auch der Codierregel 1 „Nur die Propositionen zuordnen, die explizit im Segment enthalten sind“ entspricht. Implizite Aussagen werden nur dann bei der Codierung berücksichtigt, wenn implizit Ausgedrücktes in einem anderen Segment expliziert wurde (s. Codierregel 4a ii in Kap. 19.7, S. 421). Die Überprüfung ergab, dass dies in beiden Fällen nicht zutrifft. Dazu wurde in dem Smart Coding Tool der Code „KB05\_01 Hexan ist Laufmittel“ ausgewählt, um alle Segmente zu sondieren, in denen Hexan als Laufmittel vorkommt.

Vp01 verwendet z. B. in 1c die Aussage „es gibt keine Wechselwirkungen mit Hexan“, was fachlich falsch bzw. zu vereinfacht ist (s. Tab. 14, S. 405). Vp01 denkt zwar Wechselwirkungen als Ursache von guter und schlechter Löslichkeit mit, nur werden sie für Hexan ausgeschlossen. Somit wurde auch der Code „K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt“ gelöscht bzw. nicht zugeordnet. Diese Entscheidung betrifft Segmente der Dokumente:

- Vp01: 011a, 011b, 013EI
- Vp03: 031b
- Vp06: 063EI, 063EIII und
- Vp12: 121b, 122c, 123EII, 124.

Das Segment des Dokumentes 031b ist auch als Ankerbeispiel ausgeführt (s. Ankerbeispiel Kap. 19.7.2.1c Segment aus 031b Zusammenhänge (Zeile 414), S. 425).

Tab. A 20: Diskussionsfall 2: Segment aus dem Dokument „013EI Retentionsfaktor FD2“ zur Interpretation der  $R_f$ -Werte bei der Trennung des Farbstoffgemisches mit Toluol

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                      | 013EI Retentionsfaktor FD2                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Code</b>                               | K19Q_01 Analyt hat mit Hexan gering Stoffmenge in mPh                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Segment</b>                            | Der $R_f$ -Wert ist hier 0, da die Substanzen sich nicht bewegt haben. Die Menge an gelöstem Stoff in die mobile Phase ist gering bzw. gar nicht vorhanden, die Menge in der stationären Phase groß, da die Substanzflecken nah auf der Startlinie sind.                      |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b> | Hexan, K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase, K05B_01 Hexan ist Laufmittel, K15Q_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie, K16Q_01 Analyt hat mit Hexan gering RF-Wert, K18Q_01 Analyt hat mit Hexan hoch Stoffmenge in stPh                                                    |
| <b>FD</b>                                 | Statt der Codes K10A_07, _10 etc. könnten übergeordnete/verallgemeinernde Codes erstellt werden:<br>K05B_04a Hexan hat gering WW mit Analyt<br>K05B_04b Analyt hat in Hexan gering Löslichkeit<br>daraus resultiert:<br>K19Q_01 Analyt hat mit Hexan gering Stoffmenge in mPh |
| <b>Experte 2</b>                          | ok                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Experte 3</b>                          | Codes K19B_04a und _4b benennen die Ursache; Vp bleibt aber nur auf der phänomenologischen Ebene, daher K19B_04a und _4b nicht zuordnen                                                                                                                                       |

### 19.6.3.2 Diskussionsfälle zur Codierung von Aussagen über die Stärke von Wechselwirkungen zwischen Laufmitteln, Analyten und (Ad)sorbens

Der Diskussionsfall in Tab. A 21 knüpft an die im vorherigen Abschnitt diskutierte Problematik der Codierung von Aussagen, die besagen, dass es keine Wechselwirkungen gibt (hier zwischen Analyten und Hexan), an. Aus der Diskussion mit Experte 1 wurde die genaue Bedeutung der Codes, in denen Wechselwirkungsbeziehungen benannt werden, überdacht.

„K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt“ heißt nur, dass Wechselwirkungsbeziehung betrachtet wurden. Die Gleichsetzung von „keinerlei“ und „gering“ ist Interpretationssache. Im englischen Textmaterial (Snyder/Kirkland/Dolan 2010) wird bspw. die Stärke der Wechselwirkungen gering polarer Stoffe/Laufmittel immer im Vergleich zu hoch polaren Stoffen/Laufmitteln betrachtet. Somit werden Textsegmente, in denen Wechselwirkungsbeziehungen betrachtet werden, zunächst mit dem neutralen Code codiert:

- K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt
- K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt
- K07B\_05 Toluol hat WW mit Analyt
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens

Wird explizit die Stärke der Wechselwirkungen betrachtet, dann werden zusätzlich die Codes zugeordnet, in denen Wechselwirkungen qualitativ eingeschätzt werden:

- K05B\_04a Hexan hat ge/keine WW mit Analyt
- K06B\_05a Propanol hat mittel/hoch WW mit Analyt
- K07B\_05a Toluol hat mittel WW mit Analyt
- K10A\_06 Buttergelb hat gering WW mit Silicagel
- K10A\_07 Buttergelb hat gering WW mit Hexan
- K10A\_08 Buttergelb hat gering WW mit Propanol
- K10A\_09 Buttergelb hat mittel WW mit Toluol
- K11A\_07 Indophenol hat hoch WW mit Silicagel
- K11A\_08 Indophenol hat sehr gering WW mit Hexan
- K11A\_09 Indophenol hat hoch WW mit Propanol
- K11A\_10 Indophenol hat mittel WW mit Toluol
- K12A\_06 Sudanrot G hat mittel WW mit Silicagel
- K12A\_07 Sudanrot G/Vergl.-subst hat gering WW mit Hexan
- K12A\_08 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Propanol
- K12A\_09 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Toluol

Wird dann noch die Stärke der Wechselwirkungen mit der Polarität der jeweiligen Stoffe in Beziehung gesetzt, dann werden entsprechend folgende Codes je nach betrachteter Wechselwirkungsbeziehung betrachtet:

- K22W\_02 LM hoch polar hat gering WW m. gering polar Analyt
- K22W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar Analyt
- K22W\_04 LM gering polar hat hoch WW m. gering polar Analyt
- K22W\_05 LM gering polar hat gering WW m. hoch polar Analyt
- K25W\_02 LM hopo hat gering WW mit gepo (Ad)Sorbens
- K25W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens
- K25W\_04 LM gepo hat hoch WW mit gepo (Ad)Sorbens
- K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens

- K30W\_02 Analyt hopo hat hoch WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K30W\_03 Analyt gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K30W\_04 Analyt hopo hat gering WW mit gepo (Ad)Sorbens
- K30W\_05 Analyt gepo hat hoch WW mit gepo (Ad)Sorbens

Die Codierungen der Textsegmente, in denen Wechselwirkungen vorkommen, wurden also noch einmal nach dieser Anwendungsweise der Codes zu Wechselwirkungen überprüft.

Das genannte Strukturmerkmal, die OH-Gruppe, im Segment des Dokumentes 032c wird über die Codierung mit den Codes „K34W\_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)“ und „K35W\_08 Hydroxylgruppe ist funktionelle Gruppe“ abgedeckt. Diese Festlegungen wurden zusätzlich im Codebuch ergänzt (s. Kap. 19.7, S. 421, Regeln 1e bis h).

Der Diskussionsfall in Tab. A 22 führte auch zu mehreren Änderungen in der Codierung, dass die Begründung zur Codierung sowohl im Memo zum Textsegment als auch in den Ankerbeispielen festgehalten wurden (s. Ankerbeispiel Kap. 19.7.2.3d Segment aus 103EII NPC (Zeile 1819), S. 446).

In dem Segment in Tab. A 22 ist es ebenso strittig, wie die Aussage über die geringen Wechselwirkungen zwischen mobiler und stationärer Phase konsistent zu vorherigen Textsegmenten standardisiert wird. Silicagel wird im Segment nicht explizit genannt, sodass K05B\_05 nicht zugeordnet bzw. wieder entfernt wurde. Der Code „K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase“ stellt die Verbindung zu „hopo Adsorbens“ in Code „K25W\_05 K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens“ dar. Durch die Formulierung „nahezu keinerlei“ ist die Zuordnung der Codes K25W\_01 und K25W\_05 gerechtfertigt. Die Polarität der stationären Phase wird zwar im Segment nicht explizit hervorgehoben, wurde aber von Vp10 in z. B. 2c expliziert, dass die Zuordnung von Code K25W\_05 beibehalten wurde (konform mit Codierregel 4a ii in Kap. 19.7, S. 421). Zugeordnet wurden daher folgende Propositionen:

- K05B\_03 Hexan hat sehr gering <sup>Polarität</sup>
- K05B\_07 Hexan hat hoch Laufgeschwindigkeit
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens

Im Diskussionsfall in Tab. A 23 geht es um den Zusammenhang zwischen Laufgeschwindigkeit der Laufmittel und die Wechselwirkungen der Laufmittel mit der stationären Phase. Außerdem war es notwendig, zuvor getrennt codierte Segmente des Dokumentes zusammenzuführen, damit die Bezüge zu den in den jeweiligen Segmenten verwendeten Fachbegriffen hergestellt werden können.

Die Aussage, dass Hexan „keinerlei WW mit der stationären Phase eingeht“, ist fachlich falsch. Da aber die Wechselwirkungsbeziehung zwischen Laufmittel und stationärer Phase, dem (Ad)Sorbens, betrachtet wurde, wurde der neutrale Code „K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens“ zugeordnet.

Nachcodiert wurden die verallgemeinernden Aussagen. Da die Polarität der Laufmittel in den vorherigen Segmenten von Vp12 benannt wurde, ist die Zuordnung der Codes „K25W\_03 LM hoch polar hat hoch WW mit hoch polar (Ad)Sorbens“ und „K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens“ gerechtfertigt.

Diese Art Diskussionsfälle, die im Zuge der Konsistenzprüfung auftraten, sind später für die Interpretation der Ergebnisse sehr wichtig. Wenn bei Vpn bspw. Aussagen/Propositionen fehlen, kann dies nicht immer auf mangelndes Verständnis des Sachverhaltes zurückgeführt werden. Aussagen werden z. T. weggelassen, wenn die Vp davon ausgeht, dass dem Rezipienten (hier der Autorin der Fallstudie) klar ist, was gemeint ist, oder wenn Aussagen schon zuvor getroffen wurden. Daher werden später bei der Ergebnisdarstellung Argumentationslinien im engeren (aufgabenspezifisch) und weiteren Sinne (aufgabenübergreifend) betrachtet.

Tab. A 21: Diskussionsfall 3: Segment aus dem Dokument „032c Zusammenhänge FD2“ Codierung von Aussagen über die Stärke von Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyten

|                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                                               | 032c Zusammenhänge FD2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Code</b>                                                        | Propositionen\02 Verhaltensbedingungen\K05B_Hexan\K05B_03 Hexan hat sehr gering Polarität                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Segment</b>                                                     | <p>- Hexan geht aufgrund seiner Struktur <b>keine Wechselwirkungen mit dem Farbstoffgemisch</b> ein (wenig strukturelle Gemeinsamkeit)</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; zwar beides lipophil, aber keine signifikanten Wechselwirkungen</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Hexan hat keine polaren Teile, <b>die mit OH- wechselwirken können</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b>                          | 2c Zusammenhänge, K05B_03 Hexan hat sehr gering Polarität, K05B_04a Hexan hat ge/keine WW mit Analyt, K10A_07 Buttergelb hat gering WW mit Hexan, K11A_03 Indophenol hat Hydroxylgruppe, K11A_08 Indophenol hat sehr gering WW mit Hexan, K12A_04 Sudanrot G hat Hydroxylgruppe, K12A_07 Sudanrot G/Vergl.-subst hat gering WW mit Hexan, K21W_05 Laufmittel hat Strukturmerkmal, K21W_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel, K29W_03 Analyt hat Strukturmerkmal, K29W_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel                                                                                                         |
| <b>FD</b>                                                          | K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt<br>rot markierte Codes löschen?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Experte 1</b><br>(Zs.-fassung Gespräch vom 15.08.2019 durch FD) | <p>Genau definieren, was zugeordnete Codes bedeuten, z. B. K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt – heißt nur, dass WW-Beziehung betrachtet wurde; Gleichsetzung von „keinerlei“ und „gering“ ist Interpretationssache; im Snyder-Text wird Stärke der WW gepo Stoffe/LM immer im Vergleich zu hopo Stoffen/LM betrachtet.</p> <p>Bei quantitativen Aussagen wie prozentualer Anteil der abgedeckten Propositionen ist Unterscheidung zwischen inhaltsgleichen Aussagen kritisch. Hier wäre zu überlegen, inwiefern man aus inhaltsähnlichen Propositionen einen übergeordneten Code bildet, der den in den Aussagen betrachteten Aspekt zusammenfasst.</p> |
| <b>FD2</b>                                                         | am 16.08.19 zusätzlichen Code eingeführt und dem Segment zugeordnet:<br>K05B_04a Hexan hat ge/keine WW mit Analyt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Experte 2</b>                                                   | Vp hat Strukturformeln angeschaut; ggf. neuen Code einführen, der lautet: Analyt hat OH-Gruppe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |



|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b> | 032c Zusammenhänge FD2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Experte 3</b>     | rot markierte Codes löschen bzw. als implizit annehmen;<br>statt neuem Code „Analyt hat OH-Gruppe“ wäre Codierung mit K29W_03 A hat StrM;<br>K34W_02 fkt Gr ist StrM; K35W_08 OH-Gr. ist fkt. Gr ausreichend.                                                                                                                                                                                                         |
| <b>FD3</b>           | rot markierte Codes werden gelöscht<br>Segment wird mit den Codes K01V_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt, K05B_01 Hexan ist Laufmittel, K05B_04 Hexan hat WW mit Analyt, K05B_04a Hexan hat ge/keine WW mit Analyt, K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt, K29W_03 Analyt hat Strukturmerkmal, K34W_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM) und K35W_08 Hydroxylgruppe ist funktionelle Gruppe nachcodiert. |

Tab. A 22: Diskussionsfall 4: Segment aus dem Dokument „103EII Retention NPC“ Codierung von Aussagen über die Stärke von Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und (Ad)Sorbens

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                      | 103EII Retention NPC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Code</b>                               | Propositionen\02 Verhaltensbedingungen\K05B_Hexan\K05B_01 Hexan ist Laufmittel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Segment</b>                            | „Hexan ist ein völlig unpolares Laufmittel.<br>Daher kommt es zu nahezu keinerlei Wechselwirkungen zwischen stationärer und mobiler Phase, was sich im Experiment in der niedrigen Entwicklungszeit von den 3 Laufmitteln niederschlägt.“                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b> | K05B_Hexan\K05B_03 Hexan hat sehr gering Polarität<br>K05B_Hexan\K05B_05 Hexan hat sehr gering WW mit Silicagel<br>K05B_Hexan\K05B_07 Hexan hat hoch Laufgeschwindigkeit<br>K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase<br>K20W_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase<br>K25W_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens<br>K25W_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>FD</b>                                 | neu: K02V_10; K20W_04; K25W_05;<br>Memo ergänzt neu: K25W_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Memos</b>                              | FD, 01.10.18<br>Titel: WW Negation<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Da das Codesystem keine Negationen vorsieht, wurde nur K25W_05 und nicht 25W_01 codiert<br>Silicagel wird im Segment nicht explizit genannt. Daher wird K05B_05 nicht zugeordnet. Der Code K20W_04 stellt die Verbindung zu „hopo Adsorbens“ in Code K25W_05 dar. Durch die Formulierung „nahezu keinerlei“ ist die Zuordnung der Codes K25W_01 und K25W_05 gerechtfertigt. Die Polarität der stationären Phase wird zwar im Segment nicht explizit hervorgehoben, wurde aber von Vp in z. B. 2c expliziert, dass die Zuordnung von Code K25W_05 beibehalten wurde. |



Tab. A 23: Diskussionsfall 5: Segment aus dem Dokument „122c Zusammenhänge“

|                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dokument-name</b>                      | 122c Zusammenhänge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Code</b>                               | Propositionen\01 Verfahren\K02V_AM DC-Platte\K02V_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Segment</b>                            | <p>Zeile 2377: Die stationäre Phase ist das Silicagel.</p> <p>Zeile 2378: Die mobile Phase das Laufmittel.</p> <p>Hexan hat die schnellste Laufgeschwindigkeit, da es keinerlei WW mit der stationären Phase eingeht.</p> <p>Zeile 2385: Toluol hat die mittlere Laufgeschwindigkeit, da es wenige WW mit dem Silicagel hat.</p> <p>Zeile 2382: Propanol hat sehr starke WW mit dem polaren Silicagel und wird somit zurückgehalten und bewegt sich nur sehr langsam.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Weitere am Segment vergebene Codes</b> | <p>K02V_10 Laufmittel ist mobile Phase,</p> <p>K05B_01 Hexan ist Laufmittel,</p> <p>K05B_07 Hexan hat hoch Laufgeschwindigkeit</p> <p>K06B_01 Propanol ist Laufmittel,</p> <p>K06B_06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel,</p> <p>K06B_08 Propanol hat gering Laufgeschwindigkeit,</p> <p>K07B_01 Toluol ist Laufmittel,</p> <p>K07B_06 Toluol hat gering WW mit Silicagel,</p> <p>K07B_08 Toluol hat mittel Laufgeschwindigkeit,</p> <p>K20W_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase,</p> <p>K25W_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens,</p> <p>K25W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens, K25W_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens,</p> <p>K28W_01 WW LM m. (Ad)Sorbens hoch bewirkt gering Lv LM</p> <p>K28W_02 WW LM m. (Ad)Sorbens gering bewirkt hoch Lv LM</p> |
| <b>FD</b>                                 | Zusammenführung d. Segmente der Zeilen: 2378–2385 und Nachcodierung Segment sowie Erstellung Memo (30.07.2019)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Memos</b>                              | <p>FD, 30.07.2019</p> <p>Titel: WW und Laufgeschwindigkeit</p> <p>Code „K05B_05 Hexan hat sehr gering WW mit Silicagel“ wurde am 30.07.2019 entfernt, da Aussage, dass Hexan „keinerlei WW mit der stationären Phase eingeht“ fachlich falsch ist.</p> <p>Nachcodiert wurden die verallgemeinernden Aussagen. Die Polarität der Laufmittel wurde in den vorherigen Segmenten von Vp benannt, dass die Zuordnung der Codes „K25W_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens, K25W_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens“ gerechtfertigt ist.</p>                                                                                                                                                                                                                              |

Lv: Laufgeschwindigkeit des Laufmittels; LM: Laufmittel; gepo: gering polar; hopo: hoch polar

## 19.7 Codebuch

### 19.7.1 Codierregeln für die Standardisierung der Aufgaben 1a-c, 2c, 3EI-III, L4

Im Folgenden werden die Codierregeln für die Standardisierung der Aufgaben 1a-c, 2c, 3EI-III, L4 der ersten vier Aufgabenkomplexe ausgeführt. Da anhand der getroffenen Aussagen die Vollständigkeit von Argumentationslinien beurteilt werden sollen, ist eine einheitliche Codierung nach folgenden Regeln vorzunehmen:

1. Nur die Propositionen zuordnen, die explizit im Segment enthalten sind (s. Ankerbeispiele der Segmente aus 013EIII (Zeile 143), S. 454; 113EI (Zeile 2033)).
  - a. Standardmäßig bei der Nennung von Hexan, Propanol und Toluol die Codes „K05B\_01 Hexan ist Laufmittel“, „K06B\_01 Propanol ist Laufmittel“ bzw. „K07B\_01 Toluol ist Laufmittel“ zuordnen, da sie bereits bei der Beschreibung des Experimentes als solche spezifiziert wurden. Der Code „K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase“ wird nur zugeordnet, wenn der Begriff „mobile Phase“ oder „Laufmittel“ explizit genannt wird oder der Code als Verbindung für verallgemeinernden Code benötigt wird (s. Codierregel III.1.)
  - b. Standardmäßig bei der Nennung von Farbstoffgemisch, Stoffgemisch oder Gemisch den Code „K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt“ zuordnen.
  - c. Standardmäßig bei der Nennung von Buttergelb, Indophenol und Sudanrot die Codes „K09A\_01 Buttergelb ist Analyt“, „K09A\_02 Indophenol ist Analyt“ bzw. „K09A\_03 Sudanrot G ist Analyt“ zuordnen. Der Code „K09A\_04 Sudanrot G ist Vergleichssubstanz“ wird zugeordnet, wenn der Begriff „Vergleichssubstanz“ explizit genannt wird.
  - d. Geht es um Aussagen zur stationären Phase,
    - i. Standardmäßig bei der Nennung von DC-Platte, Silica-Platte oder Platte die Codes „K02V\_02 DC-Platte ist Arbeitsmittel“ und „K02V\_05 DC-Platte enthält Silicagel“ zuordnen.
    - ii. Standardmäßig bei der Nennung von Silica, Silicagel den Code „K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens“ zuordnen.
    - iii. Die Codes „K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase“ und „K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase“ werden nur zugeordnet, wenn der Begriff „stationäre Phase“ explizit genannt wird oder der Code als Verbindung für verallgemeinernden Code benötigt wird (s. Codierregel III.1.)
  - e. Geht es um Aussagen zu Wechselwirkungsbeziehungen werden Segmente zunächst mit dem jeweils zutreffenden neutralen Code codiert:
    - i. K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt
    - ii. K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt
    - iii. K07B\_05 Toluol hat WW mit Analyt
    - iv. K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
    - v. K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
    - vi. K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens

- f. Wird explizit die Stärke der Wechselwirkungen betrachtet, dann werden zusätzlich die Codes zugeordnet, in denen Wechselwirkungen qualitativ eingeschätzt werden:
    - i. K05B\_04a Hexan hat ge/keine WW mit Analyt
    - ii. K06B\_05a Propanol hat mittel/hoch WW mit Analyt
    - iii. K07B\_05a Toluol hat mittel WW mit Analyt
    - iv. K10A\_06 Buttergelb hat gering WW mit Silicagel
    - v. K10A\_07 Buttergelb hat gering WW mit Hexan
    - vi. K10A\_08 Buttergelb hat gering WW mit Propanol
    - vii. K10A\_09 Buttergelb hat mittel WW mit Toluol
    - viii. K11A\_07 Indophenol hat hoch WW mit Silicagel
    - ix. K11A\_08 Indophenol hat sehr gering WW mit Hexan
    - x. K11A\_09 Indophenol hat hoch WW mit Propanol
    - xi. K11A\_10 Indophenol hat mittel WW mit Toluol
    - xii. K12A\_06 Sudanrot G hat mittel WW mit Silicagel
    - xiii. K12A\_07 Sudanrot G/Vergl.-subst hat gering WW mit Hexan
    - xiv. K12A\_08 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Propanol
    - xv. K12A\_09 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Toluol
  - g. Wird dann noch die Stärke der Wechselwirkungen mit der Polarität der jeweiligen Stoffe in Beziehung gesetzt, dann werden entsprechend folgende Codes je nach betrachteter Wechselwirkungsbeziehung betrachtet:
    - i. K22W\_02 LM hoch polar hat gering WW m. gering polar Analyt
    - ii. K22W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar Analyt
    - iii. K22W\_04 LM gering polar hat hoch WW m. gering polar Analyt
    - iv. K22W\_05 LM gering polar hat gering WW m. hoch polar Analyt
    - v. K25W\_02 LM hopo hat gering WW mit gepo (Ad)Sorbens
    - vi. K25W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens
    - vii. K25W\_04 LM gepo hat hoch WW mit gepo (Ad)Sorbens
    - viii. K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens
    - ix. K30W\_02 Analyt hopo hat hoch WW mit hopo (Ad)Sorbens
    - x. K30W\_03 Analyt gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens
    - xi. K30W\_04 Analyt hopo hat gering WW mit gepo (Ad)Sorbens
    - xii. K30W\_05 Analyt gepo hat hoch WW mit gepo (Ad)Sorbens
  - h. Strukturmerkmale wie z. B. die OH-Gruppe, werden codiert mit:
    - i. „K34W\_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)“ und
    - ii. „K35W\_08 Hydroxylgruppe ist funktionelle Gruppe“.
2. Im Aufgabenkomplex 3 standardmäßig die Codes vergeben, die das Laufmittel spezifizieren, weil das Laufmittel in der jeweiligen Zeile, in der die Antwort einzutragen war, vorgegeben war, sodass das Laufmittel von der Vp nicht explizit benannt werden musste.

- a. Allen Segmenten, die zu den Aufgabencodes 3\_EI/c. Trennergebnis/Hexan, 3\_EII/c. Trennergebnis/Hexan oder 3\_EIII/c. Trennergebnis/Hexan gehören, den Code „K05B\_01 Hexan ist Laufmittel“ zuordnen.
  - b. Allen Segmenten, die zu den Aufgabencodes 3\_EI/c. Trennergebnis/Toluol, 3\_EII/c. Trennergebnis/Toluol oder 3\_EIII/c. Trennergebnis/Toluol gehören, wird den Code „K07B\_01 Toluol ist Laufmittel“ zuordnen.
  - c. Allen Segmenten, die zu den Aufgabencodes 3\_EI/c. Trennergebnis/Propanol, 3\_EII/c. Trennergebnis/Propanol oder 3\_EIII/c. Trennergebnis/Propanol gehören, wird den Code „K06B\_01 Propanol ist Laufmittel“ zuordnen.
3. Implizite Aussagen nur dann codieren, wenn
- a. Code als Verbindung für verallgemeinernde Aussagen benötigt wird (s. Ankerbeispiele der Segmente aus 011b (Zeile 43), S. 424; 083EII (Zeile 1412), S. 453, 074 (Zeile 1187), S. 468
  - b. implizit Ausgedrücktes in anderem Segment expliziert wurde (s. Ankerbeispiel des Segmentes aus 083EII Retention NPC (Zeile 1404), S. 452)
4. Verallgemeinernde Codes nur dann zuordnen, wenn
- a. konkrete Aussage gleichbedeutend mit allgemeiner Aussage ist, z. B.
    - i. die Aussage „Propanol hat WW mit Farbstoffgemisch“ u. a. dem verallgemeinernden Code „K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt“ zuordnen.
    - ii. die Aussage „Stoffe lösen sich zu gut in Propanol“ u. a. den Codes „K19Q\_02 Analyt hat mit Propanol hoch Stoffmenge in mPh“ und „K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt“ zuordnen.
    - iii. die Aussage „Farbstoffe werden durch Toluol von der stationären Phase gelöst“ u. a. dem verallgemeinernden Code „K23W\_01 Laufmittel desorbiert Analyt“ zuordnen.
    - iv. die Aussage „Zur Trennung des Gemischs ist nur Toluol geeignet, Hexan und Propanol nicht“ u. a. den verallgemeinernden Codes „K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung“ und „K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung“ zuordnen.
    - v. die Aussage „Propanol ist polar u. heftet sich daher besonders gut an die polare Silicaschicht“ u. a. folgenden verallgemeinernden Codes zuordnen (wobei der Code K20W\_04 eine Verbindung zu den Codes K25W\_01 und K25W\_03 darstellt):
      - K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
      - K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens,
      - K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase,
      - K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens,
      - K25W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens“.
  - b. aus experimentellem Befund eine Regel ableitet wird (s. Ankerbeispiel des Segmentes aus 121b Zusammenhänge (Zeile 2292), S. 437)

- c. verallgemeinernde Termini wie Laufmittel/mobile Phase, Adsorbens/stationäre Phase, (Farbstoff-)Gemisch verwendet werden (s. Ankerbeispiel der Segmente aus 011b Zusammenhänge (Zeile 50), S. 425, 013EII Retention NPC (Zeile 99), S. 427)
- 5. Segmente/Aussagen, die fachlich falsch sind, dem Code „falsche Propositionen“ zuzuordnen. Sie werden außerdem mit Memos gekennzeichnet, in denen auf das Fehlkonzept [die fachlich falsche(n) Aussage(n)] der Vp verwiesen wird.
- 6. Segmente/Aussagen, die nur teilweise fachlich falsch sind, entsprechend der fachlich richtigen Aussagen codieren und mit Memos kennzeichnen, in denen auf das Fehlkonzept [die fachlich falsche(n) Aussage(n)] der Vp verwiesen wird.
- 7. Segmente/Aussagen, die inhaltlich keinem der Codes des Kategoriensystems entsprechen, mit dem Code „keine Zuordnung“ codieren.

### **19.7.2 Ankerbeispiele zu den Codierregeln für die Standardisierung der Aufgaben 1a-c, 2c, 3EI-III, 4L1 und 4L2**

Die zu jedem Segment in Klammern angegebene Zeilennummer ist nur für interne Zwecke relevant. Sie bezieht sich auf das Tabellenblatt „Codings\_Prop\_V1 (BS\_SE)“ in der Excel-Datei „Codings\_Prop\_alleVp\_V1\_SE\_MN\_SE\_FD\_MN\_FD.xlsx“. Sie enthält die Kommentare der drei Experten, auf deren Grundlage von der Autorin die Codierregeln präzisiert wurden. Die Quintessenz der diskutierten Fälle ist zu jedem Segment ausgeführt.

#### **19.7.2.1 Beschreibung und Begründung der Trennergebnisse**

##### **a) Segment aus 011b Zusammenhänge (Zeile 43)**

„Bei Propanol gab es wieder keine Wechselwirkungen. Das Gemisch wurde vom Laufmittel mitgenommen, konnte aber nicht mit der Platte in Wechselwirkung treten u. ist damit bis zur Laufmittelfront mitgelaufen und wurde nicht getrennt.“

„K06B\_01 Propanol ist Laufmittel“ steckt im Segment „Bei Propanol gab es wieder keine Wechselwirkungen. Das Gemisch wurde vom Laufmittel mitgenommen“. Obwohl Vp den Bezug, dass Propanol Laufmittel ist, nicht eindeutig formuliert, wird der Code zugeordnet, da Bezug durch die Aufgabenstellung gegeben ist, die die Grundlage für die Ausführungen ist.

„Das Gemisch“ bezieht sich auf „Farbstoffgemisch“. Für die Standardisierung werden WW allgemein auf LM, Analyt und Adsorbens bezogen. Um „Gemisch“ zu standardisieren, muss Code „K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt“ zugeordnet werden.

Problematisch ist die Interpretation von „Bei Propanol gab es wieder keine Wechselwirkungen.“, da Vp nicht explizit festlegt, ob es um die Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt, Laufmittel und stationärer Phase oder zwischen Analyt und stationärer Phase geht. Da Vp formuliert, dass das Gemisch vom Laufmittel mitgenommen wurde, ist anzunehmen, dass Vp von Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt ausgeht. Somit können mit „keine Wechselwirkungen“ nur die Wechselwirkungen zwischen Analyt

und stationärer Phase gemeint sein, die die Vp als nicht vorhanden einstuft, weil das Gemisch vom Laufmittel bis zur Laufmittelfront mitgenommen wurde. Da Negationen im Code-System nicht berücksichtigt werden, käme für die Standardisierung der Aussage zu Wechselwirkungen höchstens der Code „K30W\_03 Analyt gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens“ in Frage. Die Zuordnung wurde allerdings nicht vorgenommen, da im Segment keine Aussage zur Polarität des Laufmittels und des Analyten getroffen wird.

Die allgemeine Aussage „K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt“ steckt implizit in der Teilaussage „Das Gemisch wurde vom Laufmittel mitgenommen, [...]“. Aber die explizit genannte Wechselwirkungsbeziehung beschränkt die Vp nur auf Analyt und stationäre Phase („[Das Gemisch] konnte aber nicht mit der Platte in Wechselwirkung treten“). Daher wurde der Code nicht zugeordnet. Da Vp davon auszugehen scheint, dass der Analyt keine Wechselwirkung mit stationärer Phase eingeht, scheint sie auch nicht die Desorptionswirkung des Laufmittels zu betrachten. Somit wurden weder Code „K23W\_01 Laufmittel desorbiert Analyt“ noch Code „K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze“ zugeordnet. Die Teilaussage wurde nur mit dem Code „K21W\_01 Laufmittel transportiert Moleküle (Analyt/Lösungsmittel)“ standardisiert. Codiert wurden daher nur folgende Propositionen:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_09 Propanol bewirkt keine Trennung
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K21W\_01 Laufmittel transportiert Moleküle (Analyt/Lösungsmittel)

**b) Segment aus 011b Zusammenhänge (Zeile 50)**

„Bei Toluol waren die Wechselwirkungen zw. Laufmittel und Gemisch optimal und daher war die gute Auftrennung möglich.“

Codiert wurden:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_05 Toluol hat WW mit Analyt
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt

Diskutiert wurde die Zuordnung des Codes „K22W\_01“. Auch wenn die Proposition inhaltlich in K07B\_01 und K07B\_05 enthalten ist, wurde der Code zugeordnet, weil Vp nicht nur von Toluol spricht, sondern auch den Begriff „Laufmittel“ verwendet und damit die Aussage über die Wechselwirkungen verallgemeinert.

**c) Segment aus 031b Zusammenhänge (Zeile 414)**

„Bei Hexan verbleibt die Substanz an der Startlinie, weil sie nicht mit dem Laufmittel wechselwirkt.“

Schwierig bei der Codierung dieses Segmentes ist die Verneinung. Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt werden betrachtet, auch wenn sie als so gering eingeschätzt werden, dass sie als nicht vorhanden eingestuft werden. Der Code „K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt“ ist die allgemeine Aussage, die dann für jeden einzelnen Farbstoff im Codesystem spezifiziert wird. Diese Unterscheidung trifft die Vp allerdings nicht.

Insgesamt ist die Begründung fachlich unzureichend, denn die Analyten haben mit der mobilen Phase nur deutlich schwächere Wechselwirkungen als mit der stationären Phase. Letztere wird hier gar nicht bei der Begründung berücksichtigt. Daher werden weder „K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt“ noch „K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt“ zugeordnet, auch wenn Vp in 031a in ihrem Concept Map eine differenzierende Aussage trifft „Hexan wechselwirken unterschiedlich mit Farbstoffgemisch“. In 031a wurden die Codes „K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt“ und „K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt“ zugeordnet. Standardisiert wurde das Segment mit folgenden Codes:

- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K15Q\_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie

Die Entscheidung, die beiden Codes „K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt“ und „K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt“ nicht zuzuordnen, betrifft Segmente der Dokumente:

- Vp01: 011a, 011b, 013EI
- Vp03: 031b
- Vp06: 063EI, 063EIII und
- Vp12: 121b, 122c, 123EII, 124.

**d) Segment aus 031c SLS (Zeilen 447–448)**

„Farbstoffgemisch wechselwirkt nicht mit Hexan  
Farbstoffgemisch wechselwirkt optimal mit Toluol  
Farbstoffgemisch wechselwirkt zu stark mit Propanol“

Ursprünglich wurden den jeweiligen Propositionen nur die Codes „falsche Proposition“, „K07B\_05 Toluol hat WW mit Analyt“ und „K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt“ zugeordnet. Alle drei Propositionen stammen aus der Concept Map der Aufgabe 1a und wurden in 1c dem substanzspezifischem Verhalten zugeordnet. Damit beziehen sich die Adverbien „nicht“, „optimal“ und „zu stark“ auf die jeweiligen Trennergebnisse. Codiert wurden daher:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt
- K07B\_05 Toluol hat WW mit Analyt
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K15Q\_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K15Q\_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke

**e) Segment aus 013EII Retention NPC (Zeile 99)**

„Das Propanol ist polar und heftet sich daher besonders gut an die polare Silicaschicht. Die Farben haben keine Chance das Lösungsmittel zu verdrängen und wandern daher mit dem Laufmittel bis nach oben mit.“

Codiert wurden:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_04 Propanol hat hoch Polarität
- K06B\_06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K20W\_08 (Ad)Sorbens hat Adsorptionsplätze
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K25W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens
- K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze
- K27W\_03 LM hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Adsorptionsplätze
- K31W\_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze

Die Aussage „Die Farben haben keine Chance das Lösungsmittel zu verdrängen“ ist in den Codes K01V\_06, K27W\_01 und K31W\_02 enthalten. Die Zuordnung von K27W\_03 erfolgte, weil Vp ausführt, dass Propanol polar ist und sich daher besonders gut an polare Silicaschicht „anheftet“. Die Aussagen, dass Propanol Laufmittel und die Silicaschicht Adsorbens ist und Adsorptionsplätze hat, sind nur implizit im Segment enthalten, werden aber als Verbindung zu verallgemeinernden Codes benötigt. Daher wurden die Codes „K06B\_01 Propanol ist Laufmittel“, „K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens“, „K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase“ und „K20W\_08 (Ad)Sorbens hat Adsorptionsplätze“ zugeordnet.

**f) Segment aus 013EII Retention NPC (Zeile 129)**

„Toluol ist polar u. unpolar <Folgepfeil> hängt zwar an Silica-Oberfläche, lässt sich aber von Farben verdrängen u. diese können anhaften. Dieser „Verdrängungsprozess“ benötigt etwas Zeit, sodass die Trennung erfolgreich ist. Indophenol kann sich am Besten „festhalten“ am Silica (starke Bindung) u. hängt damit ganz unten zuerst fest. Buttergelb gelingt es erst weiter oben (durch geringe Polarität) das Toluol zu verdrängen u. selbst anzudocken.“

Zugeordnet wurden:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität



- K07B\_06 Toluol hat gering WW mit Silicagel
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K09A\_01 Buttergelb ist Analyt
- K09A\_02 Indophenol ist Analyt
- K10A\_06 Buttergelb hat gering WW mit Silicagel
- K11A\_07 Indophenol hat hoch WW mit Silicagel
- K15Q\_04 Buttergelb wandert mit Toluol hoch Laufstrecke
- K15Q\_05 Indophenol wandert mit Toluol gering Laufstrecke
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K26W\_01 Laufmittel belegt Adsorptionsplätze
- K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K31W\_01 Analyt belegt Adsorptionsplätze
- K31W\_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze

Es wird im Textsegment zwar nicht explizit gesagt, dass Toluol Laufmittel ist, aber Proposition des Codes K07B\_01 ist die Brücke zu den verallgemeinernden Codes K26W\_01 und K27W\_01. Code K07B\_01 wurde daher zugeordnet. Das betrifft auch die Codes K09A\_01 und K09A\_02, die die Verbindung zu den verallgemeinernden Codes K31W\_01 und K31W\_02 herstellen.

**g) Segment aus 014 Leitfragen (Zeile 161)**

„Hexan hat keine Elutionskraft, daher bleiben die Farben unten. Toluol hingegen besitzt Elutionskraft. Diese [Elutionskraft] ist bei Buttergelb größer als bei Indophenol. Propanol hat sogar eine sehr große Elutionskraft, was darin deutlich wird, dass die Farben mit der Laufmittelfront mitlaufen.“

Mit der Proposition „Diese [Elutionskraft] ist bei Buttergelb größer als bei Indophenol“ ist gemeint, dass Buttergelb eine höhere Laufstrecke als Indophenol zurücklegt, daher wurden K15Q\_04 und K15Q\_05 zugeordnet. Einschränkend muss hier konstatiert werden, dass die Vp nicht verstanden hat, dass sich Elutionskraft nur auf Laufmittel bezieht. Analyten haben keine Elutionskraft. Sie werden nur je nach Elutionskraft des Laufmittels unterschiedlich gut mitgeführt. Folgende Codes wurden zugeordnet:

- K05B\_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft
- K06B\_07 Propanol hat hoch Elutionskraft
- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K15Q\_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K15Q\_04 Buttergelb wandert mit Toluol hoch Laufstrecke
- K15Q\_05 Indophenol wandert mit Toluol gering Laufstrecke

**h) Segment aus 014 Leitfragen (Zeile 182)**

„Schaut man sich Indophenol u. Sudanrot an, so fällt gleich die polare OH-Gruppe auf. Da Indophenol als Molekül jedoch kürzer u. unkomplizierter strukturiert ist, hat diese polare Gruppe einen größeren Einfluss auf das ganze Molekül als beim Sudanrot. Indophenol ist „insgesamt“ polarer u. läuft damit mit dem Toluol nicht so stark mit bzw. hängt sich lieber an die polare Silicaschicht.“

Molekülgröße wird im Kategoriensystem nicht näher berücksichtigt, sondern nur die vorhandenen strukturellen Merkmale und deren Polarität. In diesem Fall zugeordnete Propositionen sind:

- K11A\_03 Indophenol hat Hydroxylgruppe
- K11A\_06 Indophenol hat hoch Polarität
- K11A\_07 Indophenol hat hoch WW mit Silicagel
- K12A\_04 Sudanrot G hat Hydroxylgruppe
- K12A\_05 Sudanrot G hat mittel Polarität
- K15Q\_05 Indophenol wandert mit Toluol gering Laufstrecke
- K15Q\_06 Sudanrot G wandert mit Toluol mittel Laufstrecke

Die letzte Proposition ergibt sich nur implizit, da zuvor die Polarität von Indophenol und Sudanrot verglichen wurde mit der Schlussfolgerung, dass Indophenol „nicht so stark“ mitläuft. Im Umkehrschluss heißt das, dass Sudanrot stärker mitläuft.

**i) Segment aus 021b Zusammenhänge (Zeile 258)**

„Zu Hexan: Hexan ist sehr unpolar, scheint die Stoffe aber nicht zu lösen  
<Folgepfeil> Warum nicht? Stoffgemisch ist doch lipophil?“

Ich vermute anhand der Strukturformeln, dass die Moleküle polare und unpolare Einheiten haben, und daher von dem sehr unpolaren Hexan nicht gelöst werden“

Bei der Codierung dieses Segmentes war die Frage, ob die Aussage, dass Analyt anhand der Strukturmerkmale vom Laufmittel gelöst wird mit den Codes „K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel“ und „K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel“ standardisiert wird. Ein Intercoder argumentierte, dass es im Segment nur um den Vergleich polar/unpolar bzw. lipophil geht, nicht aber um die Voraussetzung der Wechselwirkungen. Wären sie der Person klar gewesen, wäre sie vielleicht auch auf den Gedanken gekommen, dass Wechselwirkungen auch zur stationären Phase möglich sind, durch die Analyten zurückgehalten werden. Dem widerspricht, dass die Vp anhand der Strukturformeln die schlechtere Löslichkeit der Farbstoffe in Hexan auf deren polaren Anteil zurückführt. Das Vernachlässigen der Wechselwirkungsbeziehungen zwischen Analyten und stationärer Phase liegt eher darin begründet, dass sich nur die mobile Phase bewegt und somit das Bewegen des Analyten nur auf dessen Löslichkeit in der

mobilen Phase zurückgeführt wird. Daher werden die Codes K21W\_07 und K29W\_05 zugeordnet. Der Code K05B\_01 wird als Verbindung zu den Codes K21W\_05 und K29W\_05 benötigt. Codiert wurden:

- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_03 Hexan hat sehr gering Polarität
- K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt
- K08A\_01 Farbstoffgemisch hat lipophil Löslichkeit
- K08A\_02 Analyt hat in LM unterschiedlich Löslichkeit
- K08A\_03 Analyt hat unterschiedlich Polarität
- K21W\_05 Laufmittel hat Strukturmerkmal
- K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW mit Analyt/Lösungsmittel
- K29W\_03 Analyt hat Strukturmerkmal
- K29W\_04 Strukturmerkmal Analyt begründet Eigenschaft Analyt
- K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel
- K34W\_01 Strukturformel hat Strukturmerkmal
- K34W\_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal
- K34W\_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft der Teilchen
- K34W\_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_06 Polarität begründet Löslichkeit

**j) Segment aus 041b Zusammenhänge (Zeile 550)**

„Ausnutzung der unterschiedlichen „Wanderungsgeschwindigkeiten“ der Stoffe im Laufmittel (spezifische Größe)“

„Wanderungsgeschwindigkeiten“ impliziert Laufstrecke, weil Wanderungsgeschwindigkeit eine v. der Laufstrecke abgeleitete Größe ist. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_02 Verhaltensbedingung bestimmt Laufstrecke Analyt
- K13Q\_04 Laufstrecke Analyt unterschiedl. ist optimal Trennung

**k) Segment aus 042c Zusammenhänge (Zeile 575)**

„ - die Trennung des Stoffgemisches ist abhängig von der Art der Teilchen bzw. deren Polarität

- der Stoff, der sich am schnellsten durch die Säule bewegt, wird als erstes detektiert usw.

- die unterschiedlichen Wanderungsgeschwindigkeiten der Stoffe sind die Basis der Chromatografie

- die Stoffe befinden sich in der Säule zu unterschiedlichen (da stoffspezifisch) Anteilen in einer mobilen und stationären Phase <Folgepfeil> Je mehr Teilchen eines Stoffs in der mobilen Phase sind, umso größer ist deren durchschnittliche Geschwindigkeit

- die Anzahl der Detektionen (Peaks) zeigt auf, wieviele unterschiedliche Stoffe sich in der Probelösung befinden“

Im ersten Codiervorgang wurde jeder Anstrichpunkt einzeln codiert. Die Codierungen wurden aber dann doch zusammengeführt, denn nur so ist nachvollziehbar, dass die Vp die Trennung des Stoffgemisches im Zusammenhang mit unterschiedlichen Wanderungsgeschwindigkeiten der Stoffe sieht. Unterschiedliche Wanderungsgeschwindigkeiten implizieren unterschiedliche Laufstrecken.

Bei der Standardisierung des ersten Anstrichpunktes wurde die Zuordnung des Codes „K29W\_04 Strukturmerkmal Analyt begründet Eigenschaft Analyt “ diskutiert. Die Frage ist, ob Vp bei der Formulierung „[...] ist abhängig von der Art der Teilchen bzw. deren Polarität“ mit Art der Teilchen Strukturmerkmale meint, über die die Polarität als Eigenschaft der Teilchen begründet werden kann. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass Code letztendlich zugeordnet wurde.

Schwieriger ist die Codierung der Aussage „Je mehr Teilchen eines Stoffs in der mobilen Phase sind, umso größer ist deren durchschnittliche Geschwindigkeit“, die im vorletzten Anstrichpunkt vorkommt. Sie ist in dieser allgemeinen Form nicht im Codesystem berücksichtigt worden. Implizit ist die Aussage in den Codes „K32W\_02“ und „K32W\_03“ enthalten. „Gering adsorbiert“ und geringer k-Wert implizieren, dass Analyt zu höherem Anteil in der mobilen Phase und zu geringerem Anteil in der stationären Phase ist. Hohe Laufstrecke ist gleichbedeutend mit hoher Wanderungsgeschwindigkeit des Analyten. Da Vp nicht weiter auf die einzelnen Analyten eingeht, wurden nur noch die Codes K18Q\_03 und K19Q\_03 zugeordnet. Toluol wird zwar nicht explizit genannt, aber Aussage bezieht sich letztendlich auf substanzspezifisches Verhalten unter optimalen Trennbedingungen. Das gesamte Segment wurde mit folgenden Codes standardisiert:

- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K01V\_02 Verfahren zur Trennung
- K01V\_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch
- K08A\_03 Analyt hat unterschiedlich Polarität
- K13Q\_04 Laufstrecke Analyt unterschiedlich ist optimal Trennung
- K14Q\_01 Stoffidentifikation beruht auf Vgl. von Laufstr./RF Analyt/V
- K18Q\_03 Analyt hat mit Toluol unt. Stoffmenge in stPh
- K19Q\_03 Analyt hat mit Toluol unt. Stoffmenge in mPh
- K29W\_04 Strukturmerkmal Analyt begründet Eigenschaft Analyt
- K32W\_02 Analyt gering adsorbiert hat gering Retention/ho RF/ge k
- K32W\_03 Analyt gering adsorbiert hat hoch Laufstrecke
- K34W\_05 Polarität ist Eigenschaft der Teilchen

**I) Segment aus 043EIII Elutionsstärke (Zeile 634)**

„<Pfeil nach rechts> polares Laufmittel <Pfeil nach rechts> gutes Lösungsmittel

<Pfeil nach rechts>Epsilon ist groß, dadurch k klein

=> sehr gute/starke Substanzbewegung“

Sehr gute Substanzbewegung ist gleichzusetzen mit „wandern bis LM-Front“. Der ursprünglich zugeordnete Code „K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft“ wurde wieder entfernt, weil die stationäre Phase und deren Polarität nicht genannt wurden. Folgende Codes wurden zugeordnet:

- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_04 Propanol hat hoch <sup>Polarität</sup>
- K06B\_07 Propanol hat hoch Elutionskraft
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K17Q\_02 Analyt hat mit Propanol gering k-Wert
- K33W\_04 Parameter Epsilon ist Kenngröße für Elutionskraft
- K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft
- K33W\_09 Elutionskraft hoch bewirkt gering k-Wert

**m) Segment aus 073EI Retentionsfaktor (Zeilen 1069, 1092, 1095, 1098)**

„ $R_F(\text{blau}) <\text{ungefähr}> 0,2 <\text{Pfeil nach rechts}> k(\text{blau}) = 0,8/0,2 = 4$   
 $R_F(\text{rot}) <\text{ungefähr}> 0,4 <\text{Pfeil nach rechts}> k(\text{rot}) = 0,6/0,4 = 1,5$   
 $R_F(\text{gelb}) <\text{ungefähr}> 0,75 <\text{Pfeil nach rechts}> k(\text{gelb}) = 0,25/0,75 = \frac{1}{4} * \frac{4}{3} = \frac{1}{3}$   
 <gewinkelter Pfeil> unterschiedliche k-Werte <Folgepfeil> gute Auftrennung  
 <gewinkelter Pfeil> Toluol geeignet für HPLC  
 <gewinkelter Pfeil> einzelne Komponenten haben sich unterschiedlich gut in Toluol gelöst.“

Im Aufgabenteil 3EI mussten die Aussagen des vorgegebenen Textausschnittes auf das Trennergebnis übertragen werden. Somit bezieht sich bei der letzten Aussage des Segmentes die Löslichkeit der Komponenten in Toluol auf Toluol als Laufmittel und nicht Lösungsmittel, sodass Codes „K02V\_13 Analyt/FG/V ist gelöst in Lösungsmittel“ und „K02V\_14 Toluol ist Lösungsmittel“ nicht zugeordnet wurden. K19Q\_03 wurde zugeordnet, da unterschiedliche Löslichkeit in Toluol impliziert, dass unterschiedlich hohe Stoffmengen der Analyten in der mobilen Phase sind (k-Wert wurde von  $V_p$  zuvor richtig definiert). Zugeordnet wurden insgesamt folgende Codes:

- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K08A\_02 Analyt hat in LM unterschiedlich Löslichkeit
- K09A\_06 Buttergelb hat gelb Farbe
- K09A\_07 Indophenol hat blau Farbe
- K09A\_08 Sudanrot G hat rot Farbe
- K16Q\_04 Buttergelb hat mit Toluol hoch RF-Wert
- K16Q\_05 Indophenol hat mit Toluol gering RF-Wert
- K16Q\_06 Sudanrot G/Vergl.-subst. hat mit Toluol mittel RF-Wert
- K17Q\_04 Buttergelb hat mit Toluol gering k-Wert
- K17Q\_05 Indophenol hat mit Toluol hoch k-Wert
- K17Q\_06 Sudanrot G/Vergl.-subst. hat mit Toluol mittel k-Wert

- K19Q\_03 Analyt hat mit Toluol unt. Stoffmenge in mPh
- K29W\_02 Analyt/Farbstoffgemisch hat Löslichkeit

**n) Segment aus 081a Concept Map (Zeilen 1249, 1240, 1275, 1280, 1279, 1273)**

„DC (Chromatografie/Trennmethode) ist chrom. Verfahren (Chromatografie/Trennmethode)  
 chrom. Verfahren (Chromatografie/Trennmethode) zur qualitativen  
 Stofftrennung (Chromatografie/Trennmethode)  
 qualitativen Stofftrennung (Chromatografie/Trennmethode)  
 benötigt  
 Referenzprobe (Apparatur)  
 Referenzprobe (Apparatur) und Probe (Apparatur)  
 Referenzprobe (Apparatur) für Auswertung (Apparatur)  
 Probe (Apparatur) für Auswertung (Apparatur)“

Diese Propositionen sind Aussagen aus der Concept Map der Vp, die einzeln codiert wurden. Problematisch war die Codierung der Aussage „Probe (Apparatur) für Auswertung (Apparatur)“, dass die unmittelbar im Zusammenhang stehenden Propositionen hier mit aufgeführt werden. Diskutiert wurde die Zuordnung des Codes „K01V\_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch“ für diese letzte Proposition. Der Code wurde zugeordnet, weil Proposition im Zusammenhang mit „qualitativen Stofftrennung (Chromatografie/Trennmethode) benötigt Referenzprobe (Apparatur) und Probe (Apparatur)“ zu interpretieren ist.

Weitere im Zusammenhang stehende Propositionen (Zeilen 1246, 1263, 1288, 1287, 1250) sind:

„DC (Chromatografie/Trennmethode) benötigt Laufmittel (Stoffe)  
 Laufmittel (Stoffe) und Weg  
 Weg hängt zusammen mit Probe (Apparatur)  
 Weg des Laufmittel (Stoffe)  
 DC (Chromatografie/Trennmethode) trennt Stoffe, da Wechselwirkung  
 (Stoffe)/(Wirkprinzip)“

Insgesamt wurden die hier aufgeführten Propositionen durch folgende Codes standardisiert:

- K00V\_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie
- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K01V\_02 Verfahren zur Trennung
- K01V\_03 Verfahren zur Analyse
- K01V\_04 Analyse durch Stoffidentifikation
- K01V\_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K03B\_01 Laufstrecke Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K14Q\_01 Stoffident. beruht auf Vgl. v. Laufstr./RF Analyt/V
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt

- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens

**o) Segment aus 083EI Retentionsfaktor (Zeile 1402)**

„Toluol ist unpolares LM mit polarem Anteil  
 <Folgepfeil> WW mit Kieselgel, daher Absorption teilweise  
 <Vp hat Text blau umrandet mit Hinweis>  
 wie Chlorbenzen  
 gute Trennleistung (kommt aber auf Probe an: bei Chlorbenzen als Probe  
 sind evtl. die WW zu groß mit Toluol, sodass Chlorbenzen nicht Toluol  
 verdrängt“

Vp bezieht sich im unteren Absatz des Segmentes auf Stoffe, die im Textmaterial thematisiert wurden. Sie hätte aber die Begründungszusammenhänge auf die Trennung des Farbstoffgemisches übertragen müssen. Daher beziehen sich die Codes K07B\_01 und K07B\_09 auf die Inhalte des unteren Absatzes. Code K07B\_09 bezieht sich auf „gute Trennleistung“. Die Codes K07B\_04 und K25W\_01 beziehen sich auf die ersten beiden Zeilen. Dazu sind als Verbindung die Codes K07B\_01 und K20W\_03 notwendig. Da die Stärke der Wechselwirkungen zwischen Toluol und Silicagel von Vp nicht benannt wird, wird „K07B\_06 Toluol hat gering WW mit Silicagel“ nicht zugeordnet.

Welche Vorstellung Vp vom strukturellen Aufbau von Toluol hat, kann nicht eindeutig interpretiert werden, da sie nirgendwo eine Strukturformel von Toluol gezeichnet oder beschrieben hat. Toluol hat keine polare Gruppen (polaren Anteile), aber ein Pi-Elektronensystem, das polarisierbar ist. Falsch ist der Begriff „Absorption“. Vp meint Adsorption statt Absorption. Folgende Codes wurden zugeordnet:

- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens

**p) Segment aus 094 Leitfragen (Zeile 1661)**

„Indophenol besitzt eine polare OH-Gruppe und ist im Gegensatz zum Sudanrot G ein deutlich kleineres Molekül, sodass der polare Anteil deutlich größer ist als der beim Sudanrot G.

Buttergelb besitzt keine offensichtlichen polaren Gruppen und ist daher als Farbstoffmolekül unpolar.“

Das Codesystem sieht nur positive Formulierungen vor. Die Strukturmerkmale mit eher unpolarem Charakter werden nicht genannt, aber das nicht Vorhandensein von OH-Gruppen lässt natürlich auch den Schluss zu, dass ein Molekül wie Buttergelb weniger polar ist als eines mit OH-Gruppe. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K10A\_05 Buttergelb hat gering Polarität
- K11A\_03 Indophenol hat Hydroxylgruppe
- K11A\_06 Indophenol hat hoch Polarität
- K12A\_05 Sudanrot G hat mittel Polarität
- K34W\_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen
- K35W\_08 Hydroxylgruppe ist funktionelle Gruppe
- K35W\_09 Hydroxylgruppe hat sehr hoch Polarität

**q) Segment aus 101b Zusammenhänge (Zeile 1759)**

„Beim Versuch wird zuerst die Probenmischung und Vergleichsprobe auf die DC-Platte aufgetragen.

Anschließend wird das Laufmittel hinzugegeben und nach der Entwicklungszeit wird dann die Laufstrecke gemessen.

Dabei wird bei unterschiedlichen Laufmitteln eine unterschiedliche Trennung beobachtet.“

Diskutiert wurde die Zuordnung des Codes K02V\_12, denn das Auftragen der Probe auf die DC-Platte ist im Code K02V\_15 enthalten. Da aber der Hinweis auf die Laufstrecke des Analyten suggeriert, dass Wanderung mitgedacht wird, wurde Code K02V\_12 zugeordnet. Segment wurde mit folgenden Codes standardisiert:

- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K02V\_12 Laufmittel/mobile Phase wandert über DC-Platte/stat. P
- K02V\_15 Farbstoffgemisch ist auf DC-Platte
- K03B\_02 Entwicklungszeit ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K13Q\_02 Verhaltensbedingung bestimmt Laufstrecke Analyt

**r) Segment aus 103EII Retention NPC (Zeile 1836)**

„Toluol ist ein etwas polareres Laufmittel als Hexan, was bedeutet, dass es zu ein paar Wechselwirkungen zwischen stationärer und mobiler Phase kommt, was im Experiment an der sich im Mittelfeld befindlichen Entwicklungszeit für Toluol deutlich wird.

Da es aber weniger Wechselwirkungen als mit den Farbstoffen im Versuch sind, kann eine Trennung überhaupt erst erfolgen.“

Hier ist der Bezug unklar, ob Wechselwirkungen des Laufmittels mit der stationären Phase verglichen werden gegenüber den Wechselwirkungen der Farbstoffe mit der stationären Phase oder den Wechselwirkungen der Farbstoffe mit der mobilen Phase. Damit steht die Zuordnung der Codes K27W\_01, K27W\_02 und K31W\_02 in Frage. Zur Klärung wird die Formulierung der Vp10 in Aufgabe 3EI betrachtet:



„Im Falle von Hexan konnte keine Bewegung der Stoffe vom Ausgangspunkt festgestellt werden. Das bedeutet für  $RF = 0$ . Daraus folgt, dass  $k$  nicht bestimmt werden kann.

Im Falle von Toluol kann eine Bewegung der Stoffe beobachtet werden, die sich von der des Laufmittels unterscheidet. Es ließe sich damit  $RF$  und damit auch  $k$  bestimmen.

Im Falle von Propanol kann eine Bewegung der Stoffe beobachtet werden, die sich aber nicht von der des Laufmittels unterscheidet, daher ist  $RF = 1$  und damit bestimmt sich  $k = 0$ . Dies ist aber ähnlich wie bei Hexan ein Grenzfall, bei welchem die Bestimmungsmethode versagt.“

Vp10 ist klar, dass sich im Fall von Toluol die Bewegung der Stoffe von der des Laufmittels unterscheidet. Damit ist die Lesart der Aussage „Da es aber weniger Wechselwirkungen als mit den Farbstoffen im Versuch sind, kann eine Trennung überhaupt erst erfolgen.“ so zu interpretieren, dass die Wechselwirkungen der Farbstoffe mit der stationären Phase etwas stärker sind als die Wechselwirkungen des Laufmittels Toluol mit der stationären Phase. Somit sind die Farbstoffe in der Lage, das Laufmittel von der stationären Phase zu verdrängen und sich dadurch nicht ungehindert mit dem Laufmittel in Richtung Laufmittelfront bewegen. Die Zuordnung der Codes K27W\_01, K27W\_02 und K31W\_02 ist daher gerechtfertigt. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_03 Hexan hat sehr gering Polarität
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität
- K07B\_06 Toluol hat gering WW mit Silicagel
- K07B\_08 Toluol hat mittel Laufgeschwindigkeit
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze
- K27W\_02 LM gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Adsorptionsplätze.
- K31W\_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze

**s) Segment aus 111c SLS (Zeilen 1945 und 1969)**

„Vergleich der Ergebnisse  
Referenz sichert Vergleich  
Referenz zeigt Qualität der Ergebnisse“

Es gibt keinen Code, der Aussagen wörtlich abbildet, aber der Begriff „Ergebnisse“ umfasst „Laufstr./RF Analyt/V“, dass zur Standardisierung dieser Code zugeordnet wurde:

- K14Q\_01 Stoffident. beruht auf Vgl. v. Laufstr./RF Analyt/V

**t) Segment aus 121b Zusammenhänge (Zeile 2292)**

„3) Propanol ist polar und weist (vermutlich wegen der Polarität) die längste bzw. langsamste Laufzeit auf (1260 s für 4,7 cm). Dabei hat es sehr starke WW mit allen Farbstoffen, sodass sie selbst am Ende der Entwicklungszeit an der Laufmittelfront waren. Es kam zu keiner Trennung des Farbstoffgemischs. Zur Trennung dieses Gemischs ist also nur Toluol geeignet. Hexan und Propanol jedoch nicht.“

Die Aussage, dass nur Toluol gegenüber den anderen Laufmitteln für die Trennung des Farbstoffgemisches geeignet ist, wird mit den verallgemeinernden Codes „K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung“ und „K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung“ standardisiert. Als Verbindung zum Code K02V\_11 werden noch die Codes „K05B\_01 Hexan ist Laufmittel“ und „K07B\_01 Toluol ist Laufmittel zugeordnet“.

Wechselwirkungen von Propanol sind nicht gleich hoch mit den drei Analyten. Vp geht davon aus, dass Wechselwirkungen des Laufmittels mit den Analyten entscheidend dafür sind, dass alle Analyten bis zur Laufmittelfront wandern. Der Grund dafür ist jedoch die zu hohe Elutionskraft des Propanols, dass durch seine zu starken Wechselwirkungen mit der stationären Phase letztere vollständig belegt. Laufmittelmoleküle können durch Analyten nicht weiter verdrängt werden, sodass Analyten vom Laufmittel ungehindert bis zur Laufmittelfront vom Laufmittel mitgeführt werden.

Der Einschub „vermutlich wegen der Polarität“ der ersten Aussagen wurde nicht berücksichtigt, da Vp nicht erklärt, wie Polarität und Laufgeschwindigkeit in Beziehung stehen. Die starken Wechselwirkungen des Laufmittels mit der stationären Phase sind Ursache für die geringe Laufgeschwindigkeit des Propanols. Dieser Aspekt wird von Vp aber nicht erwähnt, sodass Code „K28W\_01 WW LM m. (Ad)Sorbens hoch bewirkt gering Lv LM“ nicht zugeordnet wird. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K03B\_02 Entwicklungszeit ist Verhaltensbedingung
- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_08 Hexan bewirkt keine Trennung
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_04 Propanol hat hoch Polarität
- K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt
- K06B\_08 Propanol hat gering Laufgeschwindigkeit
- K06B\_09 Propanol bewirkt keine Trennung
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel

- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront

**u) Segment aus 123EII Retention NPC (Zeile 2449)**

„Monolage Propanol stark an Silicagel durch Dipol-WW gebunden  
<Pfeil nach rechts> wird sehr schlecht verdrängt  
<Pfeil nach rechts> keine Trennung <Pfeil nach rechts> Farbstoffe nicht  
polar genug um Propanol zu verdrängen  
<Pfeil nach rechts> Farbstoffe werden nicht zurückgehalten“

Die Aussagen „Farbstoffe nicht polar genug um Propanol zu verdrängen“ und „Propanol stark an Silicagel durch Dipol-WW“ implizieren die hohe Polarität von Propanol und Silicagel, dass die Codes K04B\_02 und K06B\_04 zugeordnet wurden.

Mit folgenden Codes wurde das Segment standardisiert:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K04B\_02 Silicagel hat sehr hoch Polarität
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_04 Propanol hat hoch Polarität
- K08A\_01 Farbstoffgemisch hat lipophil Löslichkeit
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K25W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens
- K31W\_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze
- K31W\_03 Analyt gepo konkurriert gering auf hopo stPh um Adsorptionsplätze
- K36W\_01 Dipol-Dipol-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K36W\_02 Dipol-Dipol-Kräfte ist hoch Wechselwirkung

**v) Segment aus 131a Concept Map (Zeile 2687)**

„Laufstrecke  
ist abhängig von  
Laufmittel  
Laufstrecke  
wird gemessen in  
Zentimeter  
Laufstrecke  
wird zurückgelegt in  
Entw.-zeit“

Da hier von Laufstrecke Analyt die Rede ist, die durch das Laufmittel beeinflusst wird, wurde statt des Codes „K03B\_01 Laufstrecke Laufmittel ist Verhaltensbedingung“ der Code K13Q\_02 zugeordnet. Das Segment wurde mit folgenden Codes standardisiert:

- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K03B\_02 Entwicklungszeit ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_02 Verhaltensbedingung bestimmt Laufstrecke Analyt

**w) Segment aus 133EI Retention NPC (Zeile 2789)**

„Substanzen verbleiben an Startlinie, da Hexan unpolar ist und es zu keinen Interaktionen kommt.“

Der Aussage „es zu keinen Interaktionen kommt“ kann kein Code zugeordnet werden, da die Polarität der Analyten nicht charakterisiert wurde. Streng genommen ist das lipophile Farbstoffgemisch auch eher unpolar, dass Wechselwirkungen zum Laufmittel Hexan gegeben sind. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_03 Hexan hat sehr gering Polarität
- K15Q\_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie

### 19.7.2.2 Beschreibung der Kenngrößen

**a) Segment aus 013EI Retentionsfaktor (Zeile 73)**

„Die  $R_F$ -Werte sind von Indophenol (unten) zu Buttergelb (oben) zunehmend. Bei Buttergelb ist die Menge im Laufmittel größer als in der mobilen Phase, daher weit nach oben gewandert. Bei Indophenol (unten) ist die Menge an gelöstem Stoff in der stationären Phase größer, als in der mobilen. Bei Sudanrot halten sich die Mengen in stationäre u. mobile Phase relativ die Waage.“

Ursprünglich wurde jeder Satz des Segmentes separat codiert. Bei der Überprüfung der Codierungen stellte sich allerdings heraus, dass die Zuordnung der Codes K16Q\_05 und K16Q\_06 nur nachvollziehbar ist, wenn das Segment im Ganzen betrachtet wird. Daher wurden Codierungen der einzelnen Sätze zusammengeführt.

Bei der Aussage „Bei Buttergelb ist die Menge im Laufmittel größer als in der mobilen Phase, daher weit nach oben gewandert.“ meint die Vp statt mobiler Phase die stationäre Phase. In diesem Fall waren sich alle Experten einig, dass es sich um einen Flüchtigkeitsfehler handelt und die Aussage als richtig gewertet werden kann, denn bei Indophenol und Sudanrot werden die Stoffmengenverhältnisse in den jeweiligen Phasen richtig eingeschätzt. Codiert wurden:

- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K15Q\_04 Buttergelb wandert mit Toluol hoch Laufstrecke
- K15Q\_05 Indophenol wandert mit Toluol gering Laufstrecke
- K16Q\_04 Buttergelb hat mit Toluol hoch RF-Wert
- K16Q\_05 Indophenol hat mit Toluol gering RF-Wert
- K16Q\_06 Sudanrot G/Vergleichssubstanz hat mit Toluol mittel RF-Wert
- K18Q\_04 Buttergelb hat mit Toluol gering Stoffmenge in stPh

- K18Q\_05 Indophenol hat mit Toluol hoch Stoffmenge in stPh
- K18Q\_06 Sudanrot G/Vergl. hat mit Toluol mittel Stoffm. in stPh
- K19Q\_04 Buttergelb hat mit Toluol hoch Stoffmenge in mPh
- K19Q\_05 Indophenol hat mit Toluol gering Stoffmenge in mPh
- K19Q\_06 Sudanrot G/Vergl. hat mit Toluol mittel Stoffm. in mPh
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase

**b) Segment aus 013EI Retentionsfaktor (Zeile 81)**

„Der Rf-Wert = 1, da die Substanzen mit der Laufmittelfront gelaufen sind. Die Menge in der mobilen Phase ist größer bzw. alles ist in der mobilen Phase, da die Substanzen bis nach oben gelaufen sind u. auf der restlichen DC-Platte nichts zu sehen ist.“

Negationen werden im Codesystem nicht berücksichtigt. Die Aussage, dass auf der restlichen DC-Platte nichts zu sehen ist, ist in Code K18Q\_02 enthalten. Dass es sich bei dem Laufmittel um Propanol handelt, geht aus der Vorgabe des Arbeitsblattes hervor. Codiert wurden:

- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K16Q\_02 Analyt hat mit Propanol hoch RF-Wert
- K18Q\_02 Analyt hat mit Propanol gering Stoffmenge in stPh
- K19Q\_02 Analyt hat mit Propanol hoch Stoffmenge in mPh

**c) Segment aus 013EI Retentionsfaktor (Zeile 97)**

„RF definiert sich über Entfernung von Startlinie/Entfernung Laufmittelfront von Startlinie“

„Entfernung von Startlinie“ impliziert Entfernung des Analyten von Startlinie. Daher wurde die Definition als richtig gewertet und dem Code „K13Q\_06 Quotient LsA u. LsLM definiert RF-Wert“ zugeordnet.

**d) Segment aus 013EI Retentionsfaktor (Zeile 98)**

„RF  
hängt zusammen mit  
TLC“

Diese Proposition stammt aus der Concept Map, die im ersten Teil der Aufgabe 3EI zu erstellen war. Die beiden Begriffe „RF“ und „TLC“ wurden nur mit einem Pfeil verbunden, der nicht beschriftet wurde. Die fehlende Relation wurde beim Transkribieren durch „hängt zusammen mit“ ergänzt. Somit werden nur Propositionen aus dem Codesystem zugeordnet, in denen die Begriffe klassifiziert werden. Zugeordnet wurden demnach nur:

- K00V\_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie
- K13Q\_08 RF-Wert ist Kenngröße

**e) Segment aus 023EI Retentionsfaktor (Zeile 284)**

„abh. vom jew. Farbstoff  
[RF] kann ausgemessen werden“

Segment bezieht sich auf das Trennergebnis mit Toluol als Laufmittel. Aussage impliziert, dass RF auf DC-Platte bestimmt wird und je nach Analyt unterschiedlich ist. Dass es hier um Trennergebnis mit Toluol geht, ist durch die Aufgabenstellung bestimmt. Daher werden auch die Codes K07B\_01 und K16Q\_03 zugeordnet.

Zugeordnete Codes sind:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K14Q\_02 Laufstrecke/RF Analyt/Vgl.-subst. best. auf DC-Platte
- K16Q\_03 Analyt hat mit Toluol unterschiedlich RF-Wert

**f) Segment aus 023EI Retentionsfaktor (Zeile 285)**

„für alle  $RF = 1$  d. h.  $k = 1-1/1 = 0$   
d. h. (praktisch) keine Adsorption an Silikat“

Segment bezieht sich auf das Trennergebnis mit Propanol als Laufmittel. Auch wenn von keiner Adsorption die Rede ist, impliziert die Aussage, dass Wechselwirkungen zwischen Analyt und stationärer Phase (Adsorbens) bedacht wurden. Daher wird der Code K30W\_01 zugeordnet. Auch wird K06B\_01 zugeordnet, obwohl im Segment nicht allgemein auf das Laufmittel eingegangen wird. Das liegt darin begründet, dass das Segment auf dem Arbeitsblatt in der Zeile „Laufmittel Propanol“ eingetragen war und dadurch von  $V_p$  nicht explizit benannt werden muss. Zugeordnete Codes sind:

- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K13Q\_08 RF-Wert ist Kenngröße
- K13Q\_09 k-Wert ist Kenngröße
- K16Q\_02 Analyt hat mit Propanol hoch RF-Wert
- K17Q\_02 Analyt hat mit Propanol gering k-Wert
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K32W\_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/ho RF/ge k

**g) Segment aus 033EI Retentionsfaktor (Zeile 476)**

„RF is fractional migration from original sample spot to solvent front  
RF beschreibt die auftrennende Wanderung vom Startpunkt zur Laufmit-  
telfront“

Die Standardisierung dieses Segmentes ist schwierig, weil sich die Propositionen im Codesystem auf die Begriffsbestimmung des RF-Wertes als Kenngröße und Retentionsfaktor beschränken. Darüber hinaus gibt es noch den Code „K13Q\_06 Quotient LsA<sup>149</sup> u. LsLM<sup>150</sup> definiert RF-Wert“, der den RF-Wert definiert. Die Berechnungsgrundlage des RF-Wertes wird im Segment allerdings nicht benannt. Unter dem Begriff „Retentionsfaktor“ versteht man einen Faktor, der die stufenweise Wanderung der Substanzen beschreibt, dass nur folgender Code zugeordnet wurde:

- K13Q\_10 RF-Wert ist Retentionsfaktor

#### **h) Segment aus 063EI Retentionsfaktor (Zeile 871)**

„k ist unendlich groß, da Stoffe nicht fortbewegt werden

<Folgepfeil> keine Wechselwirkung zwischen LM [Hexan] und Farbstoffen“

Vp schlussfolgert aus Trennergebnis, dass keine Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyten auftreten, aber das ist fachlich falsch, denn die Analyten sind lipophil, dass Wechselwirkungen mit Hexan gegeben sein müssten. Sie sind nur deutlich schwächer als die Wechselwirkungen zwischen den Analyten und der stationären Phase. Da die stationäre Phase in diesem Segment nicht erwähnt wird, wurde der Code K23W\_02 wieder entfernt. Nur in diesem Kontext, in dem der Verbleib des Analyten an der Startlinie damit begründet wird, dass WW zwischen LM und Analyt zu gering sind, wird K23W\_02 zugeordnet. Voraussetzung ist, dass Vp Polarität des Laufmittels und der stationären Phase entsprechend als gering bzw. hoch benannt hat. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K15Q\_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie
- K17Q\_01 Analyt hat mit Hexan hoch k-Wert

#### **i) Segment aus 063EI Retentionsfaktor (Zeile 874)**

„k=0, da die Stoffe sich an der Laufmittelfront befinden.

Es ist keine Unterscheidung möglich.

<Folgepfeil> starke Wechselwirkung zw. LM [Propanol] und Farbstoffen“

Diskutiert wurde die Zuordnung des Codes „K23W\_03 LM hopo desorb. hoch auf hopo stat. Phase Analyt“, die letzte Aussage des Segmentes „starke Wechselwirkung zw. LM und Farbstoffen“ zu standardisieren. Propanol wurde zuvor als polar charakterisiert. Da aber im Segment nicht die Desorption zum Ausdruck kommt, sondern nur die Wechselwirkung zwischen Laufmittel und Analyt, wird die Codierung wieder entfernt. Da Analyten in ihren

---

<sup>149</sup> LsA: Laufstrecke Analyt

<sup>150</sup> LsLM: Laufstrecke Laufmittel bzw. mobile Phase

Polaritätsunterschieden von Vp nicht näher betrachtet werden, können Codes wie „K22W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar Analyt“, „K11A\_06 Indophenol hat hoch Polarität“ und „K11A\_09 Indophenol hat hoch WW mit Propanol“ nicht zugeordnet werden. Nur Indophenol ist polar genug, um von hohen Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt sprechen zu können. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt
- K06B\_05a Propanol hat mittel/hoch WW mit Analyt
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront
- K17Q\_02 Analyt hat mit Propanol gering k-Wert
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt

**j) Segment aus 073EI Retentionsfaktor (Zeile 1101)**

„Voraussetzung:

gleiche Probe, gleiche mobile + stationäre Phase, gleiche Temperatur

=> gleiche „Reaktionsbedingungen“

unter gleichen Bedingungen: gleicher k-Wert bei DC und HPLC für Bestandteile des Gemisches

k-Wert gibt Auskunft über die Qualität der Auftrennung <Pfeil zu Textanfang Dünnschichtchromatografie ...> [Dünnschichtchromatografie kann verwendet werden, um ein geeignetes Laufmittel für HPLC zu finden]“

Ursprünglich wurden die drei Absätze dieses Segmentes getrennt codiert. Da die Aussagen der Absätze aber aufeinander aufbauen, wurden die Codierungen zusammengeführt, um Segment widerspruchsfrei codieren zu können. Im k-Wert ist implizit „Laufstrecke Analyt“ enthalten, dass K13Q\_02 zugeordnet wurde. Segment wurde mit folgenden Codes standardisiert:

- K00V\_02 Verhaltensbedingung f. HPLC durch DC
- K00V\_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie
- K00V\_05 Hochleistungsflüssigkeitschromatografie ist Chromatogr.
- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_07 Silicagel/stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K13Q\_02 Verhaltensbedingung bestimmt Laufstrecke Analyt
- K13Q\_09 k-Wert ist Kenngröße
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase



**k) Segment aus 083EI Retentionsfaktor (Zeile 1397)**

„k = Retentionsfaktor  
 Auswertung macht möglich  
 Interpretation u. Verbesserung  
 k = Retentionsfaktor  
 berechnet aus  
 $csVs/cmVm$   
 k = Retentionsfaktor  
 ist  
 Verhältnis  
 Verhältnis von LM stat. Ph. (s)  
 LM stat. Ph. (s) berechnet aus  $csVs/cmVm$   
 LM mob. Ph. berechnet aus  $csVs/cmVm$   
 LM stat. Ph. (s) zu LM mob. Ph.“

Der Code „K13Q\_07 Quotient nA in stPh u. nA in mPh definiert k-Wert“ wird nicht zugeordnet, weil durch die letzten drei Aussagen deutlich wird, dass Vp dem LM-Anteil in den jeweiligen Phasen betrachtet, also Definition des k-Wertes nicht verstanden hat. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K13Q\_09 k-Wert ist Kenngröße
- K13Q\_11 k-Wert ist Retentionsfaktor

**l) Segment aus 123EI Retentionsfaktor (Zeile 2430)**

„Psi = Phasenverhältnis zw. mobiler + stationärer Phase in der Säule  
 ist definiert als  
 $\Psi = Vs/Vm$   
 $\Psi = Vs/Vm$   
 wird gebraucht für Umstellung zu  
 $k = Kappa * \Psi$ “

Psi wurde im Codesystem nicht berücksichtigt, dass nur folgender Code zugeordnet wurde:

- K13Q\_07 Quotient nA in stPh u. nA in mPh definiert k-Wert

**19.7.2.3 Beschreibung der Verhaltensbedingungen**

**a) Segment aus 013EII Retention NPC (Zeile 122)**

„Retention in NPC dazu gehört Laufmittelmolekül“

Diese Proposition stammt aus der Concept Map, die im ersten Teil der Aufgabe 3EII zu erstellen war. Aussage mit „dazu gehört“ impliziert, dass es sich um ein Arbeitsmittel oder eine Verhaltensbedingung handelt. Die genannte Verhaltensbedingung ist das Laufmittel. „Retention in NPC“ impliziert, dass es um Trennung geht. Daher werden K02V\_11 und K13Q\_01 zugeordnet. Der Code „K02V\_01 Trennung erfordert Arbeitsmittel“ als allgemeine Aussage wurde nicht zugeordnet, weil die Entwicklungskammer als Arbeitsmittel für

das Laufmittel nicht explizit genannt wird. Die Nennung von NPC reicht nicht aus, um den Code „K20W\_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)“ zuzuordnen. Zugeordnet wurden demnach nur:

- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung

**b) Segment aus 013EII Retention NPC (Zeile 125)**

„Retention in NPC dazu gehört Silikaoberfläche“

Diese Proposition stammt auch aus der Concept Map, die im ersten Teil der Aufgabe 3EII zu erstellen war. Silikaoberfläche wird durch die Codes K20W\_03 und K20W\_07 standardisiert. Diskutiert wurde die Zuordnung von K20W\_05. In der Proposition werden zwar NPC und Silicagel genannt, aber es fehlt die Einstufung des Silicagels als polar. Die Codierung dieser Proposition muss allerdings im Zusammenhang mit dem darauffolgenden Textsegment gesehen werden, in dem das Trennergebnis mit Hexan als Laufmittel interpretiert wird.

„Hexan ist unpolar u. Silica polar <Folgepfeil> Hexan geht nicht an die Silica-Oberfläche dran <Folgepfeil> es ist Platz für die Farben <Folgepfeil> sie werden gleich unten festgehalten u. wandern nicht (bleiben auf Startlinie)“

Der Zusammenhang zwischen NPC und der polaren Silicagelschicht als (Ad)Sorbens ist daher gegeben. Zugeordnet wurden demnach:

- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_07 Silicagel/stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)
- K20W\_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche

**c) Segment aus 023EII Retention NPC (Zeile 320)**

„Überschuss an Propanol verdrängt Farbstoffe von stat. Phase, wahrsch. sind die kleinen Propanolmoleküle (oder der Überschuss) der Grund, dass die Farbstoffe dann gar nicht mehr mit DC-Platte wechselwirken“

Zugeordnet wurden folgende Propositionen:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_02 DC-Platte ist Arbeitsmittel
- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel

- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K20W\_08 (Ad)Sorbens hat Adsorptionsplätze
- K23W\_01 Laufmittel desorbiert Analyt
- K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K31W\_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze

Die ursprünglich zugeordneten Codes „K02V\_05 DC-Platte enthält Silicagel“ und „K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens“ wurden entfernt, weil Silicagel als Beschichtung der DC-Platte nicht explizit genannt wird (auch nicht in den vorherigen Aufgaben). Die Codes „K06B\_01“ und „K20W\_04“ wurden zugeordnet, um den Bezug zu den Codes „K23W\_01“ und „K30W\_01“ herzustellen. Genauso wurde der Code „K20W\_08“ zugeordnet, um den Bezug zu den Codes „K27W\_01“ und „K31W\_02“ herzustellen.

**d) Segment aus 103EII NPC (Zeile 1819)**

„Hexan ist ein völlig unpolares Laufmittel.

Daher kommt es zu nahezu keinerlei Wechselwirkungen zwischen stationärer und mobiler Phase, was sich im Experiment in der niedrigen Entwicklungszeit von den 3 Laufmitteln niederschlägt.“

In diesem Segment ist es ebenso strittig, wie die Aussage über die geringen Wechselwirkungen zwischen mobiler und stationärer Phase konsistent zu vorherigen Textsegmenten standardisiert wird. Silicagel wird im Segment nicht explizit genannt, sodass K05B\_05 nicht zugeordnet wird. Der Code K20W\_04 stellt die Verbindung zu „hopo Adsorbens“ in Code K25W\_05 dar. Durch die Formulierung „nahezu keinerlei“ ist die Zuordnung der Codes K25W\_01 und K25W\_05 gerechtfertigt. Die Polarität der stationären Phase wird zwar im Segment nicht explizit hervorgehoben, wurde aber von Vp in z.B. 2c expliziert, dass die Zuordnung von Code K25W\_05 beibehalten wurde. Zugeordnet wurden daher folgende Propositionen:

- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_03 Hexan hat sehr gering Polarität
- K05B\_07 Hexan hat hoch Laufgeschwindigkeit
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens

**e) Segment aus 043EI Retentionsfaktor (Zeile 595)**

„Dünnschichtchromatografie ist ein Trennverfahren zur Analyse eines Stoffgemisches

Stoffgemisch besteht aus gelöster Stoff

gelöster Stoff kommt vor in stationäre Phase und mobile Phase

Dünnschichtchromatografie beinhaltet Versuchsaapparaturen

Versuchsapparaturen ist Lösemittelreservoir, Detektor, Einspritzung,  
Säule  
Säule besteht aus mobile Phase und stationäre Phase“

Propositionen stammen aus der Concept Map, die im ersten Teil der Aufgabe 3EI zu erstellen war. Für eine nachvollziehbare Codierung wurden sie letztendlich zu einem Segment zusammengefasst. Aussage „gelöster Stoff kommt vor in stationäre Phase und mobile Phase“ ist implizit durch die Codes K02V\_10, K02V\_13 und K20W\_04 enthalten. Folgende Codes wurden zugeordnet:

- K00V\_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie
- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K01V\_02 Verfahren zur Trennung
- K01V\_03 Verfahren zur Analyse
- K01V\_04 Analyse durch Stoffidentifikation
- K01V\_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch
- K02V\_01 Trennung erfordert Arbeitsmittel
- K02V\_08 Entwicklungskammer ist Arbeitsmittel
- K02V\_09 Entwicklungskammer enthält Laufmittel
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K02V\_13 Analyt/FG/V ist gelöst in Lösungsmittel
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase

**f) Segment aus 043EII Retention NPC (Zeile 622)**

„mobile Phase ist schwach polar  
stationäre Phase befindet sich auf Siliciumoberfläche  
Siliciumoberfläche ist polar“

Propositionen gehören zur Concept Map, die zum Text zu erstellen war. Da im Text Polarität von stationärer und mobiler Phase in Bezug auf NPC benannt wurde, wurden die Codes K20W\_05 u. K21W\_02 zugeordnet. Daher wurden die Propositionen mit folgenden Codes standardisiert:

- K02V\_06 Silicagel ist stationäre Phase
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K04B\_02 Silicagel hat sehr hoch Polarität
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K20W\_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)
- K20W\_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche
- K21W\_02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität

**g) Segment aus 051a Concept Map (Zeilen 705, 712, 718)**

„Hexan beeinflusst Zeit in s  
 Propanol beeinflusst Zeit in s  
 Toluol beeinflusst Zeit in s“

Auch wenn sich die drei Propositionen inhaltlich nicht ganz mit dem Aussagewert des Codes K03B\_02 decken, wurde Codierung befürwortet, da später auch das Laufmittel als Verhaltensbedingung akzeptiert wird. Die Entwicklungszeit hängt von der Laufgeschwindigkeit des Laufmittels ab. Da Hexan sehr schnell über die stationäre Phase nach oben transportiert wird, ist die Entwicklungszeit entsprechend kurz. Für langsamer laufende Laufmittel, wie Toluol und Propanol, muss für eine vergleichbare Laufstrecke die Entwicklungszeit entsprechend erhöht werden. Zugeordnete Codes sind:

- K03B\_02 Entwicklungszeit ist Verhaltensbedingung
- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel

**h) Segment aus 052c Zusammenhänge (Zeile 768)**

„Trennprozess kann von Laborbedingungen, wie Säulenbeschaffenheit, Lösungsmittel, Temperatur, Flussrate beeinflusst werden.“

Säulenbeschaffenheit impliziert Beschaffenheit der stationären Phase als Verhaltensbedingung für den Trennprozess. Da die Trennung des Analyten nicht explizit genannt wird, wurde der Code „K01V\_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch“ wieder entfernt. Abschließend wurden folgende Codes zugeordnet:

- K02V\_07 Silicagel/stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung

**i) Segment aus 052c Zusammenhänge (Zeile 771)**

„HPLC Methode heute ist Umkehrphasenmethode welche eine unpolare Säule hat mit H<sub>2</sub>O und polarer mobiler Phase“

Die Codes für die Bedingungen zur Umkehrphasenchromatografie (RPC) wurden nachträglich hinzugefügt. Sie wurden vorher nicht berücksichtigt, weil sie für die Interpretation der dünnenschichtchromatografischen Trennung des Farbstoffgemisches keine Rolle spielen. Da aber im englischen Textmaterial das Wirkprinzip der Chromatografie zu Beginn an der RPC erklärt wird, sind einige Vpn in ihren Ausführungen auch darauf eingegangen, sodass die Ergänzung des Codesystems notwendig war.

Folgende Codes wurden zugeordnet:

- K20W\_06 (Ad)Sorbens gering polar ist Umkehrphase (RP)
- K21W\_03 Laufmittel hat bei RPC hoch Polarität

**j) Segment aus 052c Zusammenhänge (Zeile 774)**

- „Arten von Chromatography  
 - klassische Säulenchromatography (von oben nach unten)  
 - Papierchromatografie (1940er), von unten nach oben)  
 - Dünnschichtchromatografie  
 - HPLC  
 - reversed phase  
 - normal phase“

Da Vp zuvor RP richtig charakterisiert hat, kann davon ausgegangen werden, dass Vp auch NP richtig charakterisieren kann, sodass die Codes K20W\_05 und K20W\_06 zugeordnet wurden. Folgende Codes wurden zugeordnet:

- K00V\_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie
- K00V\_05 Hochleistungsflüssigkeitschromatografie ist Chromatogr.
- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K20W\_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)
- K20W\_06 (Ad)Sorbens gering polar ist Umkehrphase (RP)

**k) Segment aus 073EI Retentionsfaktor (Zeilen 1085 und 1075)**

- „Dünnschichtchromatografie kann verwendet werden, um ein geeignetes Laufmittel für HPLC zu finden  
 [...] <gewinkelter Pfeil> Propanol ebenfalls nicht geeignet für HPLC“

„Geeignetes Laufmittel“ impliziert, dass das Laufmittel Verhaltensbedingung ist (K02V\_11). „Nicht geeignet“ beinhaltet, dass das Laufmittel keine Trennung bewirkt. Somit wurde K06B\_09 zugeordnet. Zugeordnet wurden daher folgende Codes:

- K00V\_02 Verhaltensbedingung f. HPLC durch DC
- K00V\_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_09 Propanol bewirkt keine Trennung

**l) Segment aus 081b Zusammenhänge (Zeile 1299)**

- „Das Farbstoffgemisch wird mit verschiedenen Lösungsmitteln getestet.  
 Das sind Hexan, Propanol und Toluol. Alle haben eine Polarität.“

Die Formulierung „Farbstoffgemisch wird getestet“ impliziert, dass die Trennung des Farbstoffgemisches mit verschiedenen Laufmitteln überprüft wird, d. h. das Trennergebnis unter verschiedenen Bedingungen betrachtet wird. Daher wurden dem Segment folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch
- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K04B\_03 Laufmittel hat unterschiedlich Polarität
- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel

**m) Segment aus 081b Zusammenhänge (Zeile 1308)**

„DC auf Kieselgel benötigt Lösungsmittel unpolar“

Die Bezeichnung NPC im Code K21W\_02 bezeichnet die Normalphasenchromatografie, bei der die stationäre Phase polar und das Laufmittel eher unpolar sind. Da Kieselgel nicht näher als polar charakterisiert wird, werden nur die Codes K02V\_05 und K21W\_02 zugeordnet und nicht Code „K20W\_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)“. Zugeordnete Codes:

- K02V\_05 DC-Platte enthält Silicagel
- K21W\_02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität

**n) Segment aus 081b Zusammenhänge (Zeile 1312)**

„HPLC hat auch mobile und stat. Phase“

Vp verweist implizit auf Verhaltensbedingungen der Chromatografie, die HPLC und DC gemeinsam haben. Im Codesystem bauen Propositionen so aufeinander auf, wie die jeweiligen Begriffe in einer Concept Map miteinander verbunden sind:

- K00V\_05 Hochleistungsflüssigkeitschromatografie ist Chromatogr.
- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K01V\_02 Verfahren zur Trennung
- K01V\_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch
- K02V\_01 Trennung erfordert Arbeitsmittel
- K02V\_02 DC-Platte ist Arbeitsmittel
- K02V\_05 DC-Platte enthält Silicagel
- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_07 Silicagel/stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K02V\_08 Entwicklungskammer ist Arbeitsmittel
- K02V\_09 Entwicklungskammer enthält Laufmittel
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung

- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase

Die Aussage der Vp ist so im Codesystem nicht vorhanden. Die Codes, die die Begriffe „mobile Phase“ und „stationäre Phase“ enthalten, haben einen höheren Informationsgehalt als die Aussage der Vp selbst. Daher muss die Aussage im Kontext des gesamten Segmentes betrachtet werden.

„DC-Hauptkomponenten: ist ein Verfahren zur qualitativen Stofftrennung. [...] Laufmittel hat bestimmte Polarität, diese bestimmt Trennleistung. Quali. Stofftrennung findet statt durch Polarität. [...] DC trennt Stoffe, da Wechselwirkungen (WW) von mobiler und stationärer (Kieselgel) Phase. DC ist Verfahren zur Stofftrennung wie HPLC.“

Daher wurden der Aussage „HPLC hat auch mobile und stat. Phase“ folgende Codes zugeordnet:

- K00V\_05 Hochleistungsflüssigkeitschromatografie ist Chromatogr.
- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase

Der Zusammenhang zwischen Verfahren zur Trennung und den erforderlichen Verhaltensbedingungen ist gegeben durch die Codierung der anderen Aussagen des Segmentes, denen folgende Codes zugeordnet wurden:

- K00V\_04 Dünnschichtchromatografie ist Chromatografie
- K00V\_05 Hochleistungsflüssigkeitschromatografie ist Chromatogr.
- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K01V\_02 Verfahren zur Trennung
- K01V\_03 Verfahren zur Analyse
- K01V\_04 Analyse durch Stoffidentifikation
- K01V\_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch
- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_07 Silicagel/stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K04B\_03 Laufmittel hat unterschiedlich Polarität
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens



**o) Segment aus 081b Zusammenhänge (Zeile 1318)**

„Probe ist Farbstoffgemisch. Dieses wird auf DC-Platte aufgetragen.  
DC-Platte ist Kieselgel. Ebenfalls aufgetragen wird Referenzprobe.“

Auch wenn „Referenzprobe“ genannt wird, wird der Code „K09A\_04 Sudanrot G ist Vergleichssubstanz“ nicht zugeordnet, da Sudanrot G nicht explizit als Referenzprobe/Vergleichssubstanz genannt wird. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_05 DC-Platte enthält Silicagel
- K02V\_15 Farbstoffgemisch ist auf DC-Platte

**p) Segment aus 083EII Retention NPC (Zeile 1404)**

„<Strukturformel Dichlormethan> <Pfeil nach unten> wie Propanol?“

Segment steht im Zusammenhang mit Propositionen der Concept Map, die zum Textauschnitt des dritten Aufgabenkomplexes zu erstellen war:

„mobile Phase hat Moleküle  
mobile Phase hat Polarität unpolar  
mobile Phase ist Dichlormethan  
Moleküle mit Polarität polar  
Moleküle mit Polarität unpolar  
Normalphasenchromatografie benötigt mobile Phase“

Dichlormethan ist als Laufmittel („mobile Phase“) definiert, dass mit der Aussage „<Strukturformel Dichlormethan> <Pfeil nach unten> wie Propanol?“ von Dichlormethan auf Propanol als Laufmittel mit entsprechender Strukturformel verwiesen wird. Das Fragezeichen deutet allerdings eine Unsicherheit an. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K21W\_05 Laufmittel hat Strukturmerkmal

Die Charakterisierung von Propanol als Laufmittel führt Vp in einem anderen Segment der Aufgabe aus, dessen Codierung im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

**q) Segment aus 083EII Retention NPC (Zeile 2 Tabellenblatt „nachträglich codierte Segmente“)**

„[Propanol] scheint als LM geeigneter, da es polarer als Toluol ist, aber kleiner und somit durch CB verdrängt werden kann“

Probe im Experiment ist nicht Chlorbenzol (CB). Vp vermischt Inhalte aus dem englischen Textmaterial und dem Experiment zur Trennung eines Farbstoffgemisches, das eigentlich zu interpretieren war. Codes zu Verdrängungsprinzip werden nicht zugeordnet, weil Vp falsche Schlussfolgerung zieht, denn Propanol bewirkt im zu interpretierenden Experiment keine Trennung im Gegensatz zu Toluol, dass Propanol nicht geeigneter als Toluol ist. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_04 Propanol hat hoch Polarität
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität

**r) Segment aus 083EII Retention NPC (Zeile 1412)**

„mobile Phase hat Moleküle  
mobile Phase hat Polarität unpolar  
mobile Phase ist Dichlormethan  
Moleküle mit Polarität polar  
Moleküle mit Polarität unpolar  
Normalphasenchromatografie benötigt mobile Phase“

Propositionen stammen aus der Concept Map, die im ersten Teil der Aufgabe 3EII zu erstellen war. Die Aussage „Normalphasenchromatografie benötigt mobile Phase“ ist im Zusammenhang zu sehen mit den Propositionen:

- „Kieselgeloberfläche ist stat. Ph.“
- „Normalphasenchromatografie hat Kieselgeloberfläche“
- „stat. Ph. hat Polarität polar“.

Somit wurde zur Standardisierung dieser Aussage auch der Code K20W\_05 zugeordnet. Insgesamt wurden dem Segment folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_01 Chromatografie ist Verfahren
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)
- K20W\_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche
- K21W\_02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität
- K21W\_05 Laufmittel hat Strukturmerkmal

**s) Segment aus 091b Zusammenhänge (Zeile 1556)**

„Ein Chromatogramm enthält eine Substanz, eine mobile Phase und eine stationäre Phase.“

Chromatogramm ist fachlich falsch, denn Begriff bezeichnet das Trennergebnis. Gemeint ist die chromatografische Trennung, für die die genannten Komponenten/Arbeitsmittel erforderlich sind. Daher wurde u. a. der Code K02V\_01 zugeordnet. Mit folgenden Codes wurde das Segment standardisiert:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_01 Trennung erfordert Arbeitsmittel
- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase

- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase

**t) Segment aus 113EIII Elutionsstärke (Zeile 2119)**

„NPC hat stationary phase  
stationary phase hält fest components  
stationary phase ist Kolonne“

Propositionen stammen aus der Concept Map, die im ersten Teil der Aufgabe 3EIII zu erstellen war. Für die Begriffe „NPC“ und „Kolonne“ gibt es keine direkte Entsprechung im Codesystem, dass nur folgende Codes zugeordnet wurden:

- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens

**19.7.2.4 Betrachtung der Elutionsstärke von Laufmitteln**

**a) Segment aus 013EIII Elutionsstärke (Zeile 139)**

„mehr Polarität führt zu kleinen Werten von  $k$ “

Diese Proposition stammt aus der Concept Map, die im ersten Teil der Aufgabe 3EII zu erstellen war und ist im Zusammenhang mit den Propositionen zu sehen:

- „solvent strength beruht auf Polarität“
- „pure solvent Stärke wird beschrieben über Epsilon“
- „solvent strength für pure solvent“

Zugeordnet wurden daher:

- K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft
- K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft
- K33W\_09 Elutionskraft hoch bewirkt gering  $k$ -Wert

Der ursprünglich zugeordnete Code „K33W\_03 eluotrope Reihe ordnet nach Polarität Laufmittel“ wurde letztendlich entfernt, weil auch in den anderen Propositionen der Concept Map das Ordnungssystem der Laufmittel „eluotrope Reihe“ nicht genannt wird.

**b) Segment aus 013EIII Elutionsstärke (Zeile 143)**

„Propanol ist stark polar u. haftet damit sehr gut an der polaren mobilen Phase. Dies hat zur Folge, dass die Werte von  $k$  kleiner werden.“

Da Vp zuvor schon Propanol als mobile Phase eingeordnet und von „haften“ spricht, ist davon auszugehen, dass in Aussage „Propanol ist stark polar u. haftet damit sehr gut an der polaren mobilen Phase“ die stationäre und nicht die mobile Phase gemeint ist. Da die verallgemeinernden Aussagen nicht getroffen werden, werden anders als in der Erstcodierung die entsprechenden Codes nicht zugeordnet wie z. B.:

- K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K26W\_02 LM gepo belegt gering auf hopo stPh Adsorptionsplätze
- K26W\_03 LM hopo belegt hoch auf hopo stPh Adsorptionsplätze
- K33W\_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft
- K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft

Da Vp die Polarität beider Phasen benennt ist die Zuordnung von K25W\_03 gerechtfertigt. Silicagel wird zwar nicht explizit genannt, aber ist durch den Fokus der Aufgabenstellung gegeben. Daher wird K06B\_06 zugeordnet. Der Code „K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase“ ist die Verbindung zu K25W\_01 und \_03. Zugeordnet wurden folgende Codes:

- K02V\_06 Silicagel ist stationäre Phase
- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_04 Propanol hat hoch Polarität
- K06B\_06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K17Q\_02 Analyt hat mit Propanol gering k-Wert
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K25W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens

**c) Segment aus 013EIII Elutionsstärke (Zeile 153)**

„Toluol ist eine Mischung aus polar und unpolar. Es haftet teilweise an der stationären Phase und ist stärker als Hexan, aber nicht so stark wie Propanol.“

Fraglich ist bei diesem Segment, ob Vp beim Vergleich der drei Laufmittel wirklich nur Polarität oder doch Elutionskraft meint. In „Es haftet teilweise an der stationären Phase und ist stärker als [...]“ stecken die Hauptaussagen, dass Toluol an der stationären Phase haftet (in Wechselwirkung tritt) und dass [die Elutionskraft/Polarität von] Toluol stärker ist als Hexan, aber nicht so stark wie Propanol. In der letzten Hauptaussage wären beide Lesarten denkbar. Da Vp zuvor in der Concept Map Laufmittelstärke und Polarität in Zusammenhang bringt, wird der ersten Lesart, dass [die Elutionskraft von] Toluol stärker ist als Hexan, aber nicht so stark wie Propanol, der Vorzug gegeben. Somit werden Codes zur Charakterisierung der Polarität von Hexan und Propanol nicht zugeordnet.

Die Verknüpfung der Wechselwirkungen von Toluol mit der stationären Phase in der ersten Hauptaussage mit den unterschiedlichen Elutionsstärken der Laufmittel in der zweiten Hauptaussage impliziert, dass die Stärke der Wechselwirkungen der Laufmittel mit der stationären Phase in Zusammenhang mit der jeweiligen Elutionsstärke gebracht werden. Daher werden auch die Codes K05B\_05, K06B\_06 und K07B\_06 zugeordnet.

Vp spricht zwar nur von stationärer Phase, meint damit aber das Silicagel (wie in vorheriger Aufgabe von Vp benannt wurde). Als Verbindung zu den zugeordneten Codes K05B\_05, K06B\_06 und K07B\_06 benötigt. Damit ergeben sich folgende Codierungen:

- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_05 Hexan hat sehr gering WW mit Silicagel
- K05B\_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel
- K06B\_07 Propanol hat hoch Elutionskraft
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität
- K07B\_06 Toluol hat gering WW mit Silicagel
- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft "

**d) Segment aus 014 Leitfragen (Zeile 199)**

„Toluol hingegen ist durch die OH-Gruppe polar, durch den Ring aber auch unpolar. Es kann daher mit der Silicaschicht wechselwirken, durch seinen unpolaren Anteil ist diese WW aber nicht so groß u. auch mit den teilweise polaren Anteilen der Farbstoffe u. diese so mitnehmen. Er [Toluol] besitzt also Elutionskraft, nur ist diese nicht so groß wie vom sehr polaren Molekül Propanol. Der polare Anteil [von Propanol] überwiegt, auch wenn die CH<sub>3</sub>-Gruppen unpolar sind, doch ist die Alkylkette relativ kurz, sodass die Polarität der OH-Gruppe stärker ist. Daher kann es mit der Silicaschicht u. den Farbstoffen gut wechselwirken u. diese Farbstoffe mitreißen. Er besitzt eine große Elutionskraft.“

In diesem Segment wird die Polarität des Silicagels nicht explizit genannt, sodass sich in der Zuordnung des Codes K33W\_05 nicht alle Intercoder einig waren. Ein Intercoder war der Ansicht, dass Vp Silicagel als gering polar ansieht. Dem widerspricht, dass Vp die geringen Wechselwirkungen des Toluol mit dem Silicagel auf den unpolaren Anteil des Moleküls zurückführt. Ebenso wird die Polarität des Propanols und damit seine Wechselwirkungen mit dem Silicagel als hoch eingeschätzt. Somit wird Code K33W\_05 zugeordnet.

Erschwert wird die Interpretation des Segmentes durch die grammatischen (Personalpronomen Toluol ist „es“ und nicht „er“) und den fachlichen Fehler (Toluol hat eine Methylgruppe und keine OH-Gruppe am Benzolring; Propanol hat eine Propylgruppe, die sich aus nur einer Methyl- und einer Methylengruppe zusammensetzt). Die Codes K02V\_06, K06B\_01, K07B\_01, K20W\_03 und K20W\_04 sind notwendig als Verbindung zu den Codes K25W\_03, K25W\_05, K33W\_05 und K33W\_06. Zugeordnet wurden:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_02 Propanol hat Hydroxylgruppe
- K06B\_03 Propanol hat Propylgruppe
- K06B\_04 Propanol hat hoch Polarität
- K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt
- K06B\_05a Propanol hat mittel/hoch WW mit Analyt
- K06B\_06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel
- K06B\_07 Propanol hat hoch Elutionskraft
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_02 Toluol hat Benzolring
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität
- K07B\_05 Toluol hat WW mit Analyt
- K07B\_06 Toluol hat gering WW mit Silicagel
- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K08A\_03 Analyt hat unterschiedlich Polarität
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K25W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens
- K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft
- K33W\_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft
- K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft
- K35W\_03 Benzolring ist Strukturmerkmal
- K35W\_04 Benzolring hat gering Polarität
- K35W\_08 Hydroxylgruppe ist funktionelle Gruppe
- K35W\_09 Hydroxylgruppe hat sehr hoch Polarität
- K35W\_16 Kohlenwasserstoffkette hat sehr gering Polarität "

**e) Segment aus 014 Leitfragen (Zeile 357)**

„Elutionskraft der Laufmittel anhand TE beurteilen, Vergleich:  
 Hexan: schwach, keine Trennung, keine Bewegung  
 Propanol: stark, viel Bewegung, trotzdem keine Trennung  
 Toluol: mittig, hierfür aber optimal“

In diesem Segment war strittig, ob mit „mittig“ die Verteilung der Farbstoffe auf der DC-Platte nach der Trennung mit Toluol gemeint ist oder die Elutionskraft des Laufmittels. Für Letzteres spricht die Logik der Aussagen bezüglich Hexan und Propanol, dass folgende Codes zugeordnet wurden:

- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft
- K05B\_08 Hexan bewirkt keine Trennung
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_07 Propanol hat hoch Elutionskraft
- K06B\_09 Propanol bewirkt keine Trennung
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K15Q\_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie
- K15Q\_02 Analyt wandert mit Propanol bis Laufmittelfront

K15Q\_02 steckt implizit in den Stichworten „viel Bewegung, trotzdem keine Trennung“.

**f) Segment aus 043EIII Elutionsstärke (Zeile 628)**

„<Pfeil nach rechts> polar und unpolares Laufmittel <Pfeil nach rechts>  
„mittelgutes“ Lösungsmittel

<Pfeil nach rechts> Epsilon ist „normalgroß“, k ebenfalls  
=> mittlere Substanzbewegung

<Pfeil nach unten> Substanzen trennen sich optimal voneinander“

Segment bezieht sich auf Aufgabenteil zur Erklärung der Elutionsstärke von Toluol. „Mittelgutes Lösungsmittel“ impliziert geringe Elutionskraft. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität
- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K15Q\_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke
- K17Q\_03 Analyt hat mit Toluol unterschiedlich k-Wert
- K33W\_04 Parameter Epsilon ist Kenngröße für Elutionskraft
- K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft

**g) Segment aus 053EIII Elutionsstärke (Zeile 784)**

„polarity influences NPC  
 polarity high k small  
 epsilon influences k small  
 strength of solvent expressed by epsilon“

Propositionen gehören zur Concept Map, die zum Text zu erstellen war. Bei diesem Segment ist zweifelhaft, ob Vp Zusammenhang zwischen Polarität der Laufmittel und der stationären Phase sowie der damit verbundenen Elutionskraft verstanden hat. Da Vp zuvor RP richtig charakterisiert hat, kann davon ausgegangen werden, dass Vp auch NP richtig charakterisieren kann, sodass der Code K20W\_05 zugeordnet wurde. Die Zuordnung von „K23W\_03 LM hopo desorb. hoch auf hopo stat. Phase Analyt“, „K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft“ und „K33W\_09 Elutionskraft hoch bewirkt gering k-Wert“ standen zur Diskussion, weil der Zusammenhang nur implizit in den Aussagen enthalten ist. Das Codesystem wurde daher um den Code „K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft“ ergänzt. Damit können Aussagen codiert werden, die den Zusammenhang wie in Code K33W\_06 nicht explizit enthalten. Abschließend wurden folgende Codes zugeordnet:

- K20W\_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)
- K33W\_02 elutrope Reihe ordnet nach Elutionskraft Laufmittel
- K33W\_03 elutrope Reihe ordnet nach Polarität Laufmittel
- K33W\_04 Parameter Epsilon ist Kenngröße für Elutionskraft
- K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft
- K33W\_09 Elutionskraft hoch bewirkt gering k-Wert

**h) Segment aus 063EIII Elutionsstärke (Zeile 912)**

„Eigenschaft: Polarität beeinflusst Elutionskraft Epsilon von Lösungsmitteln  
 - hat Einfluss auf Retentionsfaktor k  
 - abhängig von gelöstem Stoff“

Die Codes K02V\_1 und K13Q\_02 sind implizit durch die Nennung von k gegeben. Die Aussage „abhängig von gelöstem Stoff“ deutet Struktur-Eigenschaftsbeziehungen des Analyten an, aber dazu hätte der Zusammenhang konkretisiert werden müssen, um die „Codes K29W\_01 Analyt/Farbstoffgemisch hat Eigenschaft“, „K29W\_03 Analyt hat Strukturmerkmal“, „K29W\_04 Strukturmerkmal Analyt begründet Eigenschaft Analyt“ zuzuordnen. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_02 Verhaltensbedingung bestimmt Laufstrecke Analyt
- K33W\_03 elutrope Reihe ordnet nach Polarität Laufmittel
- K33W\_04 Parameter Epsilon ist Kenngröße für Elutionskraft
- K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft



**i) Segment aus 064 Leitfragen (Zeile 917)**

„Betrachte starke und schwache WW des LM mit den Farbstoff-Molekülen. Bei großem Epsilon herrschen starke WW (Dipol-Dipol-WW) vor, bei kleinem Epsilon schwache (z. B. H-Brückenbindung) vor. Bei Hexan gibt es keine Wechselwirkungen, darum ist Epsilon sehr klein.“

Im Segment wird die Erklärung der Elutionskraft auf Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt beschränkt. Entscheidend sind aber die Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und stationärer Phase, dass die ursprünglich zugeordneten Codes „K33W\_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft“ und „K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft“ wieder entfernt wurden.

Der Code K22W\_03 wurde nicht zugeordnet, da der Zusammenhang zwischen Polarität und Wechselwirkungen nicht explizit hergestellt wird. Es werden nur Aussagen zu Wechselwirkungen und Strukturmerkmalen miteinander verbunden. Segment wurde daher mit folgenden Codes standardisiert:

- K05B\_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft
- K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel
- K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel
- K33W\_04 Parameter Epsilon ist Kenngröße für Elutionskraft
- K34W\_08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW
- K36W\_01 Dipol-Dipol-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K36W\_02 Dipol-Dipol-Kräfte ist hoch Wechselwirkung
- K37W\_01 H-Brückenbindung ist zwischenmolek. Wechselwirkung

**j) Segment aus 064 Leitfragen (Zeile 927)**

„Die Elutionskraft gibt an, wie gut LM andere Stoffe lösen kann. Daher ist leicht zu erkennen, dass Epsilon Hexan < Epsilon Toluol < Epsilon Propanol für unseren Anwendungsfall gilt (Desto größer Epsilon LM, desto höher steigt der Stoff in der DC)“

Da Vp zuvor die Erklärung der Elutionskraft auf Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt beschränkt hat, wurden auch hier die ursprünglich zugeordneten Codes „K33W\_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft“ und „K33W\_06 Laufmittel hopo hat auf hopo stPh hoch Elutionskraft“ wieder entfernt. Genauso wurde mit den Codes „K24W\_02 LM gepo bewirkt auf hopo stPh gering Laufstr. Analyt“ und „K24W\_03 LM hopo bewirkt auf hopo stPh hoch Laufstr. Analyt“ verfahren, weil der Zusammenhang zwischen Polarität und WW nicht hergestellt wird. Segment wurde daher mit folgenden Codes standardisiert:

- K05B\_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft
- K06B\_07 Propanol hat hoch Elutionskraft
- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K33W\_04 Parameter Epsilon ist Kenngröße für Elutionskraft

- K33W\_11 Elutionskraft hoch LM desorbiert hoch Analyt
- K33W\_12 Elutionskraft gering LM desorbiert gering Analyt

**k) Segment aus 074 Leitfragen (Zeile 1227)**

„Komponenten des chromatografischen Systems besitzen alle Pi-Systeme

<gewinkelter Pfeil> können Pi-Pi-WW ausbilden

<Pfeil nach rechts> vor allem nur mit Toluol möglich, da Toluol ebenfalls Pi-System besitzt.

<Pfeil nach rechts> Toluol allerdings unpolar

<Folgepfeil> wechselwirkt kaum mit stationärer Phase

<Folgepfeil> Farbstoffe werden mitgerissen.

<Pfeil nach rechts> WW zw. Farbstoffen und stationärer Phase bleibt dennoch etwas bestehen

<Folgepfeil> es kommt zur Auftrennung

=> Toluol mit mittlerer Elutionskraft“

„Toluol allerdings unpolar <Folgepfeil> wechselwirkt kaum mit stationärer Phase“ wurde mit den Codes K07B\_01, K07B\_04, K07B\_06, K20W\_04 und K25W\_05 standardisiert. Silicagel wie im Code K07B\_06 wird im Segment zwar nicht explizit genannt, geht aber aus der Aufgabenstellung hervor. Da die Polarität der stationären Phase im folgenden Segment des Aufgabenkomplexes (s. Kap. 19.7.2.5, Abschnitt f) f., S. 468) benannt wird, ist die Zuordnung des Codes K25W\_05 gerechtfertigt.

Die Abstufung der Elutionskraft der drei Laufmittel Hexan, Toluol und Propanol ist im Codesystem mit sehr gering, gering und hoch abgestuft, dass die Bezeichnung mittlere Elutionskraft von Toluol gleichbedeutend mit „gering Elutionskraft“ des Codes K07B\_07 ist. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_02 Toluol hat Benzolring
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität
- K07B\_05 Toluol hat WW mit Analyt
- K07B\_06 Toluol hat gering WW mit Silicagel
- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K09A\_01 Buttergelb ist Analyt
- K09A\_02 Indophenol ist Analyt
- K09A\_03 Sudanrot G ist Analyt
- K10A\_03 Buttergelb hat Benzolring
- K11A\_02 Indophenol hat Benzolring
- K12A\_03 Sudanrot G hat Benzolring

- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel
- K21W\_08 Strukturmerkmal LM begründet WW m. (Ad)Sorbens
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K25W\_05 LM gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel
- K29W\_06 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit (Ad)Sorbens
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K34W\_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen
- K38W\_01 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K38W\_04 fkt. Gruppe mit Pi-Elekt. bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte
- K38W\_05 Benzolring bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte

**I) Segment aus 074 Leitfragen (Zeile 1236)**

„Toluol hohe Elutionskraft, da Beobachtung: Substanzen werden mitgerissen, verbleiben nicht an Startlinie

ABER: auch Auftrennung des Gemisches“

Die Einschätzung der Elutionskraft ist relativ zu den Aussagen bezüglich der Auftrennung der Substanzen zu sehen. Die Merkmalsausprägung „hohe“ für die Elutionskraft von Toluol wird relativiert, dass sie zwar hoch ist, weil die Substanzen nicht an der Startlinie verbleiben, aber Analyten auch aufgetrennt werden. Da Vp die Elutionskraft von Hexan mit „kein“ und von Propanol mit „zu hoch“ kennzeichnet, ist die Zuordnung des Codes K07B\_07 gerechtfertigt. Die Abstufung der Elutionskraft der drei Laufmittel Hexan, Toluol und Propanol ist im Codesystem mit sehr gering, gering und hoch abgestuft. Die Aussagen, dass Substanzen nicht an Startlinie verbleiben und das Gemisch aufgetrennt wird, sind im Code K15Q\_03 enthalten. Auf diese Weise wurde der Aussagegehalt der verneinenden Aussage standardisiert. Insgesamt wurden folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_05 Trennung von Analyt/Farbstoffgemisch
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K15Q\_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke
- K21W\_01 Laufmittel transportiert Moleküle (Analyt/Lösungsmittel)

**m) Segment aus 103EIII Elutionsstärke (Zeile 1856)**

„Toluol ist im Vergleich zu Hexan polarer, hat also eine höhere Lösungsmittelstärke.“

Dies wurde daraus sichtbar, dass die Stoffe durch Toluol gelöst und getrennt wurden.“

„K02V\_13 Analyt/FG/V ist gelöst in Lösungsmittel“ und „K02V\_14 Toluol ist Lösungsmittel“ wurden nicht zugeordnet, da hier Toluol als Laufmittel und nicht als Lösungsmittel charakterisiert wird. K23W\_01 bezieht sich auf „dass die Stoffe durch Toluol gelöst [...] wurden“. Vp spricht hier vom Lösen des an der stationären Phase adsorbierten Analyten. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K05B\_Hexan\K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_Hexan\K05B\_03 Hexan hat sehr gering Polarität
- K05B\_Hexan\K05B\_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität
- K07B\_05b Analyt hat in Toluol mittel Löslichkeit
- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K23W\_01 Laufmittel desorbiert Analyt
- K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft

**n) Segment aus 104 Leitfragen (Zeile 1900)**

„Propanol konnte die Stoffe zwar vollständig lösen, aber keine Trennung erzielt werden.“

Ähnlich wie im Segment (s. Kap. 19.7.2.4, Abschnitt m), S. 463) bezieht sich K23W\_01 auf „Propanol konnte die Stoffe zwar vollständig lösen“. Vp spricht vom Lösen des an der stationären Phase adsorbierten Analyten. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_09 Propanol bewirkt keine Trennung
- K23W\_01 Laufmittel desorbiert Analyt

**o) Segment aus 113EIII Elutionsstärke (Zeile 2092)**

„Hexan ist absolut unpolar, ist also ein sehr schwaches Laufmittel  
<Pfeil nach rechts> Epsilon ist klein

<Pfeil nach rechts> k ist [Wort fehlt], also werden Komponenten zurückgehalten“

Diskutiert wurde die Zuordnung des Codes „K33W\_05 Laufmittel gepo hat auf hopo stPh gering Elutionskraft“, aber die Polarität der stationären Phase wird nicht explizit genannt. Propositionen aus der Concept Map zum Text 3EII, deuten auch eher darauf hin, dass Vp bei NPC von einer unpolaren stationären Phase ausgeht.

Propositionen aus Concept Map EIII:

- Kolonne bedingt Zurückhaltung
- Kolonne hängt zusammen mit polar
- Kolonne hat Polarität (stPh)

Propositionen aus Concept Map EII:

- NPC normal phase - chromatography uses mobile phase
- NPC normal phase - chromatography uses stationary phase
- stationary phase which is less polar

Um die Kenngröße Epsilon und den Zusammenhang zwischen Polarität des Laufmittels und der Elutionskraft abzubilden, wurden die Codes K33W\_03, K33W\_04a und K33W\_04 zugeordnet. Da k-Wert bei den Laufmitteln Propanol und Toluol richtig eingeschätzt wurde, ist anzunehmen, dass Vp den k-Wert auch bei Hexan richtig einschätzt. Das fehlende Wort ist somit „hoch“. Folgende Codes decken somit die Inhalte der Aussagen vollständig ab:

- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_03 Hexan hat sehr gering Polarität
- K05B\_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft
- K15Q\_01 Analyt bleibt mit Hexan an Startlinie
- K17Q\_01 Analyt hat mit Hexan hoch k-Wert
- K33W\_03 eluotrope Reihe ordnet nach Polarität Laufmittel
- K33W\_04a Laufmittel hat Elutionskraft
- K33W\_04 Parameter Epsilon ist Kenngröße für Elutionskraft
- K33W\_10 Elutionskraft gering bewirkt hoch k-Wert

#### **19.7.2.5 Betrachtungen der unterschiedlichen zwischenmolekularen Wechselwirkungen**

##### **a) Segment aus 014 Leitfragen (Zeile 219)**

„Wasserstoffbrückenbindungen sind eher starke Bindungen, van der Waals-WW gehören zu den schwächeren WW und man benötigt nicht so viel Energie, um diese zu überwinden.

Je polarer das ganze Molekül, umso stärker wird auch die Wasserstoffbrückenbindung u. umso mehr Energie muss aufgewendet werden, um diese zu überwinden u. z.B. Propanol von der Silicatoberfläche zu entfernen.“

Durch die Formulierung „Wasserstoffbrückenbindungen sind eher starke Bindungen“ ist nicht eindeutig, ob Vp Wasserstoffbrückenbindungen als zwischenmolekulare Wechselwirkung oder chemische Bindung auffasst. Da aber in den anschließenden Aussagen von Wechselwirkungen die Rede ist, wird K37W\_01 zugeordnet. Der Code K06B\_01 wird als Verbindung zu Code K25W\_03 benötigt. Zugeordnet wurden:

- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_04 Propanol hat hoch Polarität
- K06B\_06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche
- K20W\_13 Strukturmerkmal (Ad)Sorbens begründet WW m. LM
- K21W\_08 Strukturmerkmal LM begründet WW m. (Ad)Sorbens
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K25W\_03 LM hoch polar hat hoch WW m. hoch polar (Ad)Sorbens
- K34W\_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)
- K34W\_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW
- K37W\_01 H-Brückenbindung ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K37W\_02 H-Brückenbindung ist sehr hoch Wechselwirkung
- K37W\_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brückenbindung
- K39W\_01 van der Waals-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K39W\_03 van der Waals-Kräfte ist sehr gering Wechselwirkung

**b) Segment aus 034 Leitfragen (Zeile 509)**

„Pi-Pi-Wechselwirkungen

z. B.

<Skizze: Benzolring von Phenol wechselwirkt mit Benzolring von Indophenol>

Dipol-Dipol-Wechselwirkungen

z. B.

<Skizze: OH-Gruppe von Indophenol wechselwirkt mit OH-Gruppe Phenol>

Die Pi-Pi-Wechselwirkungen sind stärker als Dipol-Dipol-Wechselwirkungen“

Diskutiert wurde die Zuordnung der Codes „K36W\_02 Dipol-Dipol-Kräfte ist hoch Wechselwirkung“ und „K38W\_03 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist mittel Wechselwirkung“ Beide Codes wurden wieder entfernt, weil Vp fälschlicherweise Pi-Pi-WW stärker als Dipol-Dipol-WW einschätzt. Zugeordnet wurden:

- K07B\_02 Toluol hat Benzolring
- K11A\_02 Indophenol hat Benzolring
- K11A\_03 Indophenol hat Hydroxylgruppe

- K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel
- K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel
- K34W\_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)
- K34W\_08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW
- K36W\_01 Dipol-Dipol-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K36W\_02 Dipol-Dipol-Kräfte ist hoch Wechselwirkung
- K36W\_04 Hydroxylgruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte
- K38W\_01 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K38W\_03 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist mittel Wechselwirkung
- K38W\_05 Benzolring bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte

**c) Segment aus 044 Leitfragen (Zeile 660)**

„Das Laufmittel Hexan geht mit den Stoffen nur sehr schwache H<sub>2</sub>-Brückenbindungen ein, sodass die Elutionskraft sehr gering ist.

Das Laufmittel Toluol weist ein aromatisches System auf, welches mit den Stoffen Pi-Pi-Bindungen bildet, wodurch sich die Elutionskraft (im Vergleich zum Hexan) erhöht.

Das Laufmittel Propanol besitzt ein Dipol-Moment, welches mit den Dipol-Momenten der Stoffe wechselwirkt.

Diese starke Wechselwirkung sorgt für eine sehr hohe Elutionskraft.“

Aromatisches System impliziert Benzolring, dass Code „K07B\_02 Toluol hat Benzolring“ zugeordnet wird.

Mit Stoffen ist voraussichtlich Analyt gemeint. Die Begründungszusammenhänge zur Erklärung der Unterschiede in der Elutionskraft der Laufmittel sind fehlerhaft. Entscheidend für die Elutionskraft ist nicht, wie stark das LM mit dem Analyten, sondern mit der stationären Phase wechselwirken kann. Je stärker das Laufmittel mit der stationären Phase wechselwirkt, desto weniger kann es von der stationären Phase durch den Analyten verdrängt werden kann. Dadurch wird der Analyt von der stationären Phase nicht zurückgehalten und vom Laufmittel bis zur Laufmittelfront transportiert wird. Außerdem bildet Hexan keine H-Brückenbindung aus. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_04 Hexan hat WW mit Analyt
- K05B\_04a Hexan hat ge/keine WW mit Analyt
- K05B\_06 Hexan hat sehr gering Elutionskraft
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_04 Propanol hat hoch Polarität
- K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt
- K06B\_05a Propanol hat mittel/hoch WW mit Analyt
- K06B\_07 Propanol hat hoch Elutionskraft
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_02 Toluol hat Benzolring

- K07B\_07 Toluol hat gering Elutionskraft
- K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel
- K34W\_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)
- K34W\_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_08 Strukturmerkmal begründet Stärke der WW
- K36W\_02 Dipol-Dipol-Kräfte ist hoch Wechselwirkung
- K36W\_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte
- K38W\_04 StrM mit Pi-Elekt. bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte
- K38W\_05 Benzolring bildet aus Pi-Pi-Transfer-Kräfte

**d) Segment aus 044 Leitfragen (Zeile 684)**

„Laufmittel

1) Hexan + Stoffgemisch

[Strukturformel:  $\text{Pentyl-CH}_3 + \text{HO-Benzolring-n-Benzolring=O}$ ]

$\text{CH}_3$  <Doppelpfeil:  $\text{H}_2$ -Brückenbindung>N“

Da Iminogruppe Stickstoff (N) enthält, wurde Code „K11A\_04 Indophenol hat Iminogruppe“ zugeordnet. Falsch ist die letzte Zeile des Segmentes, da keine H-Brückenbindung zu einer  $\text{CH}_3$ -Gruppe ausgebildet werden kann. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K05B\_01 Hexan ist Laufmittel
- K05B\_02 Hexan ist Kohlenwasserstoffkette
- K11A\_02 Indophenol hat Benzolring
- K11A\_03 Indophenol hat Hydroxylgruppe
- K11A\_04 Indophenol hat Iminogruppe

**e) Segment aus 074 Leitfragen (Zeile 1204)**

„1) Wechselwirkungen in Dispersionen

Lösungsmittelatome bzw. Atome des gelösten Stoffes sind von Elektronen umgeben

unsymmetrische Verteilung der Elektronen um Atome des Lösungsmittels führt zur Bewegung der Elektronen des gelösten Atoms entlang des „elektrischen Feldes“

<Skizze Fig. 2.8a>“

„Wechselwirkungen in Dispersionen“ ist zwar eine falsche Übersetzung von „dispersion interaction“, aber die Erklärung passt zu van der Waals-Kräften, dass folgende Codes zugeordnet wurden:

- K39W\_01 van der Waals-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K39W\_02 van der Waals-Kräfte ist ind-Dipol Wechselwirkung



**f) Segment aus 074 Leitfragen (Zeile 1187)**

„Toluol ist unpolar, stationäre Phase polar  
 Pi-Pi-WW sind etwas schwächer als Wasserstoffbrückenbindungen  
 <gewinkelter Pfeil> folglich: der Farbstoff, der mehr Pi-Pi-WW mit  
 Toluol eingeht als Wasserstoffbrückenbindungen mit stationärer Phase,  
 wird am weitesten mitgerissen und ist weniger polar

Buttergelb wird am weitesten mitgerissen: am wenigsten polar  
 Sudanrot G am zweit weitesten: Polarität zwischen Buttergelb und Indo-  
 phenol  
 Indophenol am wenigsten mitgerissen: WW mit stationärer (polarer)  
 Phase größer als über Pi-Systeme mit Toluol: höchste Polarität der drei  
 Stoffe“

Da nur allgemein von der stationären Phase die Rede ist, werden die Codes „K04B\_02 Silicagel hat sehr hoch Polarität“ und „K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens“ nicht zugeordnet. Die hohe Polarität der stationären Phase ist im Code K30W\_03 enthalten. Die Einordnung des Farbstoffes als gering polar wird mit K08A\_01 codiert. Die Unterschiede in der Polarität der Analyten, die von Vp herausgestellt werden, sind mit den Codes K08A\_03, K10A\_05, K11A\_06 I und K12A\_05 standardisiert worden.

Die Unterscheidung der Wechselwirkungsarten der mobilen und stationären Phase und deren unterschiedliche Stärke wird mit den Codes K22W\_04 und K30W\_03 standardisiert. Dazu ist es erforderlich, die Codes K01V\_06 und K07B\_01 hinzuzufügen, die zwar nur implizit in der Aussage enthalten, aber für den Bezug der in dem Code K22W\_04 betrachteten Begriffe „Laufmittel“ und „Analyt“ erforderlich sind. Vp geht zuvor darauf ein, dass Komponenten des chromatografischen Systems und Toluol Pi-Systeme besitzen, was darauf schließen lässt, dass ihr der Zusammenhang zwischen geringer Polarität der Analyten und des Laufmittels Toluol und den weniger starken Pi-Pi-Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt klar ist. Die Codes „K10A\_03 Buttergelb hat Benzolring“, „K11A\_02 Indophenol hat Benzolring“, „K12A\_03 Sudanrot G hat Benzolring“ werden hier nicht zugeordnet, sondern nur in dem Segment, in dem Strukturmerkmale der Komponenten benannt werden (s. Kap. 19.7.2.4, Abschnitt k, S. 461). Die Codes „K09A\_01 Buttergelb ist Analyt“, „K09A\_02 Indophenol ist Analyt“, „K09A\_03 Sudanrot G ist Analyt“ werden zugeordnet, da die Analyten explizit genannt werden.

Schwieriger ist die ausreichende Codierung der Wasserstoffbrückenbindung mit der stationären Phase. Die Vp geht in diesem letzten Aufgabenkomplex, aus dem das Segment stammt, überhaupt nicht auf die strukturellen Besonderheiten des Silicagels ein. Wasserstoffbrückenbindungen erklärte sie zuvor an Wassermolekülen. Die Tatsache, dass sie von Wasserstoffbrückenbindungen mit der stationären Phase spricht, lässt darauf schließen, dass sie dabei an OH-Gruppen der stationären Phase denkt, wie sie auch im Wassermolekül enthalten sind. Dennoch wird von der Codierung mit den Codes „K37W\_04 Hydroxylgrup-

pe bildet aus H-Brückenbindung“, „K04B\_01 Silicagel hat Hydroxylgruppe“, „K11A\_03 Indophenol hat Hydroxylgruppe“ und „K12A\_04 Sudanrot G hat Hydroxylgruppe“ abgesehen. Folgende Codes wurden demnach zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität
- K07B\_05 Toluol hat WW mit Analyt
- K08A\_01 Farbstoffgemisch hat lipophil Löslichkeit
- K08A\_03 Analyt hat unterschiedlich Polarität
- K09A\_01 Buttergelb ist Analyt
- K09A\_02 Indophenol ist Analyt
- K09A\_03 Sudanrot G ist Analyt
- K10A\_05 Buttergelb hat gering Polarität
- K11A\_06 Indophenol hat hoch Polarität
- K12A\_05 Sudanrot G hat mittel Polarität
- K15Q\_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke
- K15Q\_04 Buttergelb wandert mit Toluol hoch Laufstrecke
- K15Q\_05 Indophenol wandert mit Toluol gering Laufstrecke
- K15Q\_06 Sudanrot G wandert mit Toluol mittel Laufstrecke
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K20W\_12 Strukturmerkmal (Ad)Sorbens begründet WW m. Analyt
- K20W\_13 Strukturmerkmal (Ad)Sorbens begründet WW m. LM
- K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel
- K21W\_08 Strukturmerkmal LM begründet WW m. (Ad)Sorbens
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K22W\_04 LM gering polar hat hoch WW m. gering polar Analyt
- K22W\_05 LM gering polar hat gering WW m. hoch polar Analyt
- K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel
- K29W\_06 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit (Ad)Sorbens
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K30W\_02 Analyt hopo hat hoch WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K30W\_03 Analyt gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K32W\_03 Analyt gering adsorb. hat hoch Laufstrecke
- K32W\_05 Analyt hoch adsorbiert hat gering Laufstrecke
- K34W\_04 Strukturmerkmal begründet Eigenschaft d. Teilchen
- K34W\_05 Polarität ist Eigenschaft d. Teilchen
- K37W\_02 H-Brückenbindung ist sehr hoch Wechselwirkung
- K38W\_03 Pi-Pi-Transfer-Kräfte ist mittel Wechselwirkung

**g) Segment aus 084 Leitfragen (Zeile 1480)**

„3) Dipol-Dipol

<Strukturformel Methan mit Delta Minus am C-Atom <Pfeil nach rechts> Dipol>

<Strukturformel Alkansäure mit Delta Plus am C-Atom <Pfeil nach rechts> Dipol>“

Durch die fachlichen Fehler wird die Codierung dieses Segmentes auf den Code K36W\_01 beschränkt. fachl. Da die Ausbildung von Dipol-Dipol-Kräften nicht ist so klar auf OH-Gruppen bezogen wird, wurde der ursprünglich zugeordnete Code „K36W\_04 Hydroxylgruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte“ wieder entfernt. Bei Methan spielen nur induzierte Dipol-Kräfte eine Rolle, dass die Einordnung unter Dipol-Dipol-Kräften fachlich falsch ist. Einziger zugeordneter Code:

- K36W\_01 Dipol-Dipol-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung

**h) Segment aus 104 Leitfragen (Zeile 1875)**

„Bei Indophenol kommt es über mesomere Grenzstrukturen zur neg. Partialladung am O.

Deshalb kommt es mind. zu H-Brücken-Bind. am Silica und dem Propanol.

(Auch elektronenziehender Effekt des Sauerstoffs)“

Stärke der Wechselwirkungen wird zwar nicht explizit genannt, aber die Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen impliziert das. „Mesomere Grenzstrukturen“ sowie „elektronenziehender Effekt des Sauerstoffs“ wurden nicht im Codesystem berücksichtigt. Aussagen zur Bildung der Wasserstoffbrückenbindung an den jeweiligen OH-Gruppen des Silcagels und des Propanols wurden von Vp zuvor benannt und entsprechend codiert. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt
- K06B\_05a Propanol hat mittel/hoch WW mit Analyt
- K09A\_02 Indophenol ist Analyt
- K11A\_05 Indophenol hat Ketogruppe
- K11A\_07 Indophenol hat hoch WW mit Silicagel
- K11A\_09 Indophenol hat hoch WW mit Propanol
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K29W\_03 Analyt hat Strukturmerkmal
- K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel
- K29W\_06 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit (Ad)Sorbens
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K34W\_02 funktionelle Gruppe ist Strukturmerkmal (StrM)
- K35W\_10 Ketogruppe ist funktionelle Gruppe

- K37W\_01 H-Brückenbindung ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K37W\_05 Ketogruppe bildet aus H-Brückenbindung

**i) Segment aus 104 Leitfragen (Zeile 1883)**

„Indophenol bildet neben den Wasserstoffbrückenbindungen auch am doppelt gebundenen Sauerstoff eine negative Partialladung aus, die z. B. mit dem Wasserstoff der stat. Phase bzw. OH-Gruppen eine WW eingeht.“

Dipol-Dipol-WW werden zwar nicht explizit genannt, aber wegen der Ausführungen zu negativen Partialladungen und dem Verweis „neben den Wasserstoffbrückenbindungen“ ist ableitbar, dass von Dipol-Dipol-Kräften die Rede ist. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K04B\_01 Silicagel hat Hydroxylgruppe
- K11A\_05 Indophenol hat Ketogruppe
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K36W\_04 Hydroxylgruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte
- K36W\_05 Ketogruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte

**j) Segment aus 104 Leitfragen (Zeile 1894)**

„Propan auf der anderen Seite bildet Wasserstoffbrücken zu den OH-Funktionalitäten der stat. Phase aus.“

Vp hat sich verschrieben und meint Propanol. Folgende Codes wurden zugeordnet:

- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K04B\_01 Silicagel hat Hydroxylgruppe
- K06B\_02 Propanol hat Hydroxylgruppe
- K06B\_06 Propanol hat sehr hoch WW mit Silicagel
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K37W\_01 H-Brückenbindung ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K37W\_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brückenbindung

**k) Segment aus 121a Concept Map (Zeilen 2220, 2248, 2261)**

„Buttergelb ist organische Verbindung mit Stickstoff  
Indophenol ist organische Verbindung mit Stickstoff  
Sudanrot G ist organische Verbindung mit Stickstoff“

„Organische Verbindung“ ist nicht im Codesystem berücksichtigt. Da Stickstoff als Bestandteil der Analyten Buttergelb, Indophenol und Sudanrot G genannt wurde, wurden folgende Codes zugeordnet:

- K10A\_02 Buttergelb hat Azogruppe
- K10A\_04 Buttergelb hat Dimethylaminogruppe

- K11A\_04 Indophenol hat Iminogruppe
- K12A\_02 Sudanrot G hat Azogruppe

**l) Segment aus 121a Concept Map (Zeile 2255)**

„Propanol (Strukturformel) hat starke WW mit Buttergelb  
 Propanol (Strukturformel) hat starke WW mit Indophenol  
 Propanol (Strukturformel) hat starke WW mit Sudanrot G“

Da Stärke der Wechselwirkungen des Laufmittels mit den jeweiligen Analyten nicht differenziert wird, werden nur folgende Codes zugeordnet:

- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_05 Propanol hat WW mit Analyt
- K06B\_05a Propanol hat mittel/hoch WW mit Analyt
- K09A\_01 Buttergelb ist Analyt
- K09A\_02 Indophenol ist Analyt
- K09A\_03 Sudanrot G ist Analyt
- K21W\_05 Laufmittel hat Strukturmerkmal
- K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K34W\_01 Strukturformel zeigt Strukturmerkmal (StrM)

**m) Segment aus 121b Zusammenhänge (Zeile 2280)**

„2) Toluol ist auch unpolar, jedoch aromatisch und es hat weniger Oberfläche, sodass es sich schneller auf dem Silicagel der Platte bewegt (Laufzeit mittel: 6 cm in 660 s).

Mit Buttergelb hat Toluol die stärksten WW, mit Sudanrot G mittlere WW und mit Indophenol nur wenige WW.

Die 3 Farbstoffe wurden somit unterschiedlich weit auf dem Silicagel bewegt, was einer optimalen Trennung entspricht.“

Die Codes „K10A\_09 Buttergelb hat mittel WW mit Toluol“, „K11A\_10 Indophenol hat mittel WW mit Toluol“ und „K12A\_09 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Toluol“ wurden nicht zugeordnet, weil die Wechselwirkungen der Analyten mit Toluol nahezu gleich sind. Die Unterschiede in den Laufstrecken der Analyten beruhen auf den unterschiedlich starken Wechselwirkungen der Analyten mit der stationären Phase. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K02V\_02 DC-Platte ist Arbeitsmittel
- K02V\_05 DC-Platte enthält Silicagel
- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_02 Toluol hat Benzolring

- K07B\_04 Toluol hat gering Polarität
- K07B\_08 Toluol hat mittel Laufgeschwindigkeit
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K09A\_01 Buttergelb ist Analyt
- K09A\_02 Indophenol ist Analyt
- K09A\_03 Sudanrot G ist Analyt
- K10A\_09 Buttergelb hat mittel WW mit Toluol
- K11A\_10 Indophenol hat mittel WW mit Toluol
- K12A\_09 Sudanrot G/Vergl.-subst hat mittel WW mit Toluol
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K13Q\_04 Laufstrecke Analyt unterschiedl. ist optimal Trennung
- K15Q\_03 Analyt wandert mit Toluol untersch. Laufstrecke
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K23W\_01 Laufmittel desorbiert Analyt
- K29W\_07 Wechselwirkung Analyt unterschiedlich bestimmt Trennung

**n) Segment aus 124 Leitfragen (Zeile 2524)**

„Dipol-Dipol-WW

Problem: Dipolmoment?

Delta plus / Delta Minus

C = 2,5

N = 3,0

O = 3,5

[Skizze: Strukturformel Indophenol mit Delta Minus an O-Atom u. N-Atom und Delta plus an C-Atomen zur Ketogruppe u. zu der Imingruppe sowie am H-Atom der OH-Gruppe; Imingruppe ist polar;

OH-Gruppe ist sehr polar

H-Brückenbindung vom N-Atom zum H-Atom der Si-OH-Gruppe

H-Brückenbindung vom O-Atom der OH-Gruppe zum H-Atom der Si-OH-Gruppe

Strukturformel Buttergelb mit Delta Minus an N-Atom der Dimethylaminogruppe

Dimethylaminogruppe ist polar

H-Brückenbindung vom N-Atom zum H-Atom der Si-OH-Gruppe

Strukturformel Sudanrot G Delta Minus an O-Atom

OH-Gruppe ist sehr polar

Delta Minus an O-Atom

H-Brückenbindung vom O-Atom der OH-Gruppe zum H-Atom der Si-OH-Gruppe]“

Elektronegativitätswerte wurden im Codesystem nicht berücksichtigt.

Der zuvor zugeordnete Code „K11A\_07 Indophenol hat hoch WW mit Silicagel“ wurde wieder entfernt, weil die Stärke der Wechselwirkungen nicht explizit genannt werden. Folgende Codes wurden zugeordnet:

- K04B\_01 Silicagel hat Hydroxylgruppe
- K04B\_02 Silicagel hat sehr hoch Polarität
- K09A\_01 Buttergelb ist Analyt
- K09A\_02 Indophenol ist Analyt
- K09A\_03 Sudanrot G ist Analyt
- K10A\_02 Buttergelb hat Azogruppe
- K10A\_04 Buttergelb hat Dimethylaminogruppe
- K10A\_05 Buttergelb hat gering Polarität
- K11A\_03 Indophenol hat Hydroxylgruppe
- K11A\_04 Indophenol hat Iminogruppe
- K11A\_05 Indophenol hat Ketogruppe
- K11A\_06 Indophenol hat hoch Polarität
- K12A\_04 Sudanrot G hat Hydroxylgruppe
- K12A\_05 Sudanrot G hat mittel Polarität
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K36W\_01 Dipol-Dipol-Kräfte ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K36W\_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte
- K36W\_05 Ketogruppe bildet aus Dipol-Dipol-Kräfte
- K37W\_01 H-Brückenbindung ist zwischenmolek. Wechselwirkung
- K37W\_03 funkt. Gruppe hoch polar bildet aus H-Brückenbindung
- K37W\_04 Hydroxylgruppe bildet aus H-Brückenbindung
- K37W\_05 Ketogruppe bildet aus H-Brückenbindung
- K37W\_06 Iminogruppe bildet aus H-Brückenbindung

#### 19.7.2.6 Erklärung Wirkprinzip

##### a) Segment aus 063EI Retentionsfaktor (Zeilen 878, 879, 881, 888, 892)

„Retention ist Austauschprozess von adsorbierten Molekülen gegen Analyt-Molekül  
Austauschprozess an Silica-Oberfläche  
Silica-Oberfläche ist stationäre Phase  
Silica-Oberfläche hat Eigenschaft Polarität  
Silica-Oberfläche adsorbiert Lösemittel-Moleküle  
Silica-Oberfläche adsorbiert Analyt-Molekül  
Lösemittel-Moleküle macht Platz für Analyt-Molekül  
Lösemittel-Moleküle hat Eigenschaft: leicht haftend  
Lösemittel-Moleküle hat Eigenschaft: Polarität  
Lösemittel-Moleküle enthalten in mobiler Phase  
Analyt-Molekül enthalten in mobiler Phase  
Analyt-Molekül hat Eigenschaft: Polarität“

Diese Propositionen stammen aus der Concept Map, die im ersten Teil der Aufgabe 3EI zu erstellen war. „Lösemittel-Moleküle hat Eigenschaft: leicht haftend“ impliziert Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und stationärer Phase (Adsorbens), dass Code K25W\_01 zugeordnet wurde. „Lösemittel-Moleküle macht Platz für Analyt-Molekül“ bringt das Konkurrenzverhalten zwischen Laufmittel und Analyt zum Ausdruck und wird mit den Codes K27W\_01 und K31W\_02 codiert. K02V\_06 wird nicht zugeordnet, weil es in der Concept Map nicht konkret um DC geht. Silica-Oberfläche ist ausreichend codiert mit K20W\_03, \_04 und \_07. „Lösemittelmolekül enthalten in mobiler Phase“ bedeutet streng genommen, dass Lösemittel und LM nicht identisch sind. Dennoch wurde „K21W\_01 Laufmittel transportiert Moleküle (Analyt/Lösungsmittel)“ zugeordnet, da Austauschprozesse zwischen stationärer und mobiler Phase benannt werden. Insgesamt wurden folgende Codes zugeordnet:

- K02V\_06 Silicagel ist stationäre Phase
- K02V\_13 Analyt/FG/V ist gelöst in Lösungsmittel
- K04B\_02 Silicagel hat sehr hoch Polarität
- K04B\_03 Laufmittel hat unterschiedlich Polarität
- K08A\_03 Analyt hat unterschiedlich Polarität
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K20W\_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche
- K21W\_01 Laufmittel transportiert Moleküle (Analyt/Lösungsmittel)
- K25W\_01 Laufmittel hat WW mit (Ad)Sorbens
- K26W\_01 Laufmittel belegt Adsorptionsplätze
- K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K31W\_01 Analyt belegt Adsorptionsplätze
- K31W\_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze

**b) Segment aus 064 Leitfragen (Zeile 932)**

„Je polarer ein Farbstoff-Molekül ist, desto geringer ist die Laufhöhe: starke WW zwischen gelösten Farbstoff-Molekülen und der polaren Silica-Oberfläche verursachen einen „zeitigen“ Austausch von LM-Molekülen auf der Silica-Oberfläche.“

Zur Standardisierung „'zeitigen' Austausch von LM-Molekülen auf der Silica-Oberfläche“ wurden die Codes K27W\_01 und K31W\_02 zugeordnet. Die Aussagen des Segmentes sind in der verkürzten Form missverständlich. Bestehen starke Wechselwirkungen zwischen Analyt und stationärer Phase, dann ist der Analyt adsorbiert und hat bereits Laufmittelmoleküle von der Silicageloberfläche verdrängt. Um die geringe Laufhöhe des Analyten vollständig zu erklären, hätte noch ausgeführt werden müssen, dass Laufmittel mit geringer



Polarität nur sehr gering um Adsorptionsplätze konkurrieren, sodass der Analyt entsprechend von der stationären Phase zurückgehalten wird. Segment wurde daher mit folgenden Codes standardisiert:

- K04B\_02 Silicagel hat sehr hoch Polarität
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche
- K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K30W\_02 Analyt hopo hat hoch WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K30W\_03 Analyt gepo hat gering WW mit hopo (Ad)Sorbens
- K31W\_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze
- K31W\_04 Analyt hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Ads.-pl.
- K32W\_03 Analyt gering adsorb. hat hoch Laufstrecke
- K32W\_05 Analyt hoch adsorbiert hat gering Laufstrecke

**c) Segment aus 071b Zusammenhänge (Zeile 996)**

„<Folgefeil> Doch auch die Art des Gemisches selbst beeinflusst die Auftrennung. Wichtiger Hinweis ist hierbei die Eigenschaft „lipophil“ des Gemisches.

=> Die Auftrennung des Gemisches geschieht aufgrund von Wechselwirkungen zwischen dem Gemisch und dem Laufmittel.“

Die Codierungen mit „K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung“ und „K13Q\_02 Verhaltensbedingung bestimmt Laufstrecke Analyt“ wurden wieder entfernt, weil im Segment nur der Einfluss des Analyten selbst auf Trennung betrachtet wird und nicht der Verhaltensbedingungen wie Laufmittel, stationäre Phase oder Entwicklungszeit. Der Code K29W\_07 steht im Zusammenhang mit Code K22W\_01. Mit beiden Codes wird die letzte Aussage des Segmentes standardisiert. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K08A\_01 Farbstoffgemisch hat lipophil Löslichkeit
- K22W\_01 Laufmittel hat WW mit Analyt
- K29W\_01 Analyt/Farbstoffgemisch hat Eigenschaft
- K29W\_07 Wechselwirkung Analyt unterschiedlich bestimmt Trennung
- K34W\_07 Löslichkeit ist Eigenschaft

**d) Segment aus 072c Zusammenhänge (Zeile 1036)**

„Nicht nur Struktur und Eigenschaften des Farbstoffgemisches und Laufmittels beeinflussen die Auftrennung des Gemisches, sondern auch die Temperatur und die Struktur und die Eigenschaften des Lösungsmittels, in dem Fall Toluol.“

Der Code „K13Q\_02 Verhaltensbedingung bestimmt Laufstrecke Analyt“ wurde nicht zugeordnet, da Vp nur allgemein von Auftrennung spricht und Aussage mit Code K13Q\_01 abgedeckt wird.

Die ursprünglich zugeordneten Codes „K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel“ und „K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel“ wurden entfernt, da im Segment auf Wechselwirkungen nicht eingegangen wird. Daher wurden nur folgende Codes zugeordnet:

- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K02V\_14 Toluol ist Lösungsmittel
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K21W\_04 Laufmittel hat Eigenschaft
- K21W\_05 Laufmittel hat Strukturmerkmal
- K21W\_06 Strukturmerkmal LM begründet Eigenschaft LM
- K29W\_01 Analyt/Farbstoffgemisch hat Eigenschaft
- K29W\_02 Analyt/Farbstoffgemisch hat Löslichkeit
- K29W\_03 Analyt hat Strukturmerkmal
- K29W\_04 Strukturmerkmal Analyt begründet Eigenschaft Analyt

**e) Segment aus 072c Zusammenhänge (Zeile 1060)**

„Die Struktur von Laufmittel, Lösungsmittel und der einzelnen Bestandteile des Gemisches beeinflusst die Art der Wechselwirkungen, die zwischen diesen Komponenten herrschen.“

Wechselwirkungen sind als eine aus der Struktur der Stoffe resultierende Eigenschaft zu betrachten. Daher werden die Codes K21W\_04, \_06; K29W\_01, \_04 zugeordnet. Folgende Codes wurden zugeordnet:

- K21W\_04 Laufmittel hat Eigenschaft
- K21W\_05 Laufmittel hat Strukturmerkmal
- K21W\_06 Strukturmerkmal LM begründet Eigenschaft LM
- K21W\_07 Strukturmerkmal LM begründet WW m. Analyt/Lösungsmittel
- K29W\_01 Analyt/Farbstoffgemisch hat Eigenschaft
- K29W\_03 Analyt hat Strukturmerkmal
- K29W\_04 Strukturmerkmal Analyt begründet Eigenschaft Analyt
- K29W\_05 Strukturmerkmal Analyt begründet WW mit Laufmittel

**f) Segment aus 073EII Retention NPC (Zeile 1113)**

„<Pfeil nach rechts> Concept Map ist schwierig umzusetzen

Austausch von Molekülen der stationären Phase durch Moleküle aus der mobilen Phase führt zur „Zurückhaltung“ von Molekülen“

Diskutiert wurde die Zuordnung des Codes K32W\_04. „Austausch von Molekülen der stationären Phase“ impliziert, dass stationäre Phase von Molekülen der mobilen Phase belegt ist, die dann „durch Moleküle aus der mobilen Phase“ (K26W\_01), gemeint ist der Analyt, ausgetauscht werden (K32W\_04). Segment muss im Zusammenhang mit den nachfolgenden Absätzen gesehen werden:

„<gewinkelter Pfeil> Austausch wird beeinflusst durch Wechselwirkungen zwischen den Farbstoffmolekülen und dem Laufmittel (mobile Phase) bzw. den Farbstoffmolekülen und der stationären Phase

<gewinkelter Pfeil> je mehr Wechselwirkung zwischen Molekülen der einen Komponenten mit der stationären Phase, desto mehr wird diese Komponente zurückgehalten

<Folgepfeil> Komponenten wechselwirken unterschiedlich mit stationärer Phase

<Folgepfeil> Auftrennung“

Damit wird deutlich, dass Vp den Zusammenhang zwischen Stärke der Adsorption und der Retention des Analyten verstanden hat. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K02V\_10 Laufmittel ist mobile Phase
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K26W\_01 Laufmittel belegt Adsorptionsplätze
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K31W\_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze
- K32W\_02 Analyt gering adsorb. hat gering Retention/ho RF/ge k
- K32W\_04 Analyt hoch adsorbiert hat hoch Retention/ge RF/ho k

#### g) Segment aus 083EII Retention NPC (Zeile 1410)

„Normal-phase-chromatography  
Kieselgeloberfläche ist einfache Lage\*, die von LM Molekülen, die von mob. Ph. absorbiert werden

\* Verschiebungsprozess basieren auf bereits absorbierte LM Moleküle müssen Platz machen für Probenmoleküle

Bsp. 8.3 <Pfeil nach rechts> rel. unpolare Probe  
Chlorbenzen in schwacher, weniger polarer mob. Ph. Methylchlorid“

Mit den Aussagen der ersten zwei Absätze ist gemeint, dass Moleküle der mobilen Phase eine einfache Lage auf der Kieselgeloberfläche der stationären Phase bilden und von der mobilen Phase, die sich an der stationären Phase vorbeibewegt, gelöst/aufgenommen werden (absorbiert), dass Probenmoleküle aus der mobilen Phase an der stationären Phase adsorbiert (nicht absorbiert)<sup>151</sup> werden können. Zur Standardisierung des Segmentes wurden folgende Codes zugeordnet:

---

<sup>151</sup> Wenn Moleküle sich an der Oberfläche eines Feststoffes anlagern, werden sie adsorbiert, nicht absorbiert.

- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_05 (Ad)Sorbens hoch polar ist Normalphase (NP)
- K20W\_07 (Ad)Sorbens hat Oberfläche
- K21W\_02 Laufmittel hat bei NPC gering Polarität
- K26W\_01 Laufmittel belegt Adsorptionsplätze
- K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze
- K31W\_02 Analyt konkurriert um Adsorptionsplätze

**h) Segment aus 084 Leitfragen (Zeile 1481)**

„Aber: Toluol hat die beste Trennleistung im Exp.,  
da Propanol zu polar ist, um Farbstoffe zu lösen bzw. in WW mit stat.  
Ph. zu bringen“

Diskutiert wurde die Zuordnung des Codes K27W\_03. Da aber in der Aussage enthalten ist, dass das Laufmittel durch seine hohe Polarität die Wechselwirkung der Farbstoffe mit der stationären Phase verhindert, ist die Zuordnung berechtigt, auch wenn die Polarität der stationären Phase im Segment nicht explizit genannt wurde. Die stationäre Phase (Kieselgel) wurde aber im folgenden Segment als polar charakterisiert. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K01V\_06 Farbstoffgemisch enthält Analyt
- K06B\_01 Propanol ist Laufmittel
- K06B\_04 Propanol hat hoch Polarität
- K07B\_01 Toluol ist Laufmittel
- K07B\_09 Toluol bewirkt optimal Trennung
- K08A\_01 Farbstoffgemisch hat lipophil Löslichkeit
- K02V\_11 Laufmittel ist Verhaltensbedingung
- K13Q\_01 Verhaltensbedingung bestimmt Trennung
- K27W\_01 Laufmittel konkurriert um Adsorptionsplätze
- K27W\_03 LM hopo konkurriert hoch auf hopo stPh um Adsorptionsplätze

**i) Segment aus 084 Leitfragen (Zeile 1505)**

„Indophenol ist so polar, dass es viel mit der stat. Ph. wechselwirkt aber  
nicht so polar, dass es sich nicht in Toluol löst.“

Silicagel wird zwar nicht explizit genannt, aber hat kurz vorher Kieselgel als polar eingestuft. Außerdem geht aus Beschreibung zum Experiment hervor, dass es sich bei Silicagel um die stationäre Phase handelt. Daher wurde der Code K02V\_06 zugeordnet. Hinterfragt wurde weiterhin die Zuordnung der verallgemeinernden Codes K20W\_03; K30W\_01 und K30W\_02. Da Vp den Zusammenhang zwischen Polarität und der Stärke der Wechselwirkungen zwischen Analyt und stationärer Phase erkannt hat, wird die Zuordnung vorgenommen. Daher wurden folgende Codes zugeordnet:

- K02V\_06 Silicagel/DC-Platte ist stationäre Phase
- K02V\_07 Stationäre Phase ist Verhaltensbedingung
- K09A\_02 Indophenol ist Analyt
- K11A\_06 Indophenol hat hoch Polarität
- K11A\_07 Indophenol hat hoch WW mit Silicagel
- K11A\_13 Indophenol hat in Toluol mittel Löslichkeit
- K20W\_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens
- K20W\_04 (Ad)Sorbens ist stationäre Phase
- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K30W\_02 Analyt hopo hat hoch WW mit hopo (Ad)Sorbens

**j) Segment aus 09R Revisionsaufgaben (Zeile 1724)**

„4) [Wirkprinzip]

Das Wirkprinzip beruht aus Adhäsionskräften und einer damit verbundenen schnelleren und langsameren Wanderung der Stoffproben (einzelner Substanzen, was aber stark von den jeweiligen WW abhängig ist)“

Da die unterschiedliche Stärke der Wechselwirkungen und die damit verbundenen unterschiedlichen Wanderungsgeschwindigkeiten der Analyten im Segment angesprochen werden, wurden folgende Codes zugeordnet:

- K30W\_01 Analyt hat WW mit (Ad)Sorbens
- K32W\_03 Analyt gering adsorb. hat hoch Laufstrecke
- K32W\_05 Analyt hoch adsorbiert hat gering Laufstrecke

**19.7.3 Codierregeln für die Standardisierung der betrachteten Erkenntniswege**

Im Folgenden werden die Codierregeln für die Standardisierung der Aufgaben 1f, 2f, 4L3.1 und 4L3.2 der Aufgabenkomplexe 1, 2 und 4 ausgeführt. Da anhand der getroffenen Aussagen die Darstellung der Erkenntniswege beurteilt werden sollen, ist eine einheitliche Codierung nach folgenden Regeln vorzunehmen. Die Codierung erfolgt nach dem Kategoriensystem in Abb. 46 (S. 212):

1. Alle Segmente der Aufgabe 1f werden den jeweils zutreffenden Codes zu Erkenntniswegen des Kategoriensystems (s. Abb. 46, S. 212) zugeordnet. D. h. geht es primär um induktives Vorgehen, aber die Vp skizziert Lernschritte, die dem progressiv-reduktiven Vorgehen entsprechen, werden die jeweiligen Codes zum progressiv-reduktiven Vorgehen zugeordnet.
2. Alle Segmente der Aufgaben 2f, 4L3.1 und 4L3.2 werden nur den zum jeweils zu skizzierenden Erkenntnisweg zugehörigen Codes zugeordnet.
3. Die Obercodes, die die Lernschritte spezifizieren, werden nur zugeordnet, wenn diese von der Vp zu den ausgeführten Inhaltsaspekten klar benannt werden (betrifft Vp08; s. Ankerbeispiel in Kap. 19.7.4).
4. Sind nicht alle Lernschritte oder Inhaltsaspekte nachvollziehbar, wird zusätzlich der Code „unzureichende Beschreibung“ zugeordnet.

5. Wird der beschriebene Erkenntnisweg falsch eingeordnet (s. Tab. 74, S. 214), erhält das jeweilige Segment u. a. den Code „falsche Zuordnung d. Erkenntnisweges“.

#### 19.7.4 Ankerbeispiel zur dritten Codierregel

„<eingekreiste 3> <blau markiert> pol. stat. Phase + unpo. mobile Phase

<Pfeil nach rechts „Was passiert?“>

keine WW

<blau markiert> pol. stat. Phase + unpo. mobile Phase + pol. Molekül

<Pfeil nach rechts „Was passiert?“>

gute WW zwischen stat. Phase + Molekül, keine Fortbewegung des  
Analyts auf stat. Phase

<blau markiert> pol. stat. Phase + unpo. mobile Phase + unpol. Molekül

<Pfeil nach rechts „Was passiert?“>

schlechte WW zwischen stat. Phase + Molekül, guter Transport

<blau markiert> pol. stat. Phase + unpo. mobile Phase + unpol. Molekül

mit polare Anteilen

<Pfeil nach rechts „Was passiert?“>

<grün markiert> WW zwischen stat. Phase + Molekül, langsamer Transport“ (Vp08 zum progressiv-reduktiven Vorgehen; Dokument 081f Erkenntniswege)“

In diesem Segment zum progressiv-reduktiven Vorgehen hat Vp08 zwar wichtige Zusammenhänge skizziert, aber nicht eingeordnet, wie diese Zusammenhänge im Erkenntnisweg eingebunden sind. Dem folgenden Segment wurde der Code „PR2.1.2 Abh. der RF-Werte d. Analyten von ihrer Polarität“ für die genannten Inhalte zugeordnet. Die übergeordneten Codes „PR2 Entscheiden über Lösungsweg“ und „PR2.1 Vorkenntnisse Ln“ kommen im Segment nicht vor und wurden daher nicht zugeordnet.

#### 19.7.5 Codierregeln für die Standardisierung der genannten Problem- und Fragestellungen

Die Segmente, in denen Problem- bzw. Fragestellungen genannt wurden, werden zunächst der jeweiligen Subkategorie 1 zugeordnet. Im Anschluss wird die Spezifizierung des Hauptinhaltsaspektes der jeweiligen Subkategorie 2 zugeordnet, die im Wesentlichen selbsterklärend sind. Einige Besonderheiten werden kurz anhand der Aufgaben 1e und 2e zu Fragestellungen erklärt:

- Wird bspw. von „Eignung des Laufmittels“ gesprochen, wird die Frage dem Code 1e1.1 bzw. 2e1.1 zugeordnet.
- Unter „Begriffe“ (1e3 bzw. 2e3) bei „zur Methode“ werden solche Fragen zugeordnet, bei denen es um die Erklärung von Grundbegriffen der Chromatografie geht, wie z. B. Bedeutung von mobiler und stationärer Phase, Unterschied zwischen RPC und NPC.
- Dem Wirkprinzip werden Fragestellungen nur dann zugeordnet, wenn sie Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der Komponenten und deren Wechselwirkungen im Zu-

sammenhang mit dem Trennvorgang thematisieren. Werden Struktur-Eigenschaftsbeziehungen nur in Bezug auf eine der Komponenten betrachtet, werden sie der Kategorie der jeweiligen Komponente (Laufmittel, Stoffgemisch) zugeordnet.

Ausnahme ist, wenn bei Strukturbetrachtungen des Stoffgemisches von „Verhalten“ die Rede ist, weil damit das Wechselwirken mit den anderen Komponenten impliziert wird.

- Unter Arbeitsmittel werden alle Fragen zugeordnet, die den apparativen Aufbau, die Durchführung des Experimentes oder die Funktionsweise thematisieren. Dazu gehören auch Fragen mit Formulierungen wie „auf welche Art und Weise wird Chromatografie durchgeführt“.

### 19.7.6 Codierregeln für die Standardisierung der Analyse der Schülerfehlkonzepte

Die Segmente, in denen Schülerfehlkonzepte im Teil E analysiert wurden, werden zunächst der jeweiligen Hauptkategorie zugeordnet. Im Anschluss wird die Spezifizierung des Hauptinhaltsaspektes der jeweiligen Subkategorie zugeordnet, die im Wesentlichen selbst-erklärend sind. Die Zuordnung der Codes zu Fehlkonzepth vollständig oder teilweise erkannt ist für jede Schülerantwort spezifiziert. Einige Besonderheiten werden kurz aufgelistet:

1. Zuordnung der Codes zu vollständig erkannten Fehlkonzepthen wird vorgenommen für den Code
  - a. „A1 (v) Vp erkennt Fehlkonzepth vollständig“, wenn eine der falschen Aussagen in der Schülerantwort (A1) erkannt wurde (A2.1 oder A2.2)
  - b. „A2 (v) Vp erkennt Fehlkonzepth vollständig“, wenn eine falsche und eine fehlende Aussage oder zwei fehlende Aussagen der/des Ln erkannt wurden
  - c. „A3 (v) Vp erkennt Fehlkonzepth vollständig“, wenn zwei der drei falschen Aussagen der/des Ln erkannt wurden
  - d. „A4 (v) Vp erkennt Fehlkonzepth vollständig“, wenn zwei falsche oder eine falsche und eine fehlende Aussagen der/des Ln erkannt wurden.
2. Zuordnung der Codes zu teilweise erkannten Fehlkonzepthen wird vorgenommen, wenn die Bedingungen unter der Codierregel 1 nicht ganz erfüllt sind. Je nach Schülerfehlkonzept sind das die Codes
  - a. A1 (t) Vp erkennt Fehlkonzepth teilweise
  - b. A2 (t) Vp erkennt Fehlkonzepth teilweise
  - c. A3 (t) Vp erkennt Fehlkonzepth teilweise
  - d. A4 (t) Vp erkennt Fehlkonzepth teilweise
3. Zuordnung der Codes zu nicht erkannten Fehlkonzepthen wird vorgenommen, wenn die Bedingungen unter den Codierregeln 1 und 2 nicht erfüllt sind. Je nach Schülerfehlkonzept sind das die Codes
  - a. A1 (n) Vp erkennt Fehlkonzepth nicht
  - b. A2 (n) Vp erkennt Fehlkonzepth nicht
  - c. A3 (n) Vp erkennt Fehlkonzepth nicht

- d. A4 (n) Vp erkennt Fehlkonzept nicht
- 4. Anmerkungen und Überlegungen der Vpn, die inhaltlich keinem anderen Code zugeordnet werden können, werden der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet. Je nach Schülerfehlkonzept sind das die Codes
  - a. 1a Sonstige
  - b. 1b-c Sonstige
- 5. Fehlerhafte Aussagen erhalten den Code „fehlerhafte Aussage“. Dazu gibt es nur den Code „1b-c fehlerhaft“. Zu 1a gab es keine fehlerhaften Aussagen.
- 6. Wird das Laufverhalten der Analyten anhand menschlicher Verhaltensmuster erklärt, wird das Segment der Kategorie „Personifikation“ zugeordnet. Je nach Schülerfehlkonzept sind das die Codes
  - a. A1\_3.6 Personifikation
  - b. A2-4\_1.6 Personifikation

Ankerbeispiele sind in Kap.20.5 „Textsegmente zur Analyse der Schülerfehlkonzepte“ (S.521–544) aufgeführt. Das sind die Segmente, zu denen Memos erstellt wurden.

### 19.7.7 Liste der nicht codierten Textsegmente

In Tab.24 sind alle Segmente aufgeführt, die nicht eindeutig zugeordnet werden konnten.

Tab. A 24: Liste der nicht codierten Segmente

| Dokument-name          | Segment                                                                                                                                                                                            | Memos                                                                                                                                                                                       | Kommentar |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 022c Zusammenhänge FD2 | die Polarität des Lösungsmittels ist also entscheidend, auch zwischen Hexen – Toluol – Propanol (bei fester Säule)                                                                                 | FD, 15.08.18 13:56<br>Titel: Polarität LM<br>Typ Label: Gründe für/<br>Fragen zu Änderung in<br>der Codierung<br>Aussage ist zu unspezifisch, inwiefern Polarität LM Trennung beeinflusst.  |           |
| 034 Leitfragen FD2     | c) Aus Retentionszeiten und Strukturformeln kann ein Zusammenhang zwischen Polarität und Trennergebnis geschaffen werden. Die Wechselwirkungen von Toluol mit den Farbstoffen sind daher relevant. | FD, 20.08.18 10:46<br>Titel: Zs-hang Polarität Analyten u. Trennergebnis<br>Typ Label: Gründe für/<br>Fragen zu Änderung in<br>der Codierung<br>Aussage zu allgemein, daher keine Zuordnung |           |



| Dokument-name             | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Kommentar |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 034 Leitfragen FD2        | Anhand von Strukturformeln wird auf die Polarität geschlossen.<br>Die Eigenschaft Löslichkeit kann dabei ebenfalls hilfreich sein.                                                                                                                                                     | FD, 20.08.18 10:49<br>Titel: Zs-hang Strukturformel u. Polarität Analyten<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Aussage zu allgemein, daher keine Zuordnung                                                                                                                                                                     |           |
| 03R Revisionsaufgaben FD2 | Strukturell kann ich das nicht richtig begründen, da mir die Polarität der Farbstoffe nicht ganz klar ist.<br>Aber aus der Beobachtung schließe ich, dass sie jeweils ähnlich polar sind, ähnliche Dipol-Dipol-Wechselwirkungen ausbilden und daher die gleiche Geschwindigkeit haben. | FD, 17.08.18 17:43<br>Titel: Polarität Farbstoffe u. WW<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Farbstoffe sind sich zwar ähnlich in ihrer Polarität. Die ist aber eher gering. Vp vernachlässigt, dass die stPh auch OH-Gruppen hat und damit auch entspr. WW mit den polaren funktionellen Gruppen d. Farbstoffe eingehen kann. |           |
| 041a Concept Map FD2      | Entwicklungszeit besteht aus Laufstrecke<br>Entwicklungszeit besteht aus Zeit                                                                                                                                                                                                          | FD, 20.08.18 13:16<br>Titel: Entwicklungszeit<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Unklar, was mit „besteht aus“ im Zusammenhang mit Entwicklungszeit gemeint ist, daher keine Zuordnung.                                                                                                                                      |           |
| 041a Concept Map FD2      | Messgröße ist Entwicklungszeit                                                                                                                                                                                                                                                         | FD, 20.08.18 13:21<br>Titel: Entwicklungszeit<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Keine Zuordnung, da mit Aussage, dass Entwicklungszeit Messgröße ist, nicht gesagt wird, dass eine Verhaltensbedingung ist.                                                                                                                 |           |
| 041c SLS FD2              | Entwicklungszeit besteht aus Laufstrecke<br>Entwicklungszeit besteht aus Zeit<br>Messgröße ist Entwicklungszeit                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |           |

| Dokument-name                | Segment                                                               | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kommentar                                                                                         |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 043EI Retentionsfaktor FD2   | gelöster Stoff kommt vor in stationäre Phase und mobile Phase         | FD, 20.08.18 14:31<br>Titel: Retentionsfaktor u. Geschwindigkeit<br>Typ Label: Gründe für/<br>Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Aussagen passen zu keiner der Propositionen des Code-Systems, daher keine Zuordnung.<br><br>Es werden keine zusätzliche Codes hinzugefügt, da der Aussagewert dieser Aussagen vernachlässigbar ist. |                                                                                                   |
| 043EII Retention NPC FD2     | Ionenaustausch zwischen stationäre Phase und mobile Phase             | FD, 20.08.18 14:33<br>Titel: Retentionsfaktor u. Geschwindigkeit<br>Typ Label: Gründe für/<br>Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Aussagen passen zu keiner der Propositionen des Code-Systems, daher keine Zuordnung.<br><br>Es werden keine zusätzliche Codes hinzugefügt, da der Aussagewert dieser Aussagen vernachlässigbar ist. |                                                                                                   |
| 051a Concept Map             | Dünnschichtchromatographie bestimmen Messgrößen                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                   |
| 051a Concept Map             | Messgrößen ist Laufstrecke in cm<br>Messgrößen ist Zeit in s          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                   |
| 051c SLS                     | Messgrößen ist Laufstrecke in cm<br>Messgrößen ist Zeit in s          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                   |
| 051c SLS                     | Dünnschichtchromatographie bestimmen Messgrößen                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                   |
| 051e Fragen für Unt. zu Exp. | - In welchem Verhältnis stehen die Farbstoffe in der Zusammensetzung? |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | FD: unklar, was gemeint ist                                                                       |
| 051e Fragen für Unt. zu Exp. | - In welchem Kontext soll das Thema (Exp.) eingebettet werden?        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | FD: Das ist keine Frage f. den Unterricht, sondern eine die sich Vp hätte selbst überlegen müssen |
| 052c Zusammenhänge           | - Retentionszeit, von der Injektion bis zum Austreten aus der Säule   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                   |

| Dokument-name             | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Memos | Kommentar                                                                                                               |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 053EIII<br>Elutionsstärke | polarity influences NPC                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |                                                                                                                         |
| 053EIII<br>Elutionsstärke | epsilon influences k small                                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |                                                                                                                         |
| 054 Leitfragen            | ionische WW<br><Folgepfeil> je höher Epsilon<br>desto größer Stärke der WW                                                                                                                                                                                                                                     |       |                                                                                                                         |
| 054 Leitfragen            | - Beibehaltung als Verschiebe-<br>Prozess???                                                                                                                                                                                                                                                                   |       | FD: unklar, was Vp damit<br>meint                                                                                       |
| 064 Leitfragen            | Betrachten der Mesomerie-Effek-<br>te, und der induktiven Effekte im<br>Molekül und Dipole zu entde-<br>cken.                                                                                                                                                                                                  |       |                                                                                                                         |
| 074 Leitfragen            | 4) Ionische Wechselwirkungen<br>- elektrostatische Wechselwirkung<br>zwischen gelösten Ionen und po-<br>larisierbarem Lösungsmittel<br>- Ladung des Ions führt zu einer<br>Ladungsverschiebung der Mole-<br>küle des Lösungsmittels<br><gewinkelter Pfeil> hohe elek-<br>trostatische WW<br><Skizze Fig. 2.8d> |       | FD: ionische WW für<br>DC-Exp. nicht relevant u.<br>werden nicht berücksich-<br>tigt.                                   |
| 081a Concept<br>Map       | Kieselgel (Stoffe) benötigt Lö-<br>sungsmittel unpolar (Stoffe)                                                                                                                                                                                                                                                |       | FD: Könnte Code zur De-<br>finition NPC zugeordnet<br>werden, aber unsicher, ob<br>Vp an dieser Stelle das<br>klar ist. |
| 081a Concept<br>Map       | Hexan (Stoffe) hat WW<br>(Wirkprinzip)                                                                                                                                                                                                                                                                         |       | FD: Prop. ist<br>unvollständig                                                                                          |
| 081a Concept<br>Map       | Propanol (Stoffe) hat WW<br>(Wirkprinzip)                                                                                                                                                                                                                                                                      |       | FD: Prop. ist<br>unvollständig                                                                                          |
| 081a Concept<br>Map       | Toluol (Stoffe) geeignet für DC-<br>Platte (Stoffe)                                                                                                                                                                                                                                                            |       | FD: unklar, was mit ge-<br>eignet gemeint ist                                                                           |
| 081a Concept<br>Map       | Toluol (Stoffe) hat Wech-<br>selwirkung (Wirkprinzip)                                                                                                                                                                                                                                                          |       | FD: Prop. ist<br>unvollständig                                                                                          |
| 081a Concept<br>Map       | Wechselwirkung (Wirkprinzip)<br>die geeignet für Auswertung (Ap-<br>paratur)<br>WW (Wirkprinzip) die ungeeignet<br>für Auswertung (Apparatur)                                                                                                                                                                  |       | FD: unklar, was mit ge-<br>eignet gemeint ist                                                                           |

| Dokument-name         | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Memos | Kommentar                                                                                                 |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 081b<br>Zusammenhänge | <p>Pfeil von stat. Phase zu Kieselgel pink, da so übersichtlicher, denn Pfeil hat nichts mit WW zu tun!</p> <p>[FD: In der CMap d. Vp sah es so aus, dass Begriff „WW“ mit Relation „ist“ „Kieselgel“ führt, daher Bemerkung hilfreich, um CMap an der Stelle richtig zu rekonstruieren]</p> <p>Stern bei Auswertung und Rf-Wert, das Auswertung mit Rf-Wert passiert und beides zusammenhängt, damit Übersicht gewährleistet kein Pfeil durch oder um Bild gezogen.</p> <p>„Probe“ pink umkreist, da es nun in 2. weitergeht. 2 ist C-Map für das Experiment, allerdings gehören beide C-Maps zusammen.</p> |       |                                                                                                           |
| 081c SLS              | Kieselgel (Stoffe) benötigt Lösungsmittel unpolar (Stoffe)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       | FD: Könnte Code zur Definition NPC zugeordnet werden, aber unsicher, ob Vp an dieser Stelle das klar ist. |
| 081c SLS              | Toluol (Stoffe) geeignet für DC-Platte (Stoffe)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       | FD: unklar, was mit geeignet gemeint ist                                                                  |
| 081c SLS              | Hexan (Stoffe) hat WW (Wirkprinzip)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       | FD: Prop. ist unvollständig                                                                               |
| 081c SLS              | Propanol (Stoffe) hat WW (Wirkprinzip)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       | FD: Prop. ist unvollständig                                                                               |
| 081c SLS              | Toluol (Stoffe) hat Wechselwirkung (Wirkprinzip)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |       | FD: Prop. ist unvollständig                                                                               |
| 081c SLS              | <p>Wechselwirkung (Wirkprinzip) die geeignet für Auswertung (Apparatur)</p> <p>WW (Wirkprinzip) die ungeeignet für Auswertung (Apparatur)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       | FD: unklar, was mit geeignet gemeint ist                                                                  |

| Dokument-name                | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Kommentar                 |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 081c SLS                     | Probe (Apparatur) für Auswertung (Apparatur) qualitativen Stofftrennung (Chromatografie/Trennmethode) benötigt Referenzprobe (Apparatur) Referenzprobe (Apparatur) für Auswertung (Apparatur) Referenzprobe (Apparatur) und Probe (Apparatur) Weg hängt zusammen mit Probe (Apparatur) | FD, 01.08.19 18:23<br>Titel: Apparatur, Probe, Referenz, Auswertung<br>Typ Label: Gründe für/<br>Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Keine Codierung, da Aussagen zu allgemein sind und Propositionen durch Zuordnung zur Apparatur nicht eindeutig interpretierbar sind.<br><br>Bei Referenzprobe geht es um Vergl der Rf-Werte (Wege) zwischen Referenz und Analyt. So konkret hat Vp Propositionen nicht formuliert.                                                                                                                        |                           |
| 081e Fragen für Unt. zu Exp. | 2. Was sind Polaritäten, welche Auswirkungen haben diese auf die DC?                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | FD: Frage zu unspezifisch |
| 081f Erkenntniswege          | <eingekreiste 4><br>Regressiv-reduktiv ist Beispiel 3 in der Gesamtheit<br>alle blauen Informationen ergeben die grüne Antwort                                                                                                                                                         | FD, 23.11.18 17:54<br>Titel: Beschreibung Erkenntnisweg<br>Typ Label: Gründe für/<br>Fragen zu Änderung in der Codierung<br>Vp geht nur auf Inhaltsaspekte ein, ohne dazu die jeweils erforderlichen Denkschritte für den Erkenntnisweg auszuführen<br><br>FD, 23.11.18 17:51<br>Titel: Retention der Probe<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Vp unterscheidet nicht, dass polare und unpolare Probenmoleküle nicht gleichermaßen mit der stat. Phase wechselwirken und damit nicht gleich stark von d. stat. Phase zurückgehalten werden. |                           |

| Dokument-name             | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Memos                                                                                                                        | Kommentar                                                                          |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 083EI<br>Retentionsfaktor | Erklärung RF-Wert<br>[The RF value of a solute in TLC is defined as its fractional migration from the original sample spot (point at which the sample is applied) toward the solvent front (end of solvent migration during TLC). Thus a sample band that migrates half as far as the solvent front (e.g., spot D in Fig. 8.8) would have RF = 0.5; the RF values of solutes A through D in Figure 8.8 are 0.15, 0.25, 0.38, and 0.50, respectively.] |                                                                                                                              | FD: da keine dt. Entsprechung f. engl. Text formuliert wurde, keine inh. Zuordnung |
| 083EI<br>Retentionsfaktor | k ist wichtige Eig s [unklar, was Vp mit dieser Abkürzung meint]<br>jedes Peaks im Chromatogramm<br><Folgepfeil> Interpretation u. Verbesserung für Trennung                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                    |
| 083EI<br>Retentionsfaktor | mob. Phase gleiche Temperatur<br>Probe gleiche mob. Phase<br>stat. Ph. wie HPLC<br>Temperatur gleiche stat. Ph.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                    |
| 083EI<br>Retentionsfaktor | k macht bessere Interpolation u. Verbesserung der Methode möglich für weitere (zukünftige) Trennungen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                              |                                                                                    |
| 083EI<br>Retentionsfaktor | in EI gibt es keine Aussagen über Trennergebnisse der aufgeführten Laufmittel aber in 8.8 [FD: bezieht sich auf Abb. eines inneren Chromatogramms mit Angabe der jeweiligen RF- und k-Wert entlang der Laufstrecke der Analyten]                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                              |                                                                                    |
| 083EI<br>Retentionsfaktor | keine basische Lokalisation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | FD, 18.04.19 16:35<br>Titel: basische Lokalisation<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Fraglich, was damit gemeint ist. |                                                                                    |

| Dokument-name             | Segment                                                                                                                                                                        | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Kommentar                                                                                    |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 083EI<br>Retentionsfaktor | beste Absorbanz bei 200 nm                                                                                                                                                     | FD, 18.04.19 16:36<br>Titel: Absorbanz 200 nm<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Absorption eines bestimmten Wellenlängenbereiches würde höchstens bei der Detektion mit UV/Vis-Spektrometer eine Rolle spielen.                                                                                   |                                                                                              |
| 083EII Retention NPC      | Bsp. 8.3 <Pfeil nach rechts> rel. unpolare Probe<br>Chlorbenzen in schwacher, weniger polarer mob. Ph.<br>Methylchlorid                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                              |
| 083EII Retention NPC      | ignorieren von WW zw. solute u. solvent betrachten nur WW von solute u. solvent mit stat. Ph.                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                              |
| 083EII Retention NPC      | <rechts neben Strukturformeln> Kieselgel                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                              |
| 083EII Retention NPC      | Funktionsweise die funktioniert über Verdrängung                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                              |
| 083EII Retention NPC      | mob. Ph. hat Moleküle mit Polarität unpolare<br><br>NPC hat Kieselgeloberfläche in Kolonne, diese ist stat. Ph., hat Moleküle mit Polarität polar polar wechselwirkt mit polar | FD, 18.09.18 11:42<br>Titel: WW unpolare - unpolare<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br>NPC hat pol. Moleküle; „polar ww mit polar“ lässt offen, welche Komponenten miteinander ww, aber wahrscheinl. ist WW zwischen Analyt u. stPh gemeint, daher Zuordnung K30W_01 u. _02 | FD: NPC hat pol. stPh ; „polar ww mit polar“ lässt offen, welche Komponenten miteinander ww. |
| 083EII Retention NPC      | gegeben: polare stat. Phase: Kieselgel<br>unpolare mob. Phase: CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub><br>unpolare Probe: Chlorbenzen mit polarem Anteil                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | FD: Bezug falsch; Vp bezieht sich nicht auf Stoffe im Experiment.                            |
| 083EIII<br>Elutionsstärke | Wert dann LM                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                              |

| Dokument-name    | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Kommentar                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 084 Leitfragen   | 2) Streuung/Verteilung<br><Skizze: Gefäß mit Flüssigkeit u. Punktwolke im linken oberen Bereich <Pfeil nach rechts> Gefäß mit Flüssigkeit u. gleichmäßig verteilten Punkten><br><rechts v. rechtem Gefäß> resultieren aus verschiedenen Positionen benachbarter Atome von sowohl LM als auch Lsg |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | FD: Bei Skizze mit Gefäßen u. Punktwolken ist nicht klar, ob mit Punktwolken die Verteilung d. Elektronen angedeutet wird; Modellvorstellung ist nicht schlüssig                                                            |
| 084 Leitfragen   | 4) ionisch<br>Na <sup>+</sup> Cl <sup>-</sup><br>R-COO <sup>-</sup> Na <sup>+</sup>                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | FD: Ionen haben nichts mit Exp. zu tun                                                                                                                                                                                      |
| 084 Leitfragen   | 5) Ladungstransfer<br>Radikale ? oder <Strukturformeln S mit Doppelbindung zu CH <sub>2</sub> u. O-R <Doppelpfeil> S mit pos. Ladung u. Doppelbindung zu CH <sub>2</sub> u. O-R; CH <sub>2</sub> hat eine neg. Ladung mit Pfeil zur pos. Ladung von S>                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | FD: S m. Doppelbindung zu CH <sub>2</sub> u. O-R hat nichts mit Exp. zu tun                                                                                                                                                 |
| 084 Leitfragen   | <Pfeil von unten nach oben><br>Stärke des E.mittels nimmt in Pfeilrichtung ab                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | FD: Aussage bezieht sich auf Einschätzung Elutionskraft d. drei LM u. hat keinen Mehrwert                                                                                                                                   |
| 091a Concept Map | Dünnschichtchromatographie bestimmt Entwicklungszeit (stoffspez. Verhalten)<br>Dünnschichtchromatographie bestimmt Laufstrecke (stoffspez. Verhalten)                                                                                                                                            | FD, 01.10.18 08:26<br>Titel: Verhaltensbedingungen Entwicklungszeit/Laufstrecke<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Formulierung „DC bestimmt Entw.-zeit/Laufstrecke“ lässt nicht erkennen, dass Vp verstanden hat, dass es Verhaltensbed. sind. Auch die Zuordnung subst.-spez. Verhalten ist falsch, da letztere sich auf Analyt bezieht. | FD: Formulierung „DC bestimmt Entw.-zeit/Laufstrecke“ lässt nicht erkennen, dass Vp verstanden hat, dass es Verhaltensbed. sind. Auch die Zuordnung subst.-spez. Verhalten ist falsch, da letztere sich auf Analyt bezieht. |
| 091a Concept Map | Änderungen mit Hilfe des Anhangs                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | FD: nur Kommentar Vp, der inhaltl. keine Relevanz hat                                                                                                                                                                       |



| Dokument-name                             | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Memos | Kommentar                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 091b<br>Zusammenhänge                     | Nach der Beendigung dieses Versuches wird die Laufstrecke und die benötigte Entwicklungszeit erfasst.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       | FD: Da Laufstrecke u. Entwicklungszeit zusammen genannt werden, ist Bezug eher zum Laufmittel; das wäre aber Verhaltensbedingung u. nicht stoffspez. Verhalten. |
| 091c SLS                                  | Dünnschichtchromatographie bestimmt Laufstrecke und Entwicklungszeit.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       |                                                                                                                                                                 |
| 091e Fragen für Unt. zu Exp.              | - Welches Wirkprinzip liegt dem Verfahren zu Grunde?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       | FD: Da Wirkprinzip bis hier noch nicht verstanden wurde, werden keine Propositionen zugeordnet                                                                  |
| 092c<br>Zusammenhänge                     | In meiner Concept Map müsste ich noch einige Punkte ergänzen bzw. überarbeiten.<br>Zum einen müsste der Unterschied einer HPLC und einer NPC deutlicher hervorgehoben werden.<br>Zum anderen müsste anhand der Apparatur deutlich gemacht werden, was genau mit der mobilen und stationären Phase gemeint ist und wie diese genau aufgebaut sind.<br>Des Weiteren könnte auch mehr auf die Verwendung der verschiedenen Methoden eingegangen werden. |       | FD: keine konkreten Aussagen; Betrachtungen überwiegend auf der Metaebene                                                                                       |
| 092c<br>Zusammenhänge                     | Auch muss ergänzt werden, was die Entwicklungszeit genau ist und welche Details von einem Chromatogramm abgelesen werden können.<br>Dabei können durchaus besondere Begrifflichkeiten, wie zum Beispiel die Anfangszeit $t_0$ aufgegriffen werden.                                                                                                                                                                                                   |       | FD: keine konkreten Aussagen; Betrachtungen überwiegend auf der Metaebene                                                                                       |
| 092e Fragen für Unt. zu Problemstellungen | - Welche Rolle spielen dabei die gelösten Substanzen (Farbstoffe)?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       | FD: kein Bezug bisherigen Aussagen herstellbar                                                                                                                  |

| Dokument-name                 | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Memos                                                                                                                                                                                                                          | Kommentar                                                                                                       |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 092f regr.-red. Erkenntnisweg | Die SuS sollen danach die Möglichkeit bekommen ihre Vermutungen über einen progressiv-reduktiv geführten Erkenntnisweg zu überprüfen.<br>Um den SuS diesen Denkprozess zu vereinfachen bietet es sich jedoch an zwischen den einzelnen Arbeitsaufträgen Vergleiche mit der gesamten Klasse durchzuführen. |                                                                                                                                                                                                                                | FD: für den angedachten progr.-regr. Erkenntnisweg ist kein Bezug zu bisherigen Aussagen herstellbar            |
| 101a Concept Map              | Probengemisch ist stoffliche Anforderung                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                 |
| 101a Concept Map              | stoffliche Anforderung ist Versuchsbestandteil                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                 |
| 101a Concept Map              | Vergleichsprobe ist stoffliche Anforderung                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                 |
| 101c SLS                      | Stoffe im AZ Str. – Eig fehlt [in Concept Map] müsste ergänzt werden<br>Stoffe im EZ fehlt [in Concept Map]<br>Operation zur Trennung fehlt [in Concept Map]                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                | FD: Vp stellt zwar fest, dass Punkte fehlen, aber führt sie nicht aus (Aufg. nicht richtig verstanden)          |
| 102c Zusammenhänge            | Daneben sollte die Polarität des Lösungsmittels und die Polarität des Laufmittels beachtet werden, denn polarere Verbindungen könnten vom Lösungs- ins Laufmittel übergehen mit dem Effekt der verminderten oder nicht mehr vorhandenen Trennleistung, dies ist wohl bei Propanol das Problem.            | FD, 01.10.18 19:23<br>Titel: Verhaltensbed. für Trennung Lösungsmittel/LM<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Vp misst Lösungsmittel zu hohe Bedeutung für Trennung bei; entscheidend sind nur WW zw. Probe – mPh – stPh. | FD: Vp misst Lösungsmittel zu hohe Bedeutung für Trennung bei; entscheidend sind nur WW zw. Probe – mPh – stPh. |
| 102c Zusammenhänge            | Die Entwicklungszeit hängt maßgeblich von den hier beschriebenen Wechselwirkungen ab, dies müsste deutlich gemacht werden.                                                                                                                                                                                | FD, 01.10.18 19:29<br>Titel: WW-Betrachtungen<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Aussage beschränkt sich auf WW zw. Probe und Lsgsm; Entwicklungszeit ist selbst Verh-bed.                                               | FD: Aussage beschränkt sich auf WW zw. Probe und Lsgsm; Entwicklungszeit ist selbst Verh-bed.                   |
| 103EI Retentionsfaktor        | Modell hat Dünnschichtchromatographie                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                 |

| Dokument-name                   | Segment                                                                                       | Memos                                                                                                                                                                                                                                                              | Kommentar                                                                                                                                                          |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 103EII Retention NPC            | stationäre Phase ist Aufbau                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                    |
| 103EIII Elutionsstärke          | mobile Phase ist NPC<br>NPC ist HPLC                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                    |
| 104L3 progr.-red. Erkenntnisweg | Zusätzlich kann mittels 8.2 weiterführend aufgestellte Prognose zur Trennleistung überprüfen. |                                                                                                                                                                                                                                                                    | FD: Aussage zu allgemein, da nur auf Abb. verwiesen wird, ohne zu untersetzen, was die Abb. zeigt.                                                                 |
| 111a Concept Map                | Einfluss von Stoffgemisch                                                                     | FD, 05.07.18 18:58<br>Titel: Einfluss von Stoffgemisch<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: „Einfluss von [Stoffgemisch]“ impliziert Verhaltensbedingung, aber Stoffgemisch ist Analyt der unter gegebenen Bed. (stPh, mPh) stoffspez. Verhalten aufweist. | FD: „Einfluss von [Stoffgemisch]“ impliziert Verhaltensbedingung, aber Stoffgemisch ist Analyt der unter gegebenen Bed. (stPh, mPh) stoffspez. Verhalten aufweist. |
| 111a Concept Map                | Wechselwirkungen über DC-Platte                                                               | FD, 01.08.20 19:21<br>Titel: WW über DC-Platte<br>Typ Label: offene Frage<br>FD: Gesamte Propositionskette ist:<br>Stoffgemisch über Transport in Laufmittel wegen verschiedener WW über/mit DC-Platte; unklar, was mit „über“ gemeint ist.                        | FD: Gesamte Propositionskette ist:<br>Stoffgemisch über Transport in Laufmittel wegen verschiedener WW über/mit DC-Platte; unklar, was mit „über“ gemeint ist.     |

| Dokument-name         | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Kommentar                         |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 111b<br>Zusammenhänge | <p>In der vorliegenden Concept-Map wurde ein gegebenes Experiment zu DC abgebildet.</p> <p>Es beinhaltet an vielen Stellen Beispiele, welche entsprechend als solche gekennzeichnet sind.</p> <p>Der obere Teil der Concept-Map ist eine Herleitung vom Allgemeinen zum Konkreten, mit dazugehöriger Problem- und Zielstellung.</p> <p>Da es sich bei der DC um eine spezielle Trennmethode handelt, sind die aus meiner Sicht spezifischen Konzepte und Relationen (für DC und Chromatographie) mit schwarz gekennzeichnet, hat also für Trennmethode wie Filtration, Extraktion, ... keinerlei Bedeutung.</p> <p>Der mittlere Teil stellt kreislaufartig gegen den Uhrzeigersinn den Ablauf der DC.</p> <p>Hierbei wurden die Konzepte mit Hilfe des Textes zum Experiment sowie den vorgelegten Lehrplan ausgewählt.</p> <p>Um die Relationen eindeutig zuordnen zu können, wurden einige mit Bleistift an ihren zugehörigen Pfeilen umkreist.</p> <p>Der untere Teil geht schon zur Auswertung des Experimentes über.</p> | <p>FD, 05.07.18 19:27</p> <p>Titel: Erklärung zur Gestaltung CMap</p> <p>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung</p> <p>FD: keine inhaltliche Übersetzung</p> <p>Propositionen der CMap wurden entsprechend dieser Ausführungen in Aufgabe 1c den jeweiligen Aspekten der SLS zugeordnet.</p> | FD: keine inhaltliche Übersetzung |
| 111c SLS              | <p>Der Aspekt des Wirkprinzips wurde im kreisförmigen Ablauf des Experiments berücksichtigt.</p> <p>Dies findet besonders beim Konzept Wechselwirkungen statt.</p> <p>In diesem Kreislauf mit dem übergeordneten Zielstellung der Chromatographie wird auch auf den experimentellen Ablauf geschaut so wie die Aspekte „Stoffe im AZ“ und „Stoffe im EZ“</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   |

| Dokument-name                 | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Memos                                                                                                                                       | Kommentar                                                |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 111c SLS                      | Der Aspekt der Bedingungen/Parameter der Trennung wurde im untersten Teil berücksichtigt mit den Konzepten Lösungsmittel, Laufmittel, Laufzeit, sowie Einfluss und Ergebnis der Trennung. Ergänzt werden kann der Aspekt der Optimierung, basierend auf den Ergebnissen des Experimentes. |                                                                                                                                             |                                                          |
| 111c SLS                      | Einfluss von Stoffgemisch                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                             |                                                          |
| 111c SLS                      | Der Aspekt der qualitativen Analyse wurde ebenso ergänzt.                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                             |                                                          |
| 112f regr.-red. Erkenntnisweg | Auswertung: Vorgabe der Strukturformeln (nicht eher) und Diskussion der Ergebnisse aufgrund der Beobachtungen.                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                             |                                                          |
| 112f regr.-red. Erkenntnisweg | <Pfeil nach rechts> aufgrund von sehr hohem Größenunterschied des Propanols Unterschiede der Wechselwirkungen mit jeweiligem Farbstoff gering, da einzelne Wechselwirkung geringer                                                                                                        | FD, 01.08.20 19:22<br>Titel: WW Propanol mit Farbstoffen<br>Typ Label: offene Frage<br>FD: Begründung „..., da einzelne WW geringer“ unklar | FD: Begründung „..., da einzelne WW geringer“ unklar     |
| 113EI Retentionsfaktor        | HPLC yield with same components                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                             |                                                          |
| 113EI Retentionsfaktor        | stationary phase divided with mobile phase<br>stationary phase stops fractional migration                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                             |                                                          |
| 113EI Retentionsfaktor        | TLC yield with same components                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                             |                                                          |
| 113EI Retentionsfaktor        | (+ plus same conditions)<br>Die mit Bleistift umrandeten Relationen sind zur besseren Übersichtlichkeit angefertigt worden, diese zeigen an, mit welchem Relationspfeil eine Relation zusammengehört.                                                                                     |                                                                                                                                             |                                                          |
| 113EII Retention NPC          | chromatography e. g. NPC<br>normal phase - chromatography                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                             | FD: Keine Zuordnung, da NPC falsch charakterisiert wurde |
| 113EII Retention NPC          | components could stay in mixture                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                             |                                                          |
| 114 Leitfragen                | Ionische WW treten im hier aufgeführten Beispiel mit auf. [gemeint ist sicherlich „nicht“ statt „mit“]                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                             |                                                          |

| Dokument-name      | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Kommentar                                                                                                                                                                                               |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 114 Leitfragen     | Die Elutionskraft der Laufmittel kann daran festgestellt werden, dass das Laufmittel chem. möglich viele und am besten starke WW mit den Komponenten aufweist.                                                                                                                                                                                                     | FD, 06.07.18 10:11<br>Titel: Elutionskraft StrM<br>Typ Label: Gründe für/<br>Fragen zu Änderung in<br>der Codierung<br>FD: Aussage ist zu unspezifisch; entscheidend ist, wie stark die WW d. LM mit d. stationären Phase ist, die wiederum bestimmt, wie gut LM Analyt verdrängt oder selbst v. Analyt verdrängt werden kann. | FD: Aussage ist zu unspezifisch; entscheidend ist, wie stark die WW d. LM mit d. stationären Phase ist, die wiederum bestimmt, wie gut LM Analyt verdrängt oder selbst v. Analyt verdrängt werden kann. |
| 131a Concept Map   | einheitliche Markierung ist obere Linie<br>einheitliche Markierung ist untere Linie                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                         |
| 131c SLS           | einheitliche Markierung ist obere Linie<br>einheitliche Markierung ist untere Linie                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                         |
| 132c Zusammenhänge | Die Begrifflichkeit der stationären und mobilen Phase muss korrigiert werden.<br>Allerdings wird aus dem Text nicht eindeutig klar, was darunter zu verstehen ist.<br>Jedoch meint zumindest die stationäre Phase die Teilchenebene.                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                         |
| 132c Zusammenhänge | Außerdem kann der quantitative Aspekt in die SLS aufgenommen werden, welcher gleichzeitig Potential für UR-Fragen mitbringt.<br><br>Die Einflussfaktoren (äußere Bed.) können ergänzt werden u. zeigen ebenfalls neue Ansatzpunkte für die Erarbeitung im UR auf.<br><br>Auch der Aspekt der Teilchenebene, also die intramolekularen Vorgänge, fehlen in der SLS. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                         |

### 19.8 Experimentelle Befunde zur Trennung des Farbstoffgemisches mit einer Umkehrphase

Alternativ die Elutionswirkung verschieden starker Laufmittel auf einer Umkehrphase (RP18) zur Trennung des Farbstoffgemisches auszutesten, ist aus didaktischer Sicht ungünstig, wenn Lernende sich noch schwer tun, das Wirkprinzip chromatografischer Trennungen zu verstehen. Problematisch ist dabei Folgendes:

1. Die Beurteilung, wie sich die Farbstoffe in der Stärke ihrer Wechselwirkungen mit einer Umkehrphase unterscheiden ist komplexer. Unterschiede sind nicht nur auf die Unterschiede in der Anzahl der polaren Gruppen zurückzuführen, sondern auch auf die Molekülgröße.
2. Die verwendeten Laufmittel wie Ethanol/Propanol und Toluol verändern die Analyten Buttergelb und Indophenol auf einer Umkehrphase chemisch. Buttergelb erscheint rot durch Protonierung der Azogruppe. Indophenol ist nach dem Trennvorgang gar nicht mehr sichtbar. Auch hier scheinen die chromophoren Gruppen (Iminogruppe und Ketogruppe) protoniert worden zu sein. Laufverhalten kann von Indophenol daher nicht beurteilt werden, da nur Sudanrot G und Buttergelb nach dem Trennvorgang sichtbar sind.
3. Bei Hexan bleiben alle Farbstoffe an der Startlinie. d. h. auch wenn Hexan genauso hydrophob/unpolar wie eine Umkehrphase (z. B. RP2 oder RP18) ist, sind die Wechselwirkungen zu stationären Phase und zum Analyten nicht stark genug, um Analyt von der stationären Phase zu lösen.
4. Bei RP-Trennungen von hydrophoben Analyten werden in der Regel Laufmittelmische aus organischen Lösungsmitteln eingesetzt, um optimale Trennergebnisse zu erreichen. Die Epsilon-Werte der reinen Laufmittel, für die es Angaben in einer elutropen Reihe für RP18 gibt, liegen zwischen 1 und 11,7. Für optimale Trennungen sollten die Werte deutlich unter 1 liegen.
5. Um Selektivität der Laufmittelmischung zu erhöhen, müssen möglichst Laufmittel gemischt werden, die aus möglichst voneinander entfernt liegenden Selektivitätsklassen kommen (s. Selektivitätsdreieck nach Snyder in Geiss 1987:287).

Beispiele aus der elutropen Reihe für RP18; Trennungen wurden mit Farbstoffgemisch durchgeführt, das neben Indophenol, Sudanrot und Buttergelb noch Sudanblau enthielt:

- Hexan: keine Angaben, daher ungeeignet, aber Hexan wird für Laufmittelmischungen eingesetzt
- Toluol: keine Angaben, daher ungeeignet; Trennung von Sudanrot und -blau; zweiter roter langgezogener Fleck erscheint oberhalb von Sudanblau (könnte an Azogruppe protoniertes Buttergelb sein); Indophenol ist nicht sichtbar
- Wasser: keine Angabe, hat keine Elutionskraft, da Wassermoleküle keinerlei hydrophoben Anteile haben, dass unpolare stationäre Phase benetzt werden könnte. Farbstoffe würden sich in Wasser auch nicht lösen, daher ungeeignet für lipophile Analyten; Wasser müsste mit einem organischen Lösungsmittel gemischt werden, das

einerseits in Wasser löslich ist und andererseits Wechselwirkungen mit der unpolaren stationären Phase und den lipophilen Analyten eingehen kann; häufig eingesetzt wird Acetonitril; Versuch mit 20 % Aceton ergab, dass Analyten an der Startlinie blieben

- Methanol: hohe Elutionskraft ( $\epsilon = 1$ , definierter Wert); Analyten laufen bis zum oberen Drittel der Laufstrecke des Laufmittels; nur Sudanrot und Sudanblau sind sichtbar; Sudanrot ist überlagert von Sudanblau; zweiter roter Fleck erscheint oberhalb des Sudanrots (könnte an Azogruppe protoniertes Buttergelb sein)
- Ethanol: hohe Elutionskraft ( $\epsilon = 3,1$ ); Analyten laufen bis zum oberen Drittel der Laufstrecke des Laufmittels; nur Sudanrot und Sudanblau sind sichtbar und leicht getrennt; Sudanblau ist überlagert von anderen Farbstoffen; Buttergelb könnte wieder an Azogruppe protoniert sein
- Propanol: sehr hohe Elutionskraft ( $\epsilon = 10,1$ ); Analyten laufen bis zum oberen Viertel der Laufmittelfront; nur Sudanrot und Sudanblau sind sichtbar, wobei Sudanblau von zweitem roten Fleck überlagert ist (könnte an Azogruppe protoniertes Buttergelb sein)

Keine der Trennungen führte zu einem zufriedenstellenden Ergebnis.





## 20 Anhang zu Kapitel 13

### 20.1 Liste falscher Propositionen

| Dok.                    | Segment                                                             | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 014<br>Leitfragen FD2   | Diese [Elutionskraft] ist bei Buttergelb größer als bei Indophenol. | <p>FD, 22.02.19 11:15<br/>           Titel: Elutionskraft/Laufstrecke<br/>           Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br/>           Mit der Proposition „Diese [Elutionskraft] ist bei Buttergelb größer als bei Indophenol“ ist gemeint, dass Buttergelb eine höhere Laufstrecke als Indophenol zurücklegt, daher wurden K15Q_04 und K15Q_05. Einschränkend muss hier konstatiert werden, dass Vp nicht verstanden hat, dass sich Elutionskraft nur auf Laufmittel bezieht. Analyten haben keine Elutionskraft. Sie werden nur je nach Elutionskraft des Laufmittels unterschiedlich gut mitgeführt.</p> <p>FD, 10.08.18 15:15<br/>           Titel: Elutionskraft<br/>           Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn</p> <p>Vp hat nicht verstanden, dass sich Elutionskraft nur auf Laufmittel bezieht. Analyten haben keine Elutionskraft. Sie werden nur je nach Elutionskraft des Laufmittels unterschiedlich gut mitgeführt.</p> |
| 014<br>Leitfragen FD2   | Toluol hingegen ist durch die OH-Gruppe polar,                      | <p>FD, 22.02.19 16:59<br/>           Titel: Strukturformel Toluol<br/>           Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn</p> <p>Toluol hat eine Methylgruppe, aber keine OH-Gruppe.</p> <p>Erschwert wird die Interpretation des Segmentes durch die grammatischen (Personalpronomen Toluol ist „es“ und nicht „er“) und fachlichen Fehler (Toluol hat eine Methylgruppe und keine OH-Gruppe am Benzolring; Propanol hat eine Propylgruppe, die sich aus nur einer Methyl- und einer Ethylengruppe zusammensetzt).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 031a<br>Concept Map FD2 | Farbstoffgemisch wechselwirkt nicht mit Hexan                       | <p>FD, 27.07.19 09:26<br/>           Titel: WW keine/optimal/zu stark<br/>           Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br/>           Die Zuordnung der Codes zu den jeweiligen Trennergebnissen erfolgt erst in 1c, da erst in 1c eindeutig der substanzspezifische Aspekt zugeordnet wird.</p> <p>Code „K05B_04“ wird gelöscht (27.07.2019), s. Memo bei Dokument 121b</p> <p>FD, 16.08.18 13:59<br/>           Titel: WW Analyt m. mPh<br/>           Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn</p> <p>Farbstoffgemisch wechselwirkt sehr viel stärker mit der stPh als mit der mPh.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

| Dok.                                        | Segment                                                                                                             | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 031b<br>Zu-<br>sam-<br>men-<br>hänge<br>FD2 | Bei Hexan verbleibt die Substanz an der Startlinie, weil sie nicht mit dem Laufmittel wechselwirkt.                 | <p>FD, 27.07.19 09:37<br/>           Titel: Hexan keine WW mit Analyt<br/>           Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br/>           Schwierig bei der Codierung dieses Segmentes ist die Verneinung. Wechselwirkungen zwischen Laufmittel und Analyt werden betrachtet, auch wenn sie als so gering eingeschätzt werden, dass sie als nicht vorhanden eingestuft werden. Der Code „K05B_04 Hexan hat WW mit Analyt“ ist die allgemeine Aussage, die dann für jeden einzelnen Farbstoff im Codesystem spezifiziert wird. Diese Unterscheidung trifft die Vp allerdings nicht.<br/>           Insgesamt ist die Begründung fachlich unzureichend, denn die Analyten haben mit der mobilen Phase nur deutlich schwächere Wechselwirkungen als mit der stationären Phase. Letztere wird hier gar nicht bei der Begründung berücksichtigt. Daher werden weder „K05B_04 Hexan hat WW mit Analyt“ noch „K22W_01 Laufmittel hat WW mit Analyt“ zugeordnet.</p> <p>FD, 16.08.18 13:47<br/>           Titel: Trennergebnis m. Hexan<br/>           Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br/>           Begründung ist falsch. WW d. Analyten mit stPh ist nur stärker als m. mPh</p> |
| 031c<br>SLS<br>FD2                          | Farbstoffgemisch wechselwirkt nicht mit Hexan                                                                       | <p>FD, 27.07.19 09:42<br/>           Titel: WW keine/optimal/zu stark<br/>           Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br/>           Ursprünglich wurden nur die Codes „K07B_05 Toluol hat WW mit Analyt“ und „K06B_05 Propanol hat WW mit Analyt“ zugeordnet. Beide Propositionen stammen aus der Concept Map in Aufgabe 1a und wurden in 1c dem substanzspezifischem Verhalten zugeordnet. Damit beziehen sich die Adverben „optimal“ und zu stark“ auf die Trennergebnisse.<br/>           Code „K05B_04“ wird gelöscht (27.07.2019), s. Memo bei Dokument 121b</p> <p>FD, 16.08.18 14:00<br/>           Titel: WW Analyt m. mPh<br/>           Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn</p> <p>Farbstoffgemisch wechselwirkt sehr viel stärker mit der stPh als mit der mPh.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 034<br>Leitfra-<br>gen FD2                  | b) Die Polarität der Komponenten muss ermittelt werden – daraus können Aussagen zur Elutionskraft getroffen werden. | <p>FD, 20.08.18 10:46<br/>           Titel: Elutionskraft u. Polarität<br/>           Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn</p> <p>Elutionskraft ist nicht aus Polarität der Komponenten ableitbar, sondern daraus, wie stark LM und stPh miteinander in WW treten können. Bei polarer stPh hat das LM die stärkste Elutionskraft, das am polarsten ist.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

| Dok.                                | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 043EII<br>Retenti-<br>on NPC<br>FD2 | Siliciumoberfläche Ionen-<br>austausch mit andere pola-<br>rer Stoff<br>polarer Stoff gering/kein Io-<br>nenaustausch mobile Phase                                                                                                                                                                                                                                                                             | FD, 09.04.19 15:53<br>Titel: Ionenaustausch<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Bei NPC geht es nicht um Ionenaustausch                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 044<br>Leitfra-<br>gen FD2          | [Strukturformel: Hexan =><br>bildet H2-Brückenbdg. als<br>WW]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | FD, 20.08.18 15:29<br>Titel: H-Brückenbindung<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Es kann keine H-Brückenbindung zu einer CH <sub>3</sub> -Gruppe ausgebildet werden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 044<br>Leitfra-<br>gen FD2          | CH <sub>3</sub> <Doppelpfeil: H <sub>2</sub> -Brü-<br>ckenbindung>N                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | FD, 20.08.18 15:30<br>Titel: H-Brückenbindung<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Es kann keine H-Brückenbindung zu einer CH <sub>3</sub> -Gruppe ausgebildet werden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 044<br>Leitfra-<br>gen FD2          | Das Laufmittel Hexan geht<br>mit den Stoffen nur sehr<br>schwache H <sub>2</sub> -Brückenbin-<br>dungen ein, sodass die Elu-<br>tionskraft sehr gering ist.                                                                                                                                                                                                                                                    | FD, 20.08.18 15:41<br>Titel: Begründung Elutionskraft<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Mit Stoffen ist voraussichtl. Analyt gemeint. Entscheidend für die Elutionskraft ist, wie stark das LM mit der stat. Phase ww kann und somit kaum von der stat. Phase durch den Analyten verdrängt werden kann, was zur Folge hat, dass der Analyt bis zur LM-Front transportiert wird.<br><br>Außerdem bildet Hexan kein H-Brückenbindung aus.                                                                                                                     |
| 044<br>Leitfra-<br>gen FD2          | Der gelbe Farbstoff hat die<br>höchste Polarität, während<br>der blaue Farbstoff die ge-<br>ringste Polarität aufweist.<br>Ursächlich für diese These<br>ist, dass sich die Stoffe mit<br>zunehmender Polarität<br>schneller bewegen, als<br>schwächerpolare Stoffe.<br>Um welchen Stoff es sich<br>handelt ist nicht zuzuord-<br>nen, da die Farben nicht den<br>konkreten Stoffnamen zuge-<br>ordnet werden. | FD, 20.08.18 15:51<br>Titel: Polarität Farbstoffe anhand RF<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Vp geht davon aus, dass die polarsten Stoffen am stärksten mit Propanol, dem polarsten Laufmittel wechselwirken. Propanol ist das Laufmittel, bei dem alle Stoffe bis zur Laufmittelfront wandern.<br><br>Das Fehlkonzept besteht darin, dass Buttergelb am polarsten eingestuft wird, weil es am weitesten gewandert ist. Nur ist hier das Laufmittel Toluol, das nur gering polar ist. Die WW mit der polaren stationären Phase werden außer Acht gelassen. |
| 044<br>Leitfra-<br>gen FD2          | Die H <sub>2</sub> -Brückenbindung<br>des Hexans mit dem Stoff-<br>gemisch ist hingegen so ge-<br>ring, dass das Stoffgemisch<br>an der Startlinie verbleibt                                                                                                                                                                                                                                                   | FD, 20.08.18 15:34<br>Titel: H-Brückenbindung u. Stärke<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Es kann keine H-Brückenbindung zu einer CH <sub>3</sub> -Gruppe ausgebildet werden. H-Brückenbindungen werden zwischen positiv H-Atomen u. freien Elektronenpaaren elektronegativer Elemente gebildet. Sie sind die stärksten zwischenmolekularen WW.                                                                                                                                                                                                             |

| Dok.                           | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 063EIII<br>Elutions-<br>stärke | Epsilon ist konstant und stets kleiner als Epsilon Null, da die Farbstoff-Moleküle gelöst bleiben (<entspricht> in der mobilen Phase)                                                                                                                                                                           | FD, 13.09.18 10:51<br>Titel: Kenngröße Epsilon<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Richtig wäre, dass Epsilon deutlich größer als null ist.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 064<br>Leitfragen              | mobile Phase<br>stationäre Phase<br>1) Dipol-Dipol<br>1) sterische WW<br>2) H-Brücken-Bindung (spielen keine Rolle bei Experiment)<br>2) Hydrophobizität<br><br>3) H-Brücken-Bindung (spielen keine Rolle bei Experiment)<br><br>Wechselwirkungen sind nach Stärke sortiert, starke WW oben, schwache WW unten. | FD, 13.09.18 11:06<br>Titel: Stärke WW<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung K37W_02 wurde nicht zugeordnet, weil H-Br. schwächer als Dip-Dip. eingestuft wurden.<br><br>FD, 13.09.18 11:01<br>Titel: Stärke WW<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Richtig wäre, dass H-Brücken-B. stärker als Dipol-Dipol u. hydrophobe WW ist und im Experiment eine entscheidende Rolle spielen.                                                                                |
| 071b<br>Zusammenhänge          | <Folgepfeil> Neben den stofflichen Zusammenhängen ist auch die Syntheseparatur ein wichtiger „Bestandteil“ des Experimentes.                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 073EI<br>Retention-<br>sfaktor | <Folgepfeil> k=nicht ermittelbar <Pfeil nach rechts><br>Hexan nicht geeignet für HPLC<br>$V_s/V_m = „konst.“$ , aber $C_s/C_m$ nicht ermittelbar, da keine Komponente in Hexan gelöst.                                                                                                                          | FD, 13.09.18 15:00<br>Titel: Eignung LM<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung „Keine Komponente in Hexan gelöst“ impliziert, dass Stoffm Analyt in Hexan gering ist.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 073EII<br>Retention-<br>on NPC | (Wechselwirkungen über Pi-Systeme)<br><gewinkelter Pfeil> [alle drei Komponenten] wechselwirken sehr unterschiedlich mit stationärer Phase                                                                                                                                                                      | FD, 08.08.19 14:26<br>Titel: WW Analyt mit Silicagel/Adsorbens<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung K20W_03 Silicagel ist (Ad)Sorbens wird als Verbindung zu K10A_06, K11A_07 benötigt<br><br>FD, 14.09.18 15:17<br>Titel: Pi-Pi-WW<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Vp führt unterschiedlich starken WW d. Analyten mit stat. Phase auf Pi-Pi-WW zurück - das ist allerdings falsch. Entscheidend sind die WW der unterschiedl. polaren funktionellen Gruppen. |

| Dok.                      | Segment                                                                                                                                                                    | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 074<br>Leitfragen         | 1) Wechselwirkungen in Dispersionen                                                                                                                                        | FD, 17.09.18 12:53<br>Titel: Dispersionskräfte<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>„Wechselwirkungen in Dispersionen“ ist falsche Übersetzung „dispersion interactions“; aber Erklärung passt zu v d W-Kräften                                                         |
| 081a<br>Concept Map       | Farbstoffgemisch (Stoffe) testen mit versch. Lösungsmitteln (Stoffe)                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 081b<br>Zusammenhänge     | Das Farbstoffgemisch wird mit verschiedenen Lösungsmitteln getestet.                                                                                                       | FD, 17.04.19 15:44<br>Titel: Verhaltensbedingung LM<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung<br>FG wird in verschiedenen Laufmitteln getestet impliziert, dass unter versch. Bed. Trennergebnis betrachtet wird, daher Zuordnung von K01V_05 u. K02V_11 |
| 081b<br>Zusammenhänge     | Toluol ist geeignet für DC und hat WW, die geeignet für Auswertung über RF-Wert sind.<br><br>Hexan und Propanol haben WW, die ungeeignet für Auswertung über RF-Wert sind. |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 081c<br>SLS               | Farbstoffgemisch (Stoffe) testen mit versch. Lösungsmitteln (Stoffe)                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 083EI<br>Retentionsfaktor | großes Molekül läuft langsam über Kieselgel, da träge, aber keine WW mit Kieselgel<br><Folgepfeil> keine Absorption [FD: Vp meint Adsorption]                              |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 083EI<br>Retentionsfaktor | k ist Verhältnis von LM in stat. Ph. zu LM in mob. Ph., daraus wird k berechnet<br><Pfeil nach rechts> $csVs/cmVm$                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 083EI<br>Retentionsfaktor | Positionen von getrennten Banden auf TLC kann für passende Kolonnentrennung abgeschätzt werden                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                             |

| Dok.                          | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Memos                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 083EI<br>Retentio<br>nsfaktor | Retentionsfaktor k wird definiert als Menge LM in stat. Ph. (s) geteilt durch Menge LM in mob. Ph. (m)<br>Menge an LM in jeder Phase = Konz. * Phasenvolumen<br><Folgepfeil> $k = (C_s V_s / C_m V_m)$<br>[FD: „solute“ wird von Vp mit LM übersetzt; aber „solute“ ist gelöster Stoff] |                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 083EI<br>Retentio<br>nsfaktor | Verhältnis von LM stat. Ph. (s)<br>LM stat. Ph. (s) berechnet aus $C_s V_s / C_m V_m$<br>LM mob. Ph. berechnet aus $C_s V_s / C_m V_m$<br>LM stat. Ph. (s) zu LM mob. Ph.                                                                                                               | FD, 18.04.19 14:29<br>Titel: k-Wert<br>Typ Label: Gründe für/Fragen zu Änderung in der Codierung K13Q_07 wird nicht zugeordnet, weil Vp den LM-Anteil in den jeweiligen Phasen betrachtet, also Def. d. k-Wertes nicht verstanden hat.                     |
| 083EII<br>Retenti-<br>on NPC  | Da im Text CB die Probe ist könnte sich T schlecht auf die Trennleistung auswirken, da es CB verdrängt bzw. eine Verdrängung durch CB nicht zulässt.                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 083EII<br>Retenti-<br>on NPC  | Hexan ist wahrscheinlich durch seine Größe zu träge für eine gute Trennung und zu unpolar daher kein geeignetes Trennmittel, in Bezug auf CB als Probe                                                                                                                                  | FD, 18.09.18 11:11<br>Titel: Erläuterung Trennergebnis Hexan<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Bezug falsch; Vp bezieht sich nicht auf Stoffe im Experiment; Probe im Experiment ist nicht Chlorbenzol (CB); Vp vermischt Inhalte aus Text und Exp. |
| 083EII<br>Retenti-<br>on NPC  | scheint als LM geeigneter, da es polarer als Toluol ist, aber kleiner und somit durch CB verdrängt werden kann                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 083EIII<br>Elutions<br>stärke | Epsilon steht für LM Stärke von ungebundenen LM als Kolonnenüberzug                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 084<br>Leitfrag<br>en         | <Strukturformel Methan mit Delta Minus am C-Atom<br><Pfeil nach rechts> Dipol>                                                                                                                                                                                                          | FD, 23.04.19 12:10<br>Titel: Methan inDipol<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Bei Methan spielen nur indDipol-Kräfte eine Rolle                                                                                                                     |

| Dok.                      | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                       | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 084<br>Leitfragen         | Buttergelb<br>besitzt 2x CH <sub>3</sub> -Gruppe<br><Pfeil nach rechts> Bildung WBB<br>besitzt –N=N– <Pfeil nach rechts> Bildung WBB<br>alles nicht so super polar<br>[bezieht sich auf beide Aussagen]<br><br>ABER: nur schwache WBB<br>bzw. kann WW mit polarer stat. Phase | FD, 04.07.18 09:27<br>Titel: H-Brückenbindung<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: keine Bildung von WBB an CH <sub>3</sub> - u. Azogruppen                                                                                                                                                                                |
| 084<br>Leitfragen         | da Propanol zu polar ist, um Farbstoffe zu lösen bzw. in WW mit stat. Ph. zu bringen                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 084<br>Leitfragen         | Elutionskraft hängt von Stärke des LM ab.                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 103EI<br>Retentionsfaktor | Daraus folgt, dass k nicht bestimmt werden kann.                                                                                                                                                                                                                              | FD, 01.10.18 19:35<br>Titel: k-Wert<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Codierung k-Wert nicht vorgenommen, denn k-Wert würde gegen unendl. tendieren                                                                                                                                                                         |
| 103EI<br>Retentionsfaktor | k-Faktor ist definiert als Verhältnis von LM in stat. Phase zu LM in mobiler Phase                                                                                                                                                                                            | FD, 01.10.18 19:43<br>Titel: k-Wert<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Vp hat Def. v. k-Wert falsch verstanden; es geht um die untersch. Konz. der Probe in mPh bzw. stPh<br>Codierung Def. k-Wert nicht vorgenommen, denn Vp sagt nicht explizit, dass es um die Konz.-Verhältnis d. Analyten in den jeweiligen Phasen geht |
| 103EI<br>Retentionsfaktor | Migrationsfaktor RF ist definiert als Verhältnis von Bewegung eines Stoffes vom Originalpunkt zur Lösungsmittelfront                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 103EIII<br>Elutionsstärke | Im Experiment wurde es daran deutlich, dass das Stoffgemisch nicht in Hexan gelöst wurde und folglich keine Auftrennung erfolgte.                                                                                                                                             | FD, 09.08.19 20:04<br>Titel: Löslichkeit Analyt in Hexan<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>Analyten sind in Hexan löslich, aber werden durch polare Gruppen stärker an der stPh gebunden, als dass Hexan sie von der stPh lösen könnte.                                                                                     |
| 104<br>Leitfragen         | Hexan und die stationäre Phase zeigen keinerlei Wechselwirkungen, ebenso wenig wie Toluol.                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |



| Dok.                         | Segment                                                                                                                                                                                                                        | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 113EII<br>Retenti-<br>on NPC | mixture has effect on<br>unbonded silica<br>mixture is stationary pha-<br>se<br>mixture of hexane<br>mixture of methylene<br>chloride                                                                                          | FD, 05.07.18 21:46<br>Titel: Methylenchlorid mPh u. Chlorbenzol Analyt<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: Text falsch verstanden; Stoffgemisch ist nicht die stationäre<br>Phase; Methylenchlorid ist mPh, die an stPh haftet und von Chlor-<br>benzol (Analyt) ersetzt werden kann. |
| 113EII<br>Retenti-<br>on NPC | mobile phase e. g. unbonded<br>silica                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 113EII<br>Retenti-<br>on NPC | mobile phase which is<br>polar<br>NPC normal phase - chro-<br>matography uses mobile<br>phase<br>NPC normal phase - chro-<br>matography uses stationary<br>phase<br>stationary phase which is<br>less polar                    | FD, 05.07.18 21:32<br>Titel: NPC<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: In NPC ist stPh polarer als die mPh                                                                                                                                                                              |
| 113EII<br>Retenti-<br>on NPC | stationary phase e. g.<br>mixture<br>stationary phase is displa-<br>ced by polar components<br>stationary phase stays on<br>the mobile phase<br>unbonded silica has effect<br>on mixture<br>unbonded silica is<br>mobile phase |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 114<br>Leitfrag<br>en        | Azogruppe d. Buttergelbs u.<br>dem H-Atom vom Propyl-<br>OH                                                                                                                                                                    | FD, 06.07.18 09:42<br>Titel: Azogruppen u. H-Brücken<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: Azogruppen bilden keine H-Brückenbindungen aus.                                                                                                                                              |
| 114<br>Leitfrag<br>en        | Azogruppe d. Buttergelbs u.<br>dem H-Atom vom Si-OH<br>H-Atom d. SiOH-Gruppe<br>und dem N-Atom d.<br>N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -Gruppe des<br>Buttergelbs                                                               | FD, 27.07.19 08:49<br>Titel: H-Brückenbindung<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: Azogruppen und das N-Atom d. Diethylaminogruppe bilden<br>keine H-Brückenbindungen aus.                                                                                                             |
| 114<br>Leitfrag<br>en        | Azogruppe d. Buttergelbs u.<br>dem Si-Atom vom Si-OH                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 114<br>Leitfrag<br>en        | Azogruppe d. Sudanrots G<br>u. dem H-Atom vom Pro-<br>pyl-OH                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| Dok.                | Segment                                                                                                                                                                                                                                                 | Memos                                                                                                                                                                       |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 114<br>Leitfragen   | van der Waals-Kräfte zwischen:<br>Propylgruppe u. dem Si-Atom d. stat. Phase<br>Propylgruppe u. dem H-Atom d. SiOH-Gruppe<br>Propylgruppe u. dem N-Atom der Iminogruppe d. Indophenols<br>Propylgruppe u. der Azogruppe d. Buttergelbs und Sudanrots G] | FD, 27.07.19 08:50<br>Titel: van der Waals-Kräfte<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: van der Waals-Kräfte werden nicht zu einzelnen Atomen ausgebildet.           |
| 121a<br>Concept Map | Hexan (Strukturformel) hat keine WW mit Buttergelb<br>Hexan (Strukturformel) hat keine WW mit Indophenol<br>Hexan (Strukturformel) hat keine WW mit Sudanrot G                                                                                          | FD, 06.07.18 11:03<br>Titel: WW Hexan mit Analyt<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: Hexan hat WW mit Analyt, aber Analyt hat stärkere WW mit stPh.                |
| 121a<br>Concept Map | Propanol (Strukturformel) besitzt gute Eignung zur Trennung dieses Gemischs                                                                                                                                                                             | FD, 06.07.18 11:05<br>Titel: LM Propanol – Eignung<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: Propanol bewirkt keine Trennung, sondern führt Analyt bis zur LM-Front mit. |
| 121a<br>Concept Map | Toluol (Strukturformel) besitzt schlechte Eignung zur Trennung dieses Gemischs                                                                                                                                                                          | FD, 06.07.18 11:18<br>Titel: LM Toluol – Eignung<br>Typ Label: Fehlkonzepte d. Vpn<br><br>FD: Toluol führt zu optimaler Trennung                                            |
| 121c<br>SLS         | Hexan (Strukturformel) hat keine WW mit Buttergelb<br>Hexan (Strukturformel) hat keine WW mit Indophenol<br>Hexan (Strukturformel) hat keine WW mit Sudanrot G                                                                                          |                                                                                                                                                                             |

## 20.2 Ausgewählte Tabellen und Abbildungen aus Snyder et al. (2010)

### 20.2.1 Zu Trennprinzipien

Tab. A 25: Table 2.1 aus Snyder et al. (2010:22)

| Table 2.1                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| HPLC Separation Modes                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                        |
| Chromatographic Mode                             | Comment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Details In             |
| Reversed-phase chromatography (RPC)              | The column is nonpolar (e.g., C <sub>18</sub> ), and the mobile phase is a polar mixture of water plus organic solvent (e.g., acetonitrile); RPC is the most widely used mode, especially for water-soluble samples.                                                                                                           | Chapter 6, Section 7.3 |
| Normal-phase chromatography (NPC)                | The column is polar (e.g., unbonded silica), and the mobile phase is a mixture of less-polar organic solvents (e.g., hexane plus methylene chloride); NPC is used mainly for water-insoluble samples, preparative HPLC, and the separation of isomers.                                                                         | Chapter 8              |
| Non-aqueous reversed-phase chromatography (NARP) | The column is nonpolar (e.g., C <sub>18</sub> ), and the mobile phase is a mixture of organic solvents (e.g., acetonitrile plus methylene chloride); NARP is used for very hydrophobic, water-insoluble samples.                                                                                                               | Section 6.5            |
| Hydrophilic interaction chromatography (HILIC)   | The column is polar (e.g., silica or amide-bonded phase), and the mobile phase is a mixture of water plus organic (e.g., acetonitrile); HILIC is useful for samples that are highly polar and therefore poorly retained in RPC.                                                                                                | Section 8.6            |
| Ion-exchange chromatography (IEC)                | The column contains charged groups that can bind sample ions of opposite charge, and the mobile phase is usually an aqueous solution of a salt plus buffer; IEC is useful for separating ionizable samples such as acids or bases, and especially for the separation of large biomolecules (e.g., proteins and nucleic acids). | Sections 7.5, 13.4.2   |
| Ion-pair chromatography (IPC)                    | RPC conditions are used, except that an ion-pair reagent is added to the mobile phase for interaction with sample ions of opposite charge; IPC is useful for the separation of acids or bases that are weakly retained in RPC.                                                                                                 | Section 7.4            |
| Size-exclusion chromatography (SEC)              | An inert column is used with either an aqueous or organic mobile phase; SEC provides separation on the basis of molecular weight and is used mainly for large biomolecules or synthetic polymers.                                                                                                                              | Section 13.8           |

## 20.2.2 Zu Aufgabe 4L3.2

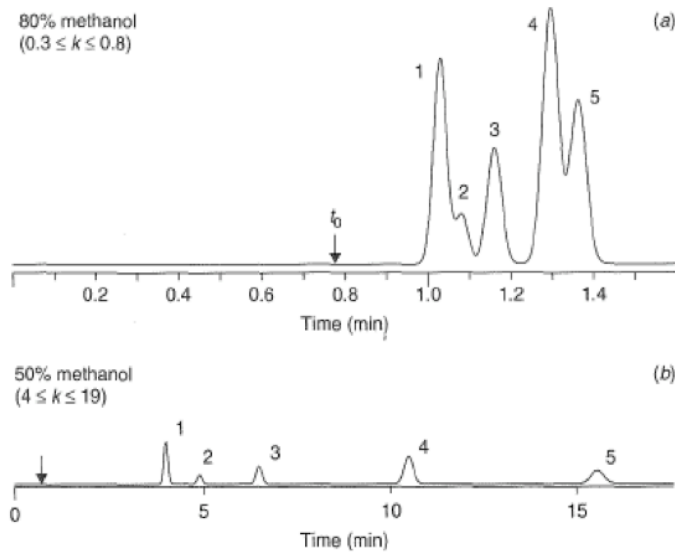


**Figure 2.6** Separation as a function of mobile phase %B (%v methanol). Herbicide sample: 1, monolinuron; 2, metobromuron; 3, diuron; 4, propazine; 5, chloroxuron. Conditions, 150 × 4.6-mm, 5-μm C<sub>18</sub> column; methanol/water mixtures as mobile phase; 2.0 mL/min; ambient temperature. Recreated chromatograms from data of [7].

Abb. A 19: Figure 2.6 aus Snyder et al. (2010: 30)

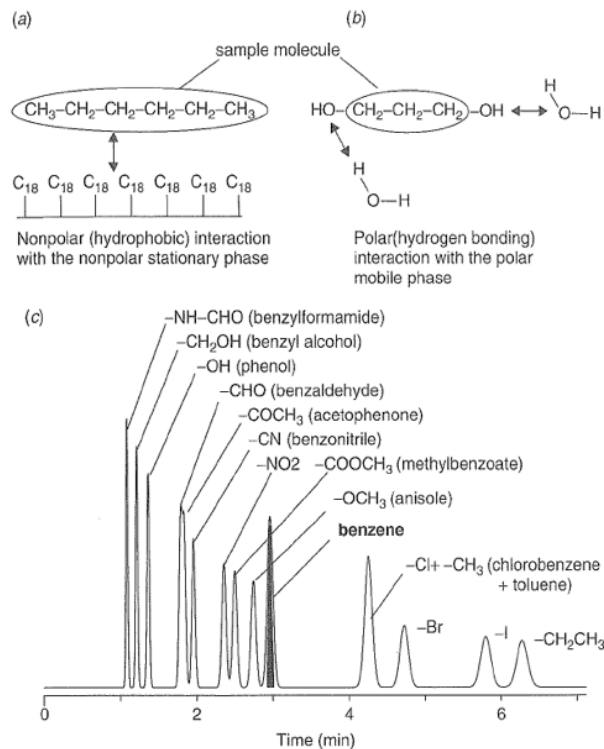


**Figure 2.7** Sample polarity and retention. Illustration of the interaction of a nonpolar sample solute with the stationary phase (a) and of a polar solute with the mobile phase (b); (c) effect of different substituents on the retention of monosubstituted benzenes; 150 × 4.6-mm Hypersil C<sub>18</sub> column, 50% acetonitrile/water as mobile phase, 25°C, 2 mL/min; recreated chromatogram from data of [8].

Abb. A 20: Figure 2.7 aus Snyder et al. (2010: 31)

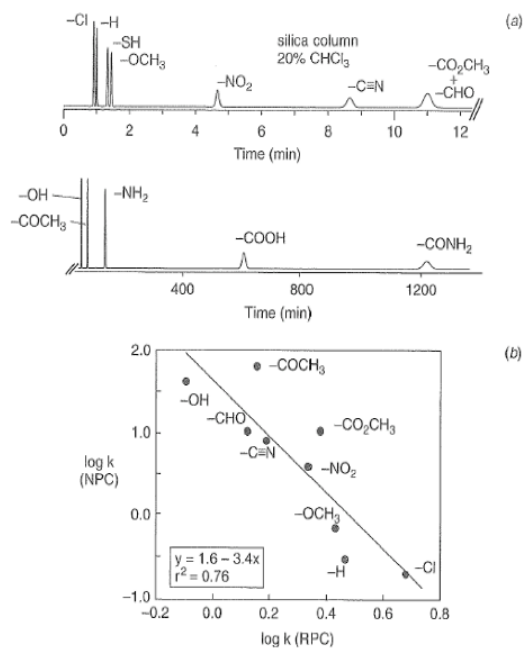


**Figure 8.1** Example of normal-phase retention as a function of solute polarity. Sample: mono-substituted benzenes (substituents indicated for each peak; e.g., -H is benzene, -Cl is chlorobenzene). Conditions: 150 × 4.6-mm silica (5-μm particles); 20% CHCl<sub>3</sub>-hexane mobile phase; ambient temperature; 2.0 mL/min. (a) Chromatogram is recreated from data of [1]; (b) retention of (a) compared with RPC retention from Figure 2.7c for benzenes substituted by the same functional group (50% acetonitrile-water as RPC mobile phase).

Abb. A 21: Figure 8.1 aus Snyder et al. (2010: 364)

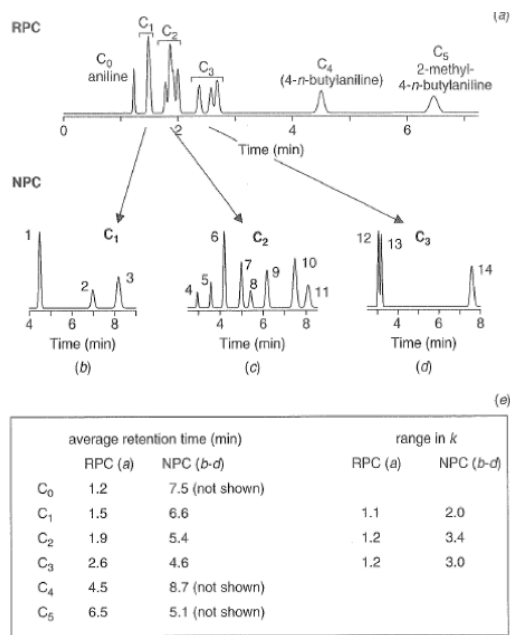


**Figure 8.2** Comparison of NPC separation (a) with RPC separation (b-d) for a mixture of alkyl-substituted anilines. Conditions: 150 × 4.6-mm C<sub>8</sub> column (5-μm particles) in (a), 150 × 4.6-mm cyano column (5-μm particles) in (b-d); mobile phase is 60% methanol-pH-7.0 buffer in (a), and 0.2% isopropanol-hexane in (b); ambient temperature and 2.0 mL/min in (a) and (b). Sample (peak numbers): 1-3, 2-, 3- and 4-methylaniline; 4, 2,6-dimethylaniline; 5, 2-ethylaniline; 6, 2,5-dimethylaniline; 7, 2,3-dimethylaniline; 8, 2,4-dimethylaniline; 9, 3-ethylaniline; 10, 4-ethylaniline; 11, 3,4-dimethylaniline; 12, 2,4,6-trimethylaniline; 13, 2-*i*-propylaniline; 14, 4-*i*-propylaniline. Chromatograms reconstructed from data of [2].

Abb. A 22: Figure 8.2 aus Snyder et al. (2010: 365)

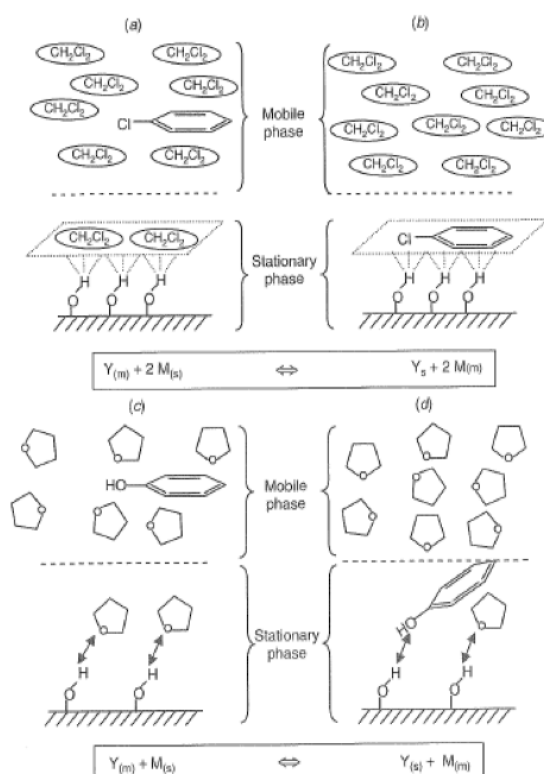


**Figure 8.3** Hypothetical examples of solute retention on silica for chlorobenzene (*a,b* non-localized) and phenol (*c,d* localized). Mobile phase in (*a,b*) is a less-polar solvent ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ); mobile phase in (*c,d*) is a more-polar solvent (tetrahydrofuran, THF).

Abb. A 23: Figure 8.3 aus Snyder et al. (2010:367)

Tab. A 26: Table 8.1 aus Snyder et al. (2010:372)

| Table 8.1                                                                                                                            |              |              |                                              |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Solvent Strength ( $\epsilon^0$ ), Molecular Area ( $n_B$ ), and UV Absorbance as a Function of Wavelength for Normal-Phase Solvents |              |              |                                              |      |      |      |      |      |      |
| Solvent                                                                                                                              | $\epsilon^0$ | $n_B$        | Absorbance (AU) at Indicated Wavelength (nm) |      |      |      |      |      |      |
|                                                                                                                                      |              |              | 200                                          | 210  | 220  | 230  | 240  | 250  | 260  |
| Acetonitrile <sup>a,b</sup>                                                                                                          | 0.52         | 3.1          | 0.03                                         | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ethoxynonafluorobutane                                                                                                               | 0.01         | <sup>b</sup> | Presumed similar to ethyl ether              |      |      |      |      |      |      |
| Chloroform <sup>c</sup>                                                                                                              | 0.26         | 5.0          | >1.0                                         | >1.0 | >1.0 | >1.0 | >1.0 | 0.25 | 0.08 |
| Ethyl acetate <sup>b</sup>                                                                                                           | 0.48         | 5.2          | >1.0                                         | >1.0 | >1.0 | >1.0 | >1.0 | >1.0 | 0.10 |
| Ethyl ether <sup>d,e</sup>                                                                                                           | 0.43         | 4.4          | >1.0                                         | >1.0 | 0.46 | 0.27 | 0.18 | 0.10 | 0.05 |
| Hexane, heptane                                                                                                                      | 0.00         | <sup>b</sup> | 0.35                                         | 0.20 | 0.07 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.00 |
| Methanol <sup>a</sup>                                                                                                                | 0.70         | 3.7          | >1.0                                         | 0.53 | 0.23 | 0.10 | 0.04 | 0.02 | 0.01 |
| Methylene chloride <sup>c</sup>                                                                                                      | 0.30         | 4.1          | >1.0                                         | >1.0 | >1.0 | >1.0 | 0.09 | 0.00 | 0.00 |
| Methyl- <i>t</i> -butyl ether <sup>d</sup>                                                                                           | 0.48         | 4.1          | >1.0                                         | 0.70 | 0.54 | 0.45 | 0.28 | 0.10 | 0.05 |
| <i>n</i> -Propanol <sup>f</sup>                                                                                                      | 0.60         | 4.4          | >1.0                                         | 0.65 | 0.35 | 0.15 | 0.07 | 0.03 | 0.01 |
| <i>i</i> -Propanol <sup>f</sup>                                                                                                      | 0.60         | 4.4          | >1.0                                         | 0.44 | 0.20 | 0.11 | 0.05 | 0.03 | 0.02 |
| Tetrahydrofuran <sup>d,e</sup>                                                                                                       | 0.53         | 5.0          | >1.0                                         | >1.0 | 0.60 | 0.40 | 0.21 | 0.18 | 0.09 |

Sources: Data from [6, 13].

<sup>a</sup>Immiscible with hexane.

<sup>b</sup>Nonbasic localizing.

<sup>c</sup>Nonlocalizing.

<sup>d</sup>Basic localizing.

<sup>e</sup>Easily oxidized and therefore less useful in practice.

<sup>f</sup>Very strong (localizing), proton-donor solvent; classification as "basic" or "nonbasic" may not be relevant.

<sup>g</sup>Values from [6], derived as described in [1].

<sup>h</sup>Values of  $n_B$  for A-solvents are not required in Equation (8.5).

**20.3 Textsegmente zu Frage- und Problemstellungen für den Unterricht (1d, 1e, 1g)**

Tab. A 27: Textsegmente zu Frage- und Problemstellungen für den Unterricht (1d, 1e, 1g)

| Vp | 1d Problemstellungen für Unt. zu Exp. (von Autorin standardisiert) | 1e Fragen für Unt. zu Exp.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1g Aufg. für Unt. zu Exp. u. Erkenntniswegen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01 |                                                                    | Finden Sie heraus, bei welchem Laufmittel die Trennung optimal erfolgt u. erklären Sie das.<br>Welche Eigenschaft/Eigenschaften führen dazu, dass bei Toluol eine gute Auftrennung erfolgt, bei den anderen Laufmitteln jedoch nicht.                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 02 |                                                                    | 1. haben SuS schon mal Filzstifte chromatografisch aufgetrennt?<br><Folgepfeil> Falls ja, Trenne ein vorliegendes Stoffgemisch (wiederholend auf Klasse 7) mit neuer Benennung der Methode (selbst. Sch.-EXP)<br>2. wieso werden diese Stoffe unterschiedlich gelöst<br>(<Folgepfeil> Strukturbetrachtungen)<br>3. Wie können komplexe Gemische getrennt werden<br>(<Folgepfeil> weitere Verfahren + Anwendungen) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 03 |                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ermitteln Sie experimentell welches Laufmittel für das vorliegende Farbstoffgemisch am geeignetsten ist und begründen Sie Ihr Ergebnis!<br>Leiten Sie wichtige Regeln für die Durchführung einer DC ab!<br>Wenn das Farbstoffgemisch unbekannt ist:<br>Führen Sie mit folgender Probe eine DC durch und ermitteln Sie die Bestandteile des Farbstoffgemisches mit Hilfe von Referenzwerten! |

| Vp | 1d Problemstellungen für Unt. zu Exp. (von Autorin standardisiert)                                                                                                                                                                | 1e Fragen für Unt. zu Exp.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1g Aufg. für Unt. zu Exp. u. Erkenntniswegen                                                                                                                                          |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 04 |                                                                                                                                                                                                                                   | <p>Welchen Einfluss hat das Laufmittel bei der Stofftrennung mittels DSC?</p> <p>Welche/Wieviele Bestandteile hat ein unbekanntes Stoffgemisch?</p> <p>Wie wirkt sich die Struktur eines Stoffes auf dessen physikalisches Verhalten aus?</p> <p>Wieso haben einzelne Stoffe unterschiedliche, aber stoffspezifisch konstante Wanderungsgeschwindigkeiten?</p>                                                                          |                                                                                                                                                                                       |
| 05 | <p>Auswirkung von unterschiedl. Laufmitteln auf das Ergebnis der Chromatografie (Suche nach am besten geeigneten LM)</p> <p>Trennung eines unbekannten Stoffgemisches (Zweck: Überprüfung, ob Sudanrot G schon enthalten ist)</p> | <p>Welche weiteren Bedingungen sind zu beachten, z. B. wie werden die Silicagel-Platten entwickelt?</p> <p>In welchem Verhältnis stehen die Farbstoffe in der Zusammensetzung?</p> <p>Warum wurden unterschiedliche Zeiten für die Messungen notiert?</p> <p>Welche Eigenschaften besitzen die Laufmittel und wie lassen sich diese mit der Struktur begründen?</p> <p>In welchem Kontext soll das Thema (Exp.) eingebettet werden?</p> | <p>Optimieren Sie den Versuch der DC zur Trennung von Farbstoffgemischen</p> <p>Welches Laufmittel erscheint am geeignetsten, um lipophile Stoffgemische von einander zu trennen?</p> |
| 06 | <p>Identifikation eines unbekannten Stoffgemisches</p> <p>Einfluss polarer/unpolarer Lösungsmittel auf die Retention von Stoffen</p> <p>Untersuchung auf Verunreinigung von Stoffen</p>                                           | <p>Unterscheidung pol/unpolare Lösungsmittel</p> <p>Was ist Silica?</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | s. f)                                                                                                                                                                                 |



| Vp | 1d Problemstellungen für Unt. zu Exp. (von Autorin standardisiert)                                                                                                                                                                                  | 1e Fragen für Unt. zu Exp.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1g Aufg. für Unt. zu Exp. u. Erkenntniswegen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 07 | <p>Trennung eines unbekannten Stoffgemisches (Zweck: Überprüfung, ob Sudanrot G schon enthalten ist)</p> <p>Auswirkung von unterschiedl. Laufmitteln auf das Ergebnis der Chromatografie (drei Labo-<br/>ranten testen je drei verschiedene LM)</p> | <p>1)<br/>Welche Laufmittel eignen sich zum Auftrennen des Farbstoffgemisches?<br/>Wie funktioniert die Auftrennung von Farbstoffgemischen mittels Dünnschichtchromatografie?<br/>Kann die Vermutung, dass Sudanrot G im Gemisch enthalten ist bestätigt oder widerlegt werden?<br/>Was ist zu beachten, wenn man die Vermutung überprüfen will?<br/>* Frage zielt auf Einsatz einer Referenzlösung ab)</p> <p>2)<br/>Wovon hängt die unterschiedliche Qualität der Auftrennung des Farbstoffgemisches bei Nutzung unterschiedlicher Laufmittel ab?<br/>* Welche Einflussgrößen auf die Auftrennung spielen eine Rolle bei der Wahl des Laufmittels?</p> | <p>[progressiv-reduktiv]<br/>Stellt eine begründete Prognose auf, ob das jeweilige Laufmittel für die Auftrennung des Stoffgemisches geeignet ist oder nicht</p> <p>[regressiv-reduktiv]<br/>Notiert Eure Beobachtungen zu dem vorgestellten Experiment. Stellt Vermutungen auf, weshalb diese Ergebnisse zustande gekommen sein könnten. Begründet Eure Vermutungen.</p> |
| 08 | <p>Auswirkung von unterschiedl. Laufmitteln auf das Ergebnis der Chromatografie (Suche nach am besten geeigneten LM)<br/>- Beschreibung d. Verlaufes der DC</p>                                                                                     | <p>1. Aus welchem Grund ist welches LM un/geeignet?<br/>2. Was sind Polaritäten, welche Auswirkungen haben diese auf die DC?<br/>3. Welche Eigenschaften müssen die/das LM haben, um zu trennen?<br/>4. Was ist stat./mob. Phase?<br/>5. Wie findet die Auswertung statt? in Bezug auf RF-Wert<br/>6. Warum müssen Referenzproben aufgetragen werden</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>welche Lösungsmittel kennen Sie noch? Nennen Sie 5.<br/>* überlegen Sie welche von den genannten LM polar oder unpolare sind.<br/>* was würde passieren, wenn auf eine polare stat. Ph. eine polare mobile Ph. trifft<br/>* Vervollständigen sie den Satz „Gleiches löst sich in ...“</p>                                                                              |

| Vp | 1d Problemstellungen für Unt. zu Exp. (von Autorin standardisiert)                                                                                                                                                     | 1e Fragen für Unt. zu Exp.                                                                                                                                                                                                                | 1g Aufg. für Unt. zu Exp. u. Erkenntniswegen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 09 | <p>Trennung von Farbstoffen (Missgeschick in Fabrik, bei dem Farbstoffe vermischt wurden)</p> <p>Auswirkung von unterschiedl. Laufmitteln auf das Ergebnis der Chromatografie (Suche nach am besten geeigneten LM)</p> | <p>Welches Wirkprinzip liegt dem Verfahren zu Grunde?</p> <p>Welche grundlegenden Bedingungen und Parameter müssen beachtet werden?</p> <p>Welche Struktur-Eigenschaftsbeziehungen sind für das Verständnis dieser Methode notwendig?</p> | <p>[zu progressiv-reduktiv]<br/>Stellt mit Hilfe eures Wissens über die Dünnschichtchromatografie eine begründete Vermutung auf, in welchem Laufmittel sich das Farbstoffgemisch am besten auftrennen wird.</p> <p>[zu regressiv-reduktiv]<br/>a) Stellt eure Ergebnisse des Experimentes übersichtlich dar (Laufstrecken und Entwicklungszeiten)<br/>b) Begründet anhand von theoretischen Überlegungen die unterschiedlichen Ergebnisse bei entsprechender Verwendung der Laufmittel</p>                                                                                     |
| 10 | <p>Auswirkung von unterschiedl. Laufmitteln auf das Ergebnis der Chromatografie</p>                                                                                                                                    | <p>1. Welche Eigenschaften des Laufmittels bzw. der Proben beeinflusst die Trennleistung?<br/>In welchem Verhältnis stehen diese zur Stoffstruktur?</p> <p>2. Wie kann aus den Eigenschaften die Trennleistung erklärt werden?</p>        | <p>regressiv-reduktiv: Führe eine DC mit einem Stoffgemisch und 3 Laufmitteln durch und notiere dir deine Beobachtung.<br/>Welche Eigenschaften siehst du und was bedeuten diese für die Struktur der Stoffe.</p> <p>progressiv-reduktiv: Du erhältst ein Stoffgemisch von 3 bekannten Stoffen.<br/>Unter Zuhilfenahme deines bisherigen Wissens stelle Prognosen über die Stofftrennung, wie Reihenfolge etc., an und setze dies in ein Verhältnis mit unterschiedlichen Laufmitteln (Hexan, Propanol, Toluol).<br/>Überprüfe deine Prognosen anschließend am Experiment.</p> |

| Vp | 1d Problemstellungen für Unt. zu Exp. (von Autorin standardisiert)                                                                                                                                                     | 1e Fragen für Unt. zu Exp.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1g Aufg. für Unt. zu Exp. u. Erkenntniswegen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 11 | Trennung organischer Farbstoffe (Zweck: Zusammensetzung, Toxizität, festzustellen<br>Auswirkung von unterschiedl. Laufmitteln auf das Ergebnis der Chromatografie)                                                     | 1. Worauf genau basiert die Trennung der einzelnen Stoffe?<br>2. Welche Unterschiede sind im Experiment mit verschiedenen Laufmitteln feststellbar und welche davon sind für die optimale Trennung relevant?<br>* Entscheidung für Auswahl oder Arbeitsmittel                                                                                                                                                                                       | 1. Bei Stiftung Warentest ® sollen einige auf dem Markt bekömmliche Farblacke auf ihre Zusammensetzung und damit verbundene Verträglichkeit für die Natur überprüft werden. Entwickle eine Apparatur (vereinfacht), welche eine Trennung der einzelnen Farbstoffe ermöglicht und zudem einen Vergleich zu Referenzen zulässt. (zielt auf genetisch-synthetischen Erkenntnisweg ab)<br>2. Im vorherigen Experiment wurde ein bekanntes Farbstoffgemisch mittels DC voneinander getrennt. Nenne die Parameter, welche bei einer bel. gegebenen Farbstoffmischung betrachtet werden müssten, um eine erfolgreiche DC durchzuführen. Begründe deine Entscheidung! |
| 12 | Trennung eines unbekannten Stoffgemisches (Zweck: Überprüfung, ob Sudanrot G schon enthalten ist)<br>Auswirkung von unterschiedl. Laufmitteln auf das Ergebnis der Chromatografie (Suche nach am besten geeigneten LM) | 1. Wie funktioniert einen DC?<br>Auf welchen Prinzipien basiert die Stofftrennung?<br>Welchen Einfluss hat das Laufmittel auf das Ergebnis der DC?<br>Was ist mobile, was stationäre Phase?<br>2. Wie beeinflusst das Laufmittel das Ergebnis der DC?<br><Pfeil nach rechts> Auf welchen Wechselwirkungen basiert die Trennung? (Polarität etc.)<br><Pfeil nach rechts> Welchen Einfluss hat die Laufzeit?<br>Was ist mobile, was stationäre Phase? | progressiv-reduktiv<br>Mit Hilfe Ihrer Vorkenntnisse über die Dünnschichtchromatografie stellen Sie eigene Vermutung auf, welches der 3 folgenden Laufmittel für die Trennung eines Stoffgemischs aus Indophenol, Buttergelb und Sudanrot G (Strukturformeln siehe AB) am geeignetsten ist.<br>a) Hexan<br>b) Toluol<br>c) Propanol<br>Begründen Sie Ihre Vermutung und überprüfen Sie diese dann experimentell.<br>Gehen Sie besonders auf die Eigenschaften bzw. strukturellen Merkmale ein, die eine gute bzw. keine gute Trennung des Farbstoffgemisches bewirken.                                                                                        |

| Vp | 1d Problemstellungen für Unt. zu Exp. (von Autorin standardisiert)                                                                                                                | 1e Fragen für Unt. zu Exp.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1g Aufg. für Unt. zu Exp. u. Erkenntniswegen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13 | <p>Auswirkung von unterschiedl. Laufmitteln auf das Ergebnis der Chromatografie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eignung LM</li> <li>- Aufbau Trennmethode</li> </ul> | <p>Bedeutung der Laufmittel</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* was gibt es für mögliche Laufmittel</li> <li>* welche Funktion hat das Laufmittel</li> <li>* welche Eigenschaften muss das Laufmittel aufweisen?</li> <li>* welche Ausgangslage (Farbgemisch) sollen verwendet werden?</li> <li>* welche Wechselwirkungen gibt es zwischen dem Farbstoffgemisch und den Ausgangsstoffen? Toluol, Silicagel</li> </ul> <p>Aufbau der Dünnschichtchromatografie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* wie muss die Versuchsanordnung aufgebaut sein</li> <li>* welche Funktionen erfüllen die einzelnen Bauteile?</li> <li>* welche Wirkprinzipien müssen bei der Trennung beachtet werden?</li> </ul> | <p>progr.red: Stellen Sie eine begründete Prognose für die Eignung der Substanz als Laufmittel aufgrund ihrer Struktur auf.</p> <p>regr.-red.:<br/>Erklären Sie ihre Beobachtungen in Bezug auf die Eigenschaften bzw. die Struktur der einzelnen Laufmittel.<br/>Ordnen Sie den verschiedenen Apparaturbauteilen eine Funktion zu.<br/>Vergleichen Sie die Dünnschichtchr. mit der Hochleistungsflüssigk.chr.</p> <p>ind.:<br/>Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen zu der Trennung des Farbgemischs und führen sie diese auf die Struktur zurück.<br/>Formulieren Sie allgemeingültige Aussagen zu den einzelnen Substanzklassen.</p> <p>ded.:<br/>Beschreiben Sie zunächst allgemein die Methode der DC und gehen Sie anschließend auf die Trennung des spez. Farbstoffgemisches sowie auf die Struktur der Einzelbestandteile ein.</p> <p>genet.:<br/>Entwickeln Sie eine mögliche Versuchsanordnung für die Trennung des Farbstoffgemisches.<br/>Optimieren Sie die vorhandene Versuchsanordn., indem Sie zunächst Schwachstellen aufzeigen.</p> |

**20.4 Textsegmente zu Frage- und Problemstellungen für den Unterricht (2d, 2e)**

Tab. A 28: Textsegmente zu Frage- und Problemstellungen für den Unterricht (2d, 2e)

| Vp | 2d Problemstellungen aus Text für Unt. zu Exp.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2e Fragen für Unt. zu Problemstellungen                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 05 | Es wurden keine Problemstellungen entdeckt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Welchen Einfluss haben die intermolekularen Wechselwirkungen auf das Trennverfahren?<br>Welchen Einfluss hat die Polarität von stationärer und mobiler Phase auf den Vorgang?                                                                                                                                                  |
| 08 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Nennen Sie Unterschiede im Aufbau<br>- Nennen Sie Unterschiede in Funktionsweise<br>- Wissen Schüler von Eigenschaften, die gegeben sein müssen um DC durchzuführen?<br>- Kennen Schüler Elutrope Reihe?<br>- Warum braucht es Druck für HPLC?<br>- Beschreiben Sie die Analogien von HPLC und DC                              |
| 09 | 1) Vermischung der Farben (Unglück) Problem- bzw. Fragestellung mit welchen Laufmittel man die Farbstoffe trennen kann.<br>2) Bezug zur Forschung: Wissenschaftler will Dünnschichtchromatografie anhand der Trennung von Farbstoffen erforschen. Nimmt beim zweiten Versuch versehentlich anderes Laufmittel und stellt dabei das ganz andere Ergebnis fest. | - Warum führt die Verwendung verschiedener Laufmittel zu unterschiedlichen Ergebnissen?<br>- Welche Rolle spielen dabei die gelösten Substanzen (Farbstoffe)?<br>- Nach welcher Art und Weise wird die Chromatografie durchgeführt?<br>FD: bei Frage zu Rolle d. gel. Subst. ist kein Bezug zu bisherigen Aussagen herstellbar |
| 10 | 1. Die Untersuchung des Einflusses unterschiedlich polarer Lösungsmittel auf Trennleistung und Retentionszeit von 3 Verbindungen.<br>2. Das Verhältnis von Dünnschichtchromatografie und HPLC                                                                                                                                                                 | 1. Wie polar sind die einzelnen Laufmittel? Kann es Probleme zwischen Lauf- und Lösungsmittel geben?<br>2. Wie lässt sich die DC als Vorbereitung für HPLC einsetzen?                                                                                                                                                          |
| 11 | 1. Problemstellung:<br>siehe 2. Problemstellung 1 d): Optimierung des Chromatografieprozesses anhand des Parameter Laufmittel (experimentell)<br><br>2. Problemstellung:<br>Diskussion des Parameters Laufmittel anhand von Strukturmerkmalen du daraus folgenden intermolekularen Wechselwirkungen                                                           | Welche Wechselwirkungen sind genau verantwortlich für eine Zurückhaltung oder Beweglichkeit?<br>Welche Wechselwirkungen haben welchen Anteil am Gesamteinfluss?<br>Welche Strukturmerkmale erschaffen welche Wechselwirkung?                                                                                                   |

| Vp | 2d Problemstellungen aus Text für Unt. zu Exp.                                                                                                                                                                                                                                                    | 2e Fragen für Unt. zu Problemstellungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 | <p>1) Trennung eines bekannten Stoffgemischs<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Welches Laufmittel ist am geeignetsten (wie 1d)</p> <p>2) HPLC ist teuer. Inwiefern kann DC diese ersetzen?<br/>Ist es überhaupt notwendig eine HPLC durchzuführen?<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Vor u. Nachteile</p> | <p>zu 1)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Struktur der Stoffe</li> <li>- Welche Eigenschaft sollten Laufmittel haben?</li> <li>- Welche Strukturmerkmale lösen WW aus?</li> <li>- Ablauf einer DC (Wo, welche WW)</li> <li>- Was macht ein gutes Laufmittel aus?</li> </ul> <p>zu 2)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Welche Vorteile bzw. Nachteile haben HPLCs?</li> <li>- Welche Vorteile bzw. Nachteile haben DC?</li> <li>- Für welche Untersuchungen/Aufgabenstellungen ist welche Chromatografie geeignet?</li> <li>- Ist es möglich HPLC zu ersetzen?</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                |
| 13 | <p>Unterschiede der Ergebnisse durch (äußere) Versuchsbedingungen<br/>&lt;Folgepfeil&gt; welche Faktoren haben Einfluss<br/>Entstehung/Entwicklung der Chromatografie</p>                                                                                                                         | <p>Einfluss von äußeren Faktoren (Rkt.-bed.)<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; welche Faktoren könnten einen Einfluss auf die Reaktion haben?<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; was geschieht bei der Veränderung der Reaktionsbed.? (Exp.)<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Wie wirkt sich bspw. der pH-Wert der mobilen Phase auf das Ergebnis aus?</p> <p>Entwicklung/Optimierung Chromatografie<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; was ist die Ausgangsfrage für die Chr.?<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; welche Möglichkeiten standen für die Entwicklung der Chr. zur Verfügung?<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; welchen Ansatz (theoret.) hat man verfolgt?<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; wie wurden Versuchsaappareturen optimiert?<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; welche versch. Arten von Chrom. gibt es/ wie unterscheiden sie sich?</p> |

## 20.5 Textsegmente zur Analyse der Schülerfehlkonzepte

### 20.5.1 Textsegmente zu Antwort 1

Tab. A 29: Alle Textsegmente zu Erwartungsbild, Antwort 1 und Erklärung für den Unterricht bzgl. Aufgabe 1a im Teil E

| Vp          | Segment                                                                                                                                                                                                                                                    | Memos |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 015<br>Erw. | <p>Die stationäre Phase ist polar u. wenn ein Stoff ebenfalls polar ist, ist die Wechselwirkung damit besonders groß.</p> <p>Das bedeutet, das ein polarer Stoff nicht so weit wandert, wie ein unpolarer, der wenige WW mit der stationären Phase hat</p> |       |

| Vp               | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 015<br>A1        | <p>&lt;Folgepfeil&gt; Denkfehler: die nachfolgenden Substanzen sind unpol-<br/>lar u. die vor Indophenol ist total polar</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; Indophenol ist doch relativ polar, da es nicht so weit<br/>wandert.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>Die Ausführung d. Vp nach der<br/>Bezeichnung „Denkfehler“ ist<br/>eine Richtigstellung der Schü-<br/>lerantwort.</p> <p>Daher werden Codes der rich-<br/>tiggestellten falschen Ln-Aus-<br/>sagen zugeordnet.</p> <p>Demnach wird Schülerfehl-<br/>konzept vollständig erkannt.</p> |
| 015<br>Erkl<br>U | <p>Polar liebt polar und bleibt dort sehr gerne.</p> <p>Wenn also die Party bei der ich bin toll ist, gehe ich nicht, sondern<br/>bleibe dort.</p> <p>Das heißt das polare Molekül findet es dort an der polaren Schicht so<br/>super, dass es dort hängen bleibt u. egal wer es zum Mitkommen<br/>überreden möchte (deine Mutter möchte, dass du nach Hause<br/>kommst) es bleibt da u. damit sind polare Moleküle eher an der<br/>Startlinie u. unpolare Moleküle eher weiter entfernt von der Startli-<br/>nie zu finden.</p>                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 025<br>Erw.      | <p>1. eher polare Stoffe bleiben unten</p> <p>2. eher unpolare Stoffe wandern nach oben (da wenig WW mit stat.<br/>Phase)</p> <p>aus Text folgt 2. Stelle meint. 2. von unten</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 025<br>A1        | <p>Antwort 1) d. h. Schüler ordnet die Stoffe gerade falsch herum. Indo-<br/>phenol ist eher polar im Vergleich zu den 2 Stoffen darüber</p> <p>und: sie denkt WW sorgt für weites wandern</p> <p>ABER: WW sorgt für „lokale Fixierung“ (das heißt wandert nicht<br/>weit)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 025<br>Erkl<br>U | <p>Wie im Unterricht korrigieren?</p> <p>- EXP wiederholend betrachten, Stoffe einordnen nach polar/unpolar<br/>und feststellen:</p> <p>auf SIL mit Toluol wandert das unpolare Buttergelb am weitesten</p> <p>- dann inhaltlich begründen</p> <p>&lt;Skizze: senkrechter Strich-OH &lt;Pfeil nach links&gt; polares Molekül<br/>&lt;Pfeil nach oben in Klammern&gt; rechts davon unpolares Molekül<br/>mit &lt;Pfeil nach oben&gt;&gt;</p> <p>polares Molekül wechselwirkt mit Platte, oft daran ‚gebunden‘ (H-<br/>Brücken)</p> <p>während unpolares Molekül nicht wechselwirkt und mit dem Kapil-<br/>larstrom nach oben getragen wird</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

| Vp               | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 045<br>A1        | <p>Der SuS versucht den Zusammenhang allein mit der Polarität zu erklären, anstatt auf die konkreten WW einzugehen.</p> <p>Er müsste somit darstellen, dass Pi-Pi-Bindung zwischen Indophenol und Toluol ursächlich ist.</p> <p>Aufgrund der Unterschiede der einzelnen Farbstoffe in ihrer Struktur, sind die WW des Indophenols mit dem Toluol kleiner bzw. größer (Je nach Vergleichsstoff),</p> <p>sodass es eine längere Strecke als Farbstoff 1, aber eine kürzere Strecke als Farbstoff 3, 4 zurück legt.</p> | <p>Vp erkennt selbst nicht, dass bei NPC die WW d. Analyten zur stPh maßgeblich sind. Die WW-Unterschiede von Toluol mit Analyten sind nicht so groß.</p> <p>Daher ...</p> <p>Vp erkennt Fehlkonzentration nicht</p>                                                                                                                                                                                                                                |
| 045<br>Erkl<br>U | <p>Die Fehlvorstellung könnte behoben werden, indem man die Strukturen der Farbstoffe vergleicht und die möglichen Stellen, an denen WW auftreten können markiert.</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; Der Vergleich zeigt auf, dass die Anzahl der WW maßgeblich ist und nicht ausschließlich die Polarität.</p>                                                                                                                                                                                                              | <p>Aussage „Der Vergleich zeigt auf, dass die Anzahl der WW maßgeblich ist und nicht ausschließlich die Polarität.“</p> <p>zeigt, dass Vp den Begründungszusammenhang zw. StrM/Polarität/WW nicht richtig darstellt. StrM eines Stoffes hat Auswirkungen auf die Polarität v. Stoffen und mgl. WW.</p>                                                                                                                                              |
| 055<br>A1        | <p>Der Begriff Polarität ist verständlich, jedoch ist nicht klar in welcher Beziehung er zum Verfahren Chromatografieren steht</p> <p>Grundlagen zum Wirkprinzip des Verfahrens fehlen</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>Zu allgemein, daher nur Zuordnung „1a Sonstige“ und Vp erkennt Fehlkonzentration nicht.</p> <p>Um „Fehlkonzentration teilweise erkannt“ zuzuordnen, hätte Vp wenigstens eine falsche Aussage d. Ln benennen müssen.</p> <p>Unklar, worauf Vp „Begriff Polarität ist verständlich“ bezieht.</p>                                                                                                                                                   |
| 065<br>Erw       | <p>Stoff 1 ist polarer als Indophenol, da dieser eine geringere Laufstrecke zurückgelegt hat.</p> <p>Die Laufstrecke ist bedingt durch die geringe Polarität des LM und des Indophenols mit der polaren Oberfläche des Silicagels.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Da Vp Zusammenhang zw. Polarität u. WW nicht konkret benennt, werden der Code „WW stPh und Indophenol/Analyt hoch“ nicht zugeordnet.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 065<br>A1        | <p>Einordnen der Polarität der Stoffe: Silica-Oberfläche &gt; Indophenol &gt; Toluol</p> <p>zuerst belegt Toluol die Oberfläche, danach ergibt sich aufgrund der größeren Polarität des Indophenols eine stärkere WW mit der Silicaoberfläche</p> <p>stärkere WW Silica-OF mit Indophenol</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; d. h. geringe Laufstrecke</p> <p>Fehlvorstellung: geringe WW zwischen stat. Phase und Farbstoff</p>                                                                                       | <p>Da Vp Zusammenhang zw. Polarität Indophenol, WW mit polarer stPh und geringer Laufstrecke richtig darstellt, ist mit „Fehlvorstellung: geringe WW zwischen stat. Phase und Farbstoff“ richtig erkannt worden, dass Ln fälschlicherweise aus geringer WW des Analyten mit stPh geringe Laufstrecke schlussfolgert.</p> <p>Daher Zuordnung „WW Analyt mit statPh gering führt zu ge Lst/ho Ret“ und „Vp erkennt Fehlkonzentration vollständig“</p> |



| Vp          | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 075<br>Erw  | <p>Indophenol ist polarer als die Substanzen, die von der Startlinie aus gesehen an 3. und 4. Stelle stehen, aber weniger polar als die Substanz, die an erster Stelle erscheint.</p> <p>Da die stationäre Phase polar ist und Toluol unpolar, herrschen zwischen Indophenol und der stationären Phase andere WW als zw. Indophenol und Toluol.</p> <p>Zw. Indophenol und der stationären Phase werden starke Wasserstoffbrückenbindungen ausgebildet.</p> <p>Bei Indophenol und Toluol herrschen zw. den Pi-Systemen der beiden Moleküle Pi-Pi-WW, die etwas schwächer als Wasserstoffbrückenbindungen sind.</p> <p>Je stärker die WW zw. einem Farbstoffmolekül und der polaren stationären Phase (d. h. je polarer das Farbstoffmolekül) und desto schwächer die WW zwischen dem Farbstoffmolekül und Toluol, desto weniger wird der Farbstoff von dem Laufmittel Toluol mitgerissen.</p> <p>Da Indophenol an 2. Stelle erscheint, muss es also polarer sein als der „dritte“ und „vierte“ Farbstoff aber weniger polar als der Farbstoff an erster Stelle.</p> | <p>Da Vp korrekt Tendenzen benennt („je stärker ... , desto ...“) werden auch folgende Codes zugeordnet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– RF/Laufstrecke Analyt mittel</li> <li>– WW mPh und Analyten mittel</li> <li>– RF/Laufstrecke Analyt hoch</li> <li>– WW mPh und stPh gering</li> </ul> |
| 075<br>A1   | <p>richtig erkannt: Indophenol relativ unpolar, stationäre Phase polar</p> <p>falsch: polarer als die erste Substanz, unpolarer als nachfolgende Substanzen, keine WW zw. Indophenol und stat. Phase</p> <p>Fehlkonzept: Je weiter unten ein Farbstoff erscheint, desto weniger WW hat er mit der stationären Phase.</p> <p>Hohe WW mit stationärer Phase führt dazu, dass ein Farbstoff von dem Laufmittel weit mitgerissen wird.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 075<br>ErIU | <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; wichtig ist nicht, wie stark eine einzelne WW ist, sondern welche WW (Farbstoff-Laufmittel oder Farbstoff-stat. Phase) stärker ist.</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; je stärker die WW Farbstoff-stat. Phase als die WW Farbstoff-Laufmittel bzw. als die WW Laufmittel-stat. Phase, desto weniger Farbstoff wird von dem Laufmittel von der stat. Phase gelöst.</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; desto mehr Farbstoff bleibt an stat. Phase (SIL) hängen, desto weiter unten erscheint er auf dem Chromatogramm</p> <p>&lt;Skizze 1: WW zw. Laufmittel und stationärer Phase&gt;</p> <p>WW Laufmittel stationäre Phase</p> <p>&lt;gewinkelter Pfeil&gt; sehr gering</p> <p>&lt;Skizze 2: WW zw. Indophenol und stationärer Phase&gt;</p> <p>WW Laufmittel stationäre Phase</p> <p>&lt;gewinkelter Pfeil&gt; sehr gering</p> <p>&lt;Skizze 3: WW zw. Laufmittel und Indophenol&gt;</p> <p>WW Laufmittel stationäre Phase</p> <p>&lt;gewinkelter Pfeil&gt; stark</p>                                                                   | <p>Da Vp Zusammenhang zw. WW und Polarität sowie die entsprechenden StrM nicht weiter nennt, wird Code „Gegenüberstellung StrM u. Polarität der Analyten“ nicht zugeordnet.</p>                                                                                                                             |

| Vp               | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 095<br>A1        | <p>Indophenol ist polar aufgrund der OH-Gruppe.</p> <p>Es stimmt auch nicht, dass Indophenol polarer ist als die erste Probe.</p> <p>Indophenol ist aufgrund seiner Position im Chromatogramm unpolarer als die ersten Probe aber polarer als die nachfolgenden Substanzen, da eine polare stationäre Phase verwendet wurde.</p> <p>Das Laufmittel Toluol bewirkt eine optimale Auftrennung für die Farbstoffe aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den Pi-Systemen.</p> | <p>Vp trifft keine Aussage zu WW Analyt mit stPh.</p> <p>Daher keine Zuordnung des Codes „A1_2.1 WW Analyt mit statPh gering führt zu ge Lst/ho Ret“.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 095<br>Erkl<br>U | <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Man könnte im Unterricht gezielt noch einmal üben welche Substanzen aufgrund von welchen Struktureigenschaften polar sind und welche unpolar.</p> <p>Auch müsste man noch einmal deutlicher machen, was es bedeutet, wenn unterschiedlich polare Substanzen auf eine polare stationäre Phase aufgetragen werden.</p>                                                                                                                          | <p>Aussage Vp impliziert, dass Laufverhalten d. Analyten unter der Bedingung einer polaren stationären Phase betrachtet wird. Daher Zuordnung von Code „Begründen d. Laufverhaltens Analyt (gepo vs ho-po)“.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 105<br>A1        | <p>Die ersten beiden Sätze der Aussage sind korrekt.</p> <p>Der 3. Satz enthält ein Fehlkonzept. Gerade weil es zu wenig Interaktionen mit der stationären Phase kommt, wird die Substanz durch das Laufmittel nach oben getragen.</p>                                                                                                                                                                                                                                     | <p>Vp erkennt nicht, dass die ersten beiden Aussagen falsch sind, denn Indophenol als 2. Substanz ist weniger polar als die ersten und polarer als die 3. u. 4. Substanz.</p> <p>Vp erkennt aber das Fehlkonzept im letzten Satz des Ln, der lautet: „Die stationäre Phase ist polar, doch daher das [sic.] der Farbstoff unpolar ist geht es kaum WW mit der stationären Phase ein und läuft nicht weit nach oben (Das LM muss mittelpolar sein). Daher Zuordnung der Codes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– WW Analyt mit statPh gering führt zu ge Lst/ho Ret</li> <li>– Vp erkennt Fehlkonzept teilweise</li> </ul> |
| 105<br>Erkl<br>U | <p>Hier müsste auf diese Bedeutung des Laufmittels [Gerade weil es zu wenig Interaktionen mit der stationären Phase kommt, wird die Substanz durch das Laufmittel nach oben getragen] eingegangen werden</p>                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

| Vp               | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 115<br>A1        | <p>Der Schüler hat erkannt, dass es sich bei Indophenol um einen Stoff handelt, der sowohl polare als auch unpolare Anteile besitzt.</p> <p>Die Antwort, die der Schüler gegeben hat ist jedoch von der Begründung genau umgekehrt herum:</p> <p>Die WW zwischen Komponente und stationärer Phase wirken besonders dann zurückhaltend auf die Komponente, wenn sie besonders groß sind.</p> <p>Wenn wie vom Schüler angenommen keine WW stattfinden, würde die Komponente einfach über die stationäre Phase laufen.</p> <p>Der richtige Zusammenhang lautet:</p> <p>kurze Substanzstrecke &lt;Pfeil nach rechts&gt; hoch Polarität.</p> <p>Mögliches Fehlerkonzept: „wenig bedeutet wenig“ (proportionaler Zusammenhang)</p> | <p>Vp stellt Zusammenhang richtig dar und damit die falsche Einschätzung d. Ln über die Polarität d. Indophenols.</p> <p>Der letzte Satz „wenig bedeutet wenig“ bezieht sich auf den zuvor erklärten Zusammenhang zwischen Substanzstrecke und Polarität.</p> <p>Daher Zuordnung von:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Indophenol weniger polar als Analyten 3 u.4</li> <li>– Indophenol polarer als Analyt 1</li> <li>– Vp erkennt Fehlkonzepth vollständig</li> </ul> |
| 125<br>A1        | <p>Die WW mit der stationären Phase bewirken, dass die Farbstoffe nach oben wandern.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>Aussage ist im Kontext d. Erklärung f. den Unterricht zu interpretieren. Damit wird deutlich, dass Vp die fehlerhafte Aussage d. Ln verallgemeinert.</p> <p>Daher Zuordnung folgender Codes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– WW Analyt mit statPh gering führt zu ge Lst/ho Ret</li> <li>– Vp erkennt Fehlkonzepth vollständig</li> </ul>                                                                                                                           |
| 125<br>Erkl<br>U | <p>Erklärung der WW mit schwachen Magneten</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; WW verhindern problemloses Vorankommen</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; je polarer, desto mehr WW mit stationärer Phase, desto mehr werden die Moleküle aufgehalten</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; polarstes Molekül ganz unten in DC</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

### 20.5.2 Textsegmente zum Erwartungsbild 1b–c

Tab. A 30: Alle Textsegmente zum Erwartungsbild bzgl. der Aufgaben 1b–c im Teil E

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 025 | <p>1. Cyclohexan ist unpolar (Hexan auch)</p> <p>2. Ethanol ist polar (wie Propanol auch)</p> <p>OFFEN: ist Cyclohexan oder Toluol unpolarer?</p> <p>Vermutung: Cyclohexan ist unpolarer.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Für Erwartungsbild reicht die Einschätzung d. Polarität nicht aus; der Code „Cyclohexan hat ge Polarität“ bezieht sich auf richtige Aussage der Schülerantwort; da Segment d. Vp darauf nicht fokussiert, wurde Segment nur d. Kategorie „Sonstige“ zugeordnet.</p> |
| 035 | <p>meine Vorüberlegungen:</p> <p>Indophenol &lt;Strukturformel Indophenol&gt;</p> <p>[Elektronegativität N unklar &lt;Pfeil nach rechts&gt; Polarität schwer einzuschätzen]</p> <p>Für mich ist es schwer Fehlkonzepte zu erkennen, weil mir noch folgendes Verständnis fehlt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- in welcher Reihenfolge sind die Farbstoffe auf dem Chromatogramm zu finden.</li> <li>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Indophenol an 2. Stelle passt für mich nicht mit Skizze auf Seite 4 zusammen</li> <li>- Wie schätze ich die Polarität der Farbstoffmoleküle richtig ein?</li> <li>- Spielen nicht auch z. B. die Pi-Pi-Wechselwirkungen eine Rolle?</li> <li>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Gedanke: wenn mobile Phase das Gelöste stärker anzieht, ist die Polarität der stationären Phase nicht mehr so relevant?</li> <li>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Wie stark sind die unterschiedlichen Wechselwirkungen?</li> <li>&lt;gewinkelter Pfeil nach rechts&gt; Ich würde mir eine Übersicht erstellen (ggf. mit Hilfe anderer Quellen) über die verschiedenen Wechselwirkungskräfte und ihre Stärke.</li> <li>in Ausschnitten bzw. an Beispielen wäre es sinnvoll das auch nochmal mit Schülern zu besprechen.</li> <li>(offensichtlich war unklar, ob Indophenol polar oder unpolar ist &lt;Pfeil nach rechts&gt; siehe Antwort 1 und 2)</li> </ul> | <p>Vp spricht von Vorüberlegungen, daher Zuordnung des Codes „1b-c Erwartungsbild“.</p> <p>Aber Vp stellt nur Fragen, dass Segment dem Code „1b-c Sonstige“ zugeordnet wurde.</p>                                                                                      |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 065 | <p>b) Cyclohexan ist unpolarer als Toluol, das Farbstoffgemisch trennt sich nicht auf, die Farbstoffe überlagern sich gegenseitig</p> <p>c) Ethanol ist ein sehr polares LM, was sehr gut polare Stoffe löst. Die WW zwischen LM-Molekül und Farbstoffen ist sehr groß, darum gibt es keine starken WW zwischen stationärer Phase und Farbstoff-Molekülen.</p> <p>Farbstoffe werden an Lösungsmittelfront mitgeschleppt.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Vp führt nicht aus, was keine Trennung bzw. Überlagerung d. Farbstoffe genau bedeutet, ob Farbstoffe an Startlinie bleiben oder bis Laufmittelfront laufen.</p> <p>Daher ist Prognose unvollständig. Nur mit 0,5 bewertet.</p> <p>Nicht WW zwischen LM-Molekül und Analyt ist entscheidend für Elutionskraft auf einer polaren stPh, sondern WW LM mit stPh.</p> <p>Daher ist Begründung fehlerhaft.</p> |
| 075 | <p>b) Cyclohexan ist ein unpolares Molekül ohne Pi-System.</p> <p>Es wechselwirkt demnach kaum mit der stationären Phase und auch kaum mit den Farbstoffen, die Pi-Systeme besitzen.</p> <p>Die hydrophoben WW sind zu schwach, um die Farbstoffmoleküle von der stationären Phase zu lösen.</p> <p>Es würde vermutlich keine Auftrennung stattfinden.</p> <p>Die Substanzen würden an der Startlinie verbleiben.</p> <p>c) Ethanol ist ein relativ polares Molekül, dass eine OH-Gruppe besitzt.</p> <p>Es würde starke Wasserstoffbrückenbindungen (HBB) mit der stationären Phase ausbilden.</p> <p>Da die Wechselwirkung der Farbstoffmoleküle mit der stationären Phase geringer sind als diese HBB würden alle Farbstoffmoleküle von Ethanol als Laufmittel aus der stationären Phase gelöst und von Ethanol bis zur Laufmittelfront mitgerissen.</p> <p>Es würde keine Auftrennung stattfinden.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

### 20.5.3 Textsegmente zu Antwort 2

Tab. A 31: Alle Textsegmente zu Antwort 2 (A2) bzgl. der Aufgaben 1b–c im Teil E

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 015 | <p>Antwort 2: Es finden WW statt &lt;Folgepfeil&gt; Indophenol wechselwirkt mit stationärer Phase.</p> <p>Besser wäre: Ethanol wechselwirkt mit stationärer Phase, besetzt die Oberfläche u. damit kann Indophenol dort nicht „angreifen“ und läuft mit.</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; mit Cyclohexan sollte keine Trennung stattfinden (bleiben am Start)</p>                                                 | <p>Vp untersetzt Antwort d. Ln, aber stellt nicht heraus, worin das Fehlkonzept besteht.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzept teilweise“</p> <p>Die Schlussfolgerungen d. Ln, dass Indophenol bei Cyclohexan auf der Startlinie bleiben und bei Ethanol bis zur Laufmittelfront wandern würde, sind zwar richtig, aber die Begründungen sind unzureichend.</p> <p>Es fehlen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Charakterisierung des Indophenols/des Farbstoffgemisches</li> <li>– Charakterisierung der Elutionskraft der Laufmittel</li> <li>– Ausführung, zu welcher Komponente Cyclohexan keine WW eingeht</li> <li>– Laufverhalten der anderen drei Analyten</li> <li>– Erklärung des Verdrängungsprinzips</li> </ul> |
| 025 | <p>Wenn Cyclohexan unpolarer ist, dann wechselwirkt Cyclohexan kaum mit stat. Phase, und Indophenol würde sehr stark mit stat. Phase wechselwirken, d. h. keine/kaum Bewegung nach oben</p> <p>Bei Ethanol wie bei Antwort 1, ergänzt durch eine Fassung wie polares LM polaren Stoffe verdrängt und wie unpolares LM polaren Stoff „fest“ lässt</p> <p>ABER unvollständig! nur Indophenol betrachtet!</p> | <p>Da Begründungszusammenhänge v. Vp vollständig dargelegt werden, sind die fehlenden Aussagen d. Ln genannt.</p> <p>Vp erkennt, dass Ln Prognose nur auf Indophenol beschränkt.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzept vollständig“</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 045 | <p>b) Sowohl Toluol als Cyclohexan sind unpolar, sodass die Erklärung des SuS nicht schlüssig ist.</p> <p>c) In der Erklärung fehlt der Aspekt, dass das Ethanol polarer ist als das Toluol.</p> <p>Es fehlt, dass sich die WW ändern (keine Pi-Pi-Bdg. sondern Dipol-Dipol-WW) und dadurch eine schnellere Bewegung entsteht.</p>                                                                                                                                    | <p>Vp führt nicht aus, was an der Erklärung der Ln bei den Überlegungen zu Cyclohexan als Laufmittel nicht schlüssig ist.</p> <p>Da Vp bei der Analyse v. Antw. 1 die WW d. LM Toluol für maßgeblich hält, wie weit Analyten wandern, ist auch hier davon auszugehen, dass bei den WW nur die WW zw. LM und Analyten gemeint sind.</p> <p>Vp scheint das Verdrängungsprinzip selbst nicht verstanden zu haben (s. Bemerkung d. Vp zu Antw. 4 „Zusammenhang zwischen Polarität des FM, der stat. Phase und der Substanzen ist mir unklar. (&lt;Folgepfeil&gt; Wie hängen die Polaritäten zusammen?)“</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzzept teilweise“.</p> |
| 065 | <p>Ohne Betrachtung der WW der Farbstoff-Moleküle mit der stationären Phase.</p> <p>Betrachtung bleibt auf Löseprozess beschränkt</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>Vp führt nicht aus, was der Ln über den Löseprozess hinaus hätte betrachten müssen (Verdrängungsprinzip)</p> <p>Daher ist Fehlkonzzept nur teilweise erkannt.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 075 | <p>richtig: Cyclohexan unpolar, starke WW von Ethanol mit stationärer Phase</p> <p>Indophenol bleibt bei Verwendung von Cyclohexan an der Startlinie, wandert bei Verwendung von Ethanol weiter nach oben</p> <p>„falsch“: was ist mit den anderen drei Farbstoffen?</p> <p>falsch: bei Cyclohexan finden keine WW statt, da Cyclohexan unpolar ist</p> <p>Fehlkonzzept: Polarität entscheidet über Ausbildung von WW (d. h. ob WW ausgebildet werden oder nicht)</p> | <p>Unklar, warum Vp meint, dass Ln nicht erkannt hat, dass Polarität für Ausbildung von WW entscheidend ist.</p> <p>Da Vp aber die wichtigsten korrekten, falschen und fehlenden Aussagen richtig benennt, wird Code „Vp erkennt Fehlkonzzept vollständig“ zugeordnet.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 095 | <p>Es stimmt, dass das Indophenol auf der Startlinie bleiben würde, wenn man Cyclohexan als unpolare Laufmittel einsetzt, allerdings muss man an dieser Stelle noch bedenken, dass Cyclohexan nicht wie Toluol ein Aromat ist.</p> <p>Die Begründung ist jedoch ungenau, da nicht klar wird, zwischen wem bzw. zwischen welchen Substanzen jetzt genau eine Wechselwirkung stattfindet.</p> <p>Cyclohexan wechselwirkt nicht mit der stationären Phase, sodass die Lösungsmittelmoleküle sofort von der stationären Phase adsorbiert werden.</p> <p>Der zweite Teil der Aussage ist ebenfalls problematisch, da zwar starke WW zwischen dem Ethanol und der stationären Phase auftreten, jedoch führen diese dazu, dass die stationäre Phase nur von Lösungsmittelmolekülen besetzt wird.</p> <p>Die Farbstoffmoleküle wandern mit der mobilen Phase nach oben.</p> | <p>Elutionswirkung von Ethanol wird v. Ln richtig dargestellt. Nur beschränkt Ln Prognose auf Indophenol.</p> <p>Da Vp am Ende das Laufverhalten zur Laufmittelfront auf alle Farbstoffe bezieht, wird dies als Richtigstellung der Aussage d. Ln gewertet, der/die nur auf Indophenol eingeht.</p> <p>Daher Zuordnung von „Laufverhalten der anderen drei Analyten“</p> |
| 105 | <p>Gefragt wurde nicht nach dem Verhalten des Indophenols, sondern des ganzen Farbstoffgemisches.</p> <p>Das Indophenol wird nicht aufgrund der starken WW von Ethanol mit stat. Phase mitgerissen, sondern aufgrund der WW zwischen Laufmittel und Indophenol.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>Vp erkennt zwar, dass Ln nur das Laufverhalten v. Indophenol betrachtet und die anderen Farbstoffe außer Acht lässt, aber erkennt nicht, dass die Erklärung d. Ln zur Elutionswirkung von Ethanol richtig war.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzept nicht“</p>                                                                                                        |
| 115 | <p>Der Schüler hat die richtige Antwort gegeben. Formulierung ist nur noch unausgereift.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>Unklar, was Vp für unausgereift hält.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzept nicht“</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                 |



| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 125 | <p>Für Antwort 2 fällt mir auf den ersten Blick kein richtiges Fehlkonzept auf, weil es mir schwerfällt zu verstehen, wie der Schüler den zweiten Satz meint:</p> <p>Wird das Indophenol mit der stationären Phase mitgerissen?</p> <p>Denkt der SuS, dass Ethanol die stationäre Phase ist?</p> <p>Womit wird das Indophenol mitgerissen, wenn Ethanol und stationäre Phase WW haben?</p> <p>Weiß der Schüler, dass Ethanol und stationäre Phase stark gebunden sind und der Verdrängungsvorgang nicht stattfindet, hat es aber schlecht ausgedrückt?</p> | <p>So unklar ist es nicht, was Aussagen d. Ln bedeuten.</p> <p>Vp hat zuvor in Aufg. 3 und 4 Wirkprinzip verstanden; daher ist es verwunderlich, dass Vp andere Lesart d. Ln-Aussage nicht sieht: starke WW d. Ethanols mit stPhase ... und nicht Indophenol würde [durch ...] mit der stPh mitgerissen;</p> <p>Fehlkonzept d. Ln besteht darin, dass Ln Betrachtung d. anderen Analyten außen vor lässt und damit nicht klar ist, ob Ln denkt, dass nur Indophenol sich so verhält; das wäre dann falsch; aber wegen Fragen der Vp wird noch nachcodiert und damit „Vp erkennt Fehlkonzept teilweise“ zugeordnet.</p> <p>Daher Zuordnung der Codes:</p> <p>„korrekte Aussagen/Ethanol hat hoch WW mit stat. Phase“</p> <p>„fehlende Aussagen/Erklärung des Verdrängungsprinzips“</p> <p>„Vp erkennt Fehlkonzept teilweise“</p> |

## 20.5.4 Textsegmente zu Antwort 3

Tab. A 32: Alle Textsegmente zu Antwort 3 (A3) bzgl. der Aufgaben 1b–c im Teil E

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 015 | <p>Antwort 3: Cyclohexan ist „polarer“ als Toluol d. h. es wechselwirkt stärker mit der stationären Phase</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; Indophenol kann weniger wechselwirken mit stationärer Phase</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; es wandert weiter nach oben mit.</p>                                                                                                                                                          | <p>Zweifelhaft, ob Vp nur den Gedankengang d. Ln nachvollzieht oder selbst die Einschätzung teilt, dass Cyclohexan polarer als Toluol ist.</p> <p>Vp erkennt allerdings, dass Indophenol bei polarerem LM eine höhere Laufstrecke zurücklegen müsste. Diese Aussage wird als Richtigestellung der Ln-Aussage gewertet.</p> <p>In diesem Sinne erkennt Vp, dass Ln Toluol unpolarer als Cyclohexan einschätzt (Ln weiß daher nicht, dass Toluol durch den Benzolring leichter polarisierbar ist und damit etwas polarer als Cyclohexan ist). Daraus schlussfolgert Ln fälschlicherweise, dass die Substanzen mit dem etwas polaren Laufmittel eine geringere Laufstrecke zurücklegen</p> <p>Unter der Annahme, dass Vp01 den Gedankengang des Ln nachvollzieht, wird der Code „Vp erkennt Fehlkonzept vollständig“ zugeordnet.</p> |
| 025 | <p>1. Hexan auch unpolar &lt;Pfeil nach rechts&gt; deutlicher Unterschied bei EXP!</p> <p>2. ich vermute Cyclohexan ist unpolarer</p> <p>Cyclohexan als unpolarer Stoff verdrängt die polaren Farbstoffe nicht von stationärer Phase</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Trennleistung sicher schlechter</p>                                                                                                               | <p>Da Begründungszusammenhänge v. Vp vollständig dargelegt werden, sind die fehlenden Aussagen d. Ln genannt und die falschen richtiggestellt.</p> <p>Vp erkennt, dass Ln fälschlicherweise Cyclohexan unpolarer als Toluol einschätzt (s. 2.).</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzept vollständig“.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 035 | <p>Beim Lesen der Schülerantwort 3 fiel mir auf, dass ich Toluol und Phenol verwechselt habe.</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Toluol kann nur Pi-Pi-Wechselwirkungen eingehen, da OH-Gruppe gar nicht vorhanden</p> <p>Ein Lösungsmittel ist nicht noch unpolarer nur weil es eine CH<sub>3</sub>-Gruppe mehr hat.</p> <p>Wenn keine Pole vorhanden sind, ist es egal wieviele Cs das Molekül hat. Es ist unpolar.</p> | <p>Vp erkennt zwar, dass Polarität v. Ln falsch eingeschätzt wurde und beide Laufmittel unpolar sind. Unklar ist, ob Vp Toluol genauso unpolar einschätzt wie Cyclohexan. Da Vp Pi-Pi-WW benennt, die Toluol eingehen kann, wird d. Code A3_2.1 zugeordnet.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 045 | <p>b) Im letzten Abschnitt wird eine falsche Schlussfolgerung getroffen.</p> <p>Wie richtig erklärt ist das Cyclohexan polarer als Toluol.</p> <p>Wenn die Polarität des Laufmittels steigt, würde sich das Indophenol weiter nicht kürzer bewegen</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Trennstrecke somit länger!</p>                                                                      | <p>Vp schätzt selbst wie Ln Cyclohexan fälschlicherweise polarer als Toluol ein</p> <p>Vp erkennt ansonsten, dass Ln fälschlicherweise schlussfolgert, dass LM hopo zu ge Lst führt.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzzept teilweise“.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 065 | <p>Der Begriff Auftrennung wird hier mit dem Begriff Trennstrecke vermischt.</p> <p>Auftrennung: Trennung der enthaltenen Farbstoffe aus dem Gemisch</p> <p>Trennstrecke: Ist die zurückgelegte Strecke eines Stoffes</p> <p>Also folgt:</p> <p>Bei Abnahme der Trennstrecke, sinkt auch die Auftrennung des Gemisches</p>                                                              | <p>Verringerung d. Trennstrecke muss nicht gleich dazu führen, dass Analyten nicht getrennt sind.</p> <p>Die entscheidenden Fehler d. Ln erkennt Vp nicht.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzzept nicht“.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 075 | <p>richtig: Toluol, Cyclohexan unpolar</p> <p>falsch: Auftrennung ändert sich nicht</p> <p>Toluol unpolarer als Cyclohexan, da eine CH<sub>3</sub>-Gruppe mehr</p> <p>Fehlkonzzept: Nur Polarität entscheidet über Auftrennung.</p> <p>Je polarer, desto weniger werden die Farbstoffe aufgetrennt.</p> <p>Wechselwirkungen werden nicht betrachtet/beachtet, sondern nur Polarität</p> | <p>Vp07 unterscheidet explizit zwischen richtigen und falschen Aussagen des Ln.</p> <p>Obwohl Vp07 nicht genau erklärt, worauf sich „je polarer“ bezieht, kann Aussage aufgrund der Ausführungen zur Schülerantwort 2 interpretiert werden. Gemeint ist das Laufmittel, dass je nach Polarität Farbstoffe gar nicht oder bis zur LM-Front mitführt (Verdrängungsprinzip). Das Verdrängungsprinzip hat Vp zuvor richtig erklärt, dass die Codes „Erklärung des Verdrängungsprinzips“ und „Charakterisierung der Elutionskraft der Laufmittel“ zugeordnet werden.</p> <p>Vp07 benennt die beiden richtigen und zwei falsche Aussagen des Ln, sodass der Code „Vp erkennt Fehlkonzzept vollständig“ zugeordnet wird.</p> |
| 095 | <p>Dieser Schüler/Schülerin hat die Fehlvorstellung, dass Cyclohexan wie Toluol ein Aromat ist.</p> <p>Cyclohexan ist aber kein Aromat und daher als unpolares zyklisches Alkan einzuordnen welches dazu führt, dass sich keine Stofftrennung zeigt.</p>                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 105 | <p>Hier müsste nochmals auf die intermolekularen WW eingegangen werden, insbesondere auf die Pi-Pi-WW zwischen Probe und Laufmittel.</p> <p>Denn diese werden bei Cyclohexan nicht ausgebildet und sind entscheidend für das Verständnis der höheren Elutionskraft von Toluol ggü. Cyclohexan.</p> <p>An der höheren Polarität ändert auch die zusätzliche CH<sub>3</sub>-Gruppe des Toluols wenig.</p> <p>Auch die geringere Trennstrecke beim Cyclohexan ist zwar formal korrekt, muss aber im Experiment dazu führen, dass es keinerlei Bewegung der Probe gibt.</p> <p>Dies hat aber nicht damit zu tun, dass Cyclohexan polarer wäre als Toluol, sondern das genaue Gegenteil ist richtig.</p> <p>Auch dies lässt sich über die intermol. WW zwischen Laufmittel und Probe erklären.</p> | <p>Vp erkennt, dass Ln Polarität d. Cyclohexans falsch eingeschätzt und trotz falscher Prämisse die richtige Schlussfolgerung zieht.</p> <p>Vp beschränkt Betrachtung allerdings auf WW zwischen LM und Analyt. Vp hat das Verdrängungsprinzip selbst nicht verstanden.</p> <p>Dennoch „Vp erkennt Fehlkonzent vollständig“.</p>              |
| 115 | <p>Die Antwort des Schülers ist falsch.</p> <p>Es wurden keine Pi-Pi-WW berücksichtigt, da der Schüler eine falsche Formel für Toluol angibt und damit arbeitet.</p> <p>Basierend auf der falschen Annahme ist seine Schlussfolgerung logischerweise leider falsch.</p> <p>Richtig wäre Toluol hat WW mit Komponenten, Hexan (Cyclohexan) aufgrund seiner Struktur nicht</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; kein Mitreißen der Substanzen, welche an der Startlinie bleiben.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>Vp erkennt, dass Ln Polarität d. Cyclohexans falsch eingeschätzt und trotz falscher Prämisse die richtige Schlussfolgerung zieht.</p> <p>Vp beschränkt Betrachtung allerdings auf WW zwischen LM und Analyt. Vp hat das Verdrängungsprinzip selbst nicht verstanden.</p> <p>Dennoch „Vp erkennt Fehlkonzent vollständig“ wie bei Vp10.</p> |
| 125 | <p>Fehlkonzent: Die Laufmittelstärke des Toluols beruht auf seiner Unpolarität und nicht auf den Pi-Pi-WW</p> <p>BZW: Toluol ist genauso unpolar wie Cyclohexan</p> <p>BZW: Weil Toluol 1 CH<sub>3</sub> mehr hat ist es unpolarer</p> <p>BZW: Toluol: [Strukturformel] Cyclohexan: [Strukturformel]</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; kein Wissen über Pi-Pi-WW.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Vp erkennt nur, dass Polarität von Cyclohexan vom Ln falsch eingeschätzt wurde. Aber das Fehlkonzent besteht auch darin, dass Ln schlussfolgert „LM hopo führt zu ge Lst“.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzent teilweise“.</p>                                                                                                            |

### 20.5.5 Textsegmente zu Antwort 4

Tab. A 33: Alle Textsegmente zu Antwort 4 (A4) bzgl. der Aufgaben 1b–c im Teil E

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 015 | <p>Bei Ethanol bleiben die Stoffe mit Laufmittel unterwegs.<br/>         Laufmittel besetzt die Oberfläche u. kann Substanz 1 nicht hängen bleiben<br/>         &lt;Folgepfeil&gt; wandert mit.<br/>         Da Ethanol die Oberfläche besetzt hat kann die unpolare Substanz nicht mit dieser ww u. lässt sich auch mitnehmen vom Ethanol.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <p>Vp untersetzt Antwort d. Ln, aber stellt nicht heraus, worin das Fehlkonzept besteht.<br/>         Daher „Vp erkennt Fehlkonzept teilweise“.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 025 | <p>OFFEN: was ist mit Substanz 4?<br/>         bei einem sehr unpolaren LöMi/Laufm. wie Cyclohexan bleiben auch die wenig polaren Stoffe in WW mit stat. Phase (vgl. EXP mit Hexan) und es kommt zu keiner Trennung<br/>         (Fehlkonzept: Trennung erfolgt durch Löslichkeit im Laufmittel)<br/>         bei Ethanol wird dieses Fehlkonzept durch Änderung der Reihenfolge noch deutlicher</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p>Da Begründungszusammenhänge v. Vp f. Cyclohexan vollständig dargelegt werden, sind die fehlenden Aussagen d. Ln genannt und die falschen richtiggestellt.<br/>         Vp erkennt, dass Ln fälschlicherweise Trennung nur über die Löslichkeit des Analyten im Laufmittel begründet (s. „Fehlkonzept: Trennung erfolgt durch Löslichkeit im Laufmittel“).<br/>         Daher „Vp erkennt Fehlkonzept vollständig“.</p> |
| 035 | Was ist Substanz 1, 2 und 3?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 045 | <p>&lt;Folgepfeil&gt; Zusammenhang zwischen Polarität des FM, der stat. Phase und der Substanzen ist mir unklar.<br/>         (&lt;Folgepfeil&gt; Wie hängen die Polaritäten zusammen?)<br/>         SuS =&gt; unpolares FM + unpolarer Stoff + pol. stationäre Phase<br/>         &lt;geschweifte Klammer und Folgepfeil&gt;<br/>         Stoff wandert nach „oben“<br/>         &lt;Doppelpfeil mit Fragezeichen/Doppelpfeil mit Vergleich&gt; (an dieser Stelle Widerspruch)<br/>         Experiment aus Teil1:<br/>         polare FM (Propanol) + unpolarer Stoff + stat. Phase<br/>         =&gt; Stoff wandert ebenfalls nach oben &lt;Pfeil nach rechts&gt; ?<br/>         =&gt; mit Hexan würde demnach auch Indoph. wandern ... ?<br/>         &lt;Folgepfeil&gt; Zusammenhang ist mir unklar, welchen Einfluss die Polarität der einzelnen Stoffe einnimmt!</p> | <p>Vp hat selbst nur Fragen und hat das Verdrängungsprinzip selbst nicht verstanden (s. Bemerkung „Zusammenhang zwischen Polarität des FM, der stat. Phase und der Substanzen ist mir unklar. (&lt;Folgepfeil&gt; Wie hängen die Polaritäten zusammen?)“<br/>         Daher „Vp erkennt Fehlkonzept nicht“.</p>                                                                                                           |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 065 | <p>T1</p> <p>[Cyclohexan ist sehr unpolar<br/>&lt;Folgepfeil&gt; die polareren Substanzen wie Substanz 1 wird noch weniger weit nach oben steigen als bei Toluol! Substanz 3 wird stark mit dem FM mitgerissen werden, da sie sehr unpolar sind wenig WW mit stat. Phase (polar)<br/>&lt;Folgepfeil&gt; große WW mit unpolarem FM<br/>Substanz 3 wird noch höher steigen als bei Toluol.]:</p> <p>Substanz 2 wird offensichtlich als fest positioniert angesehen?</p> <p>Es ex. Vorstellung, dass Stoff 2 schwach polar ist, Stoffe 3 + 4 unpolar sind (was nicht stimmt)</p> <p>T2</p> <p>[Ethanol ist ein sehr polares FM.</p> <p>Substanz 1: große WW mit stationärer Phase und mit FM</p> <p>Substanz 2 [...]: auch starke WW mit st. Phase und FM, jedoch nicht ganz so wie Substanz 1</p> <p>Substanz 3: geringe WW mit stat. Phase und geringe WW mit FM<br/>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Substanz 1 wird ca. bis zur Hälfte der Trennstrecke laufen, da das FM große Elutionskraft hat, aber die Substanzen auch stark mit stat. Phase ww.</p> <p>Substanz 3. wird im unteren Drittel verbleiben, da sie „keine“ WW mit FM haben &lt;Pfeil nach rechts&gt; sehr geringe Elutionskraft, aber stat. Phase ist mehr polar &lt;Pfeil nach rechts&gt; keine große WW]:</p> <p>Es erfolgt eine Quantifizierung, welche sich so nicht ohne weiteres bestätigen lässt, da genaue Angaben für Polarität etc fehlen</p> | <p>T1: Aussagen in eckigen Klammern ist Zitat der zu analysierenden Schülerantwort; Vp hat Antw. 4 in 2 Teile unterteilt</p> <p>Vp erkennt nicht, dass Ln Polaritätsunterschiede der Analyten korrekt eingestuft hat.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzept nicht“.</p> <p>T2: Aussagen in eckigen Klammern ist Zitat der zu analysierenden Schülerantwort; Vp hat Antw. 4 in 2 Teile unterteilt</p> <p>Unklar, was Vp mit Quantifizierung meint, die „sich so nicht ohne weiteres bestätigen lässt, da genaue Angaben für Polarität etc fehlen“.</p> <p>Vp erkennt nicht, dass viele Aussagen d. Ln korrekt sind und worin die falschen und fehlenden Aussagen bestehen.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzept nicht“.</p> |
| 075 | <p>richtig: Cyclohexan unpolar, Ethanol polar</p> <p>falsch: Veränderungen der Auftrennung falsch beschrieben</p> <p>Fehlkonzept: lediglich Betrachtung der WW Farbstoff-Laufmittel und Farbstoff-stat. Phase</p> <p>keine Betrachtung der WW Laufmittel-stat. Phase</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>„Veränderungen der Auftrennung falsch beschrieben“ entspricht den Codes:</p> <p>„Lst Analyt gepo mit Cyclohexan höher als mit Toluol“</p> <p>„Lst Analyt gepo mit Ethanol geringer als mit Toluol“</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 095 | <p>Die erste Folgerung ist korrekt allerdings werden alle Substanzen nicht transportiert, aufgrund der fehlenden Wechselwirkung mit der polaren stationären Phase.</p> <p>Die großen Wechselwirkungen zwischen den Farbstoffen und dem Flussmittel ist eine Fehlvorstellung, da lediglich die Löseeigenschaften gut sind.</p> <p>Auch Ethanol wurde als sehr polares Flussmittel richtig eingeordnet, jedoch fehlt auch hier die exakte Schlussfolgerung.</p> <p>Die polaren Ethanolmoleküle werden an der Oberfläche vollständig adsorbiert und verhindern, dass die Farbstoffmoleküle sich anlagern können.</p> <p>Außerdem herrscht das Fehlkonzzept, umso mehr Wechselwirkungen des Flussmittels mit der Oberfläche auftreten umso größer Elutionskraft (stimmt bis dahin) und daraus folgt, dass die Substanz weiter laufen wird.</p> <p>Wenn eine Substanz im unteren Drittel bleibt wird hier gedeutet, dass geringe Wechselwirkungen mit der stationären Phase auftreten. Außerdem wird der Begriff der Elutionskraft hier falsch genutzt.</p> | <p>Aussage Vp besagt, dass Ln zwar richtig schlussfolgert, dass „die polarerer Substanzen wie Substanz 1 wird noch weniger weit nach oben steigen als bei Toluol“, aber dass „Substanz 3 wird stark mit dem FM mitgerissen werden, da sie sehr unpolar sind Ê wenig WW mit stat. Phase (polar)“ falsch ist.</p> <p>Ebenso verweist Vp darauf, dass Schlussfolgerung d. Ln für Ethanol nicht ausreichend ist und führt aus, welche Auswirkungen Ethanol auf Trennergebnis hat (alle Analyten wandern bis zur Laufmittelfront). Vp führt Aspekte d. Elutionswirkung korrekt aus und sagt damit implizit, worauf Ln nicht eingeht (fehlende Aussagen).</p> <p>Daher Zuordnung der Codes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– A4_2.1 LsA gepo mit Cyclohexan höher als mit Toluol</li> <li>– A4_2.2 LsA gepo mit Ethanol geringer als mit Toluol</li> <li>– A4_3.1 WW zwischen Laufmittel und stationärer Phase</li> <li>– A4_3.2 Elutionskraft Ethanol zu hoch</li> <li>– A4_3.3 Ethanol konkurriert zu stark um Adsorptionsplätze</li> </ul> |
| 105 | <p>Unter der Voraussetzung, dass mit der Substanz die am weitesten gewanderte Substanz gemeint ist, liegt hier ein grundsätzliches Missverständnis bzgl. der Trennung von Substanzen vor, die oberste Substanz ist gerade die unpolarste.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <p>Unklar, worin Vp das Missverständnis sieht.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzzept nicht“.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 115 | <p>Der Schüler hat zu den polaren Substanzen die richtige Aussage getroffen sowohl beim Cyclohexan als auch beim Ethanol., in welche Richtung sich die Komponenten jeweils beim Austausch des Laufmittels verschieben.</p> <p>Zu den polaren Substanzen hat der Schüler genau die falsche Aussage getätigt, da er davon ausgeht, dass die Elutionskraft der Laufmittel lediglich von der WW zwischen Komponente und Laufmittel abhängt.</p> <p>Es wurden die WW zwischen mobiler und stationärer Phase vergessen, das beispielsweise EtOH eine viel größere WW mit der DC-Platte eingeht und somit die Komponenten „weeterschiebt“.</p> <p>Richtige Antwort wäre bei Cyclohexan verbleibt alles ungefähr auf Höhe der Startlinie,<br/>bei Ethanol wandern die Substanzen fast mit bis zur Frontlinie.</p>                                                                     | <p>Vp erkennt nicht, dass die Aussagen d. Ln über Laufverhalten d. Analyten nicht vollständig korrekt sind. Somit werden nur die Codes zugeordnet, die sich auf Polarität d. Laufmittel beziehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– stationäre Phase ist polar</li> <li>– Cyclohexan, mobile Phase, ist unpolar</li> <li>– Ethanol, mobile Phase, ist polar</li> </ul> <p>Da Vp aber richtig erkennt, dass Ln Begründung d. Laufverhaltens d. Analyten nur auf die WW zw. Laufmittel und Analyten bezieht u. die WW zw. Laufmittel und stationärer Phase außer Acht lässt, erkennt sie, dass Ln das Verdrängungsprinzip nicht verstanden hat.</p> <p>Mit der Richtigstellung am Ende verdeutlicht Vp, dass sie selbst das Verdrängungsprinzip verstanden hat.</p> <p>Daher „Vp erkennt Fehlkonzept vollständig“.</p> |
| 125 | <p>FM = Flussmittel? &lt;Pfeil nach rechts&gt; Laufmittel ist gemeint</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Substanz 3 ist unpolar (sehr unpolar)</li> <li>- Cyclohexan hat überhaupt WW mit Farbstoffen (unpolar – unpolar WW)</li> <li>- Verdrängungsprozess nicht durchdacht</li> </ul> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Cyclohexan hat keinerlei WW mit stat. Phase</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; Farbstoffe „binden“ sofort an stat. Phase</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Ethanol hat sehr große WW mit stat. Phase</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; Farbstoffe können es nicht von der Oberfläche verdrängen</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; keine WW mit stat. Phase</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; SuS denkt, dass stat. und mobile Phase um Gunst der Farbstoffe kämpfen und wenn es in der Mitte stehen bleibt, dann sind LM und stat. Phase gleich stark (wie Tauziehen)</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |



**20.5.6 Textsegmente zur Erklärung für Unterricht 1b–c***Tab. A 34: Alle Textsegmente zur Erklärung für den Unterricht zum Beheben der Schülerfehlkonzepte A2–4*

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Memos                                                                                                                                                             |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 015 | <p>Cyclohexan besetzt die Oberfläche d. DC-Platte</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; Indophenol kann sich nicht „setzen“ und muss weiter wandern, in der Hoffnung einen leeren „Sitzplatz“ zu bekommen.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Vp erklärt Verdrängungsprinzip an Cyclohexan, aber unter der falschen Annahme, dass Cyclohexan stark mit stPh wechselwirkt und damit eine hohe Elutionskraft hat. |
| 025 | <p>wichtig ist für SuS dass sie verstehen, dass nicht die Löslichkeit der Stoffe im Laufmittel sondern die WW zw. Laufmittel &lt;Doppelpfeil&gt; stat. [Phase] und Substanz &lt;Doppelpfeil&gt; stat. Phase relevant sind</p> <p>z. B.</p> <p>&lt;Skizze: Längsstrich –OH ... (polares Molekül)</p> <p>polares Laufmittel wechselwirkt auch mit stat. Phase und verdrängt Substanz ein Stück nach oben</p> <p>unpolares Molekül wird (weil keine WW (wenig) mit stat. Phase gleich nach oben getragen</p> <p>bei unpolarem LM bleiben die Stoffe alle auf Grundlinie, da sie alle etwas mit stat. Phase ww, aber LM diese nicht verdrängt</p> |                                                                                                                                                                   |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                    | Memos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 045 | zu Antwort 2 b: [Sowohl Toluol als Cyclohexan sind unpolar, sodass die Erklärung des SuS nicht schlüssig ist.] Dies könnte aufgelöst werden, indem die Polarität über die Struktur der Stoffe untersucht/ betrachtet wird. | <p>Vp hat selbst nur Fragen (s. Antw.4) und hat das Verdrängungsprinzip selbst nicht verstanden (s. Bemerkung „Zusammenhang zwischen Polarität des FM, der stat. Phase und der Substanzen ist mir unklar. (&lt;Folgepfeil&gt; Wie hängen die Polaritäten zusammen?)“</p> <p>Daher keine Zuordnung zu den Codes „Gegenüberstellung Elutionswirkung verschiedener Laufmittel“ und „Begründen d. Laufverhaltens Analyt (gepo vs hopo)“</p> <p>Auch Code „Gegenüberstellung StrM und Polarität des Analyten“ wird nicht zugeordnet.</p> <p>Antwort auf Frage von Interco-der (BS):</p> <p>Begründung: Code gehört zu 1a, das Segment aber zu 1b; in 1b war die Elutionswirkung versch. LM zu begründen; Vp hat aber Verdrängungsprinzip und die damit verbundene Elutionskraft d. LM nicht verstanden; was aus Str- und Polaritätsbetrachtungen abgeleitet werden soll, wird nicht weiter ausgeführt; daher nur Zuordnung unter „1b-c Sonstige“.</p> |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Memos                                                                                                                                                                                           |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 075 | <p>noch einmal die Arten von zwischenmolekularen Wechselwirkungen im Detail besprechen</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; zeigen, dass Polarität nicht entscheidend ist, ob WW ausgebildet werden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– besprechen, was mit den anderen Farbstoffen ist/passiert</li> <li>– klar machen: entscheidend ist, welche WW stärker ist: Farbstoff-Laufmittel, Farbstoff-stat. Phase oder Laufmittel-stat. Phase (wobei das bezüglich Frage c) schon gut herausgekommen ist)</li> <li>– Betrachtung zwischenmolekularer WW</li> <li>– klar machen, dass es auch WW zw. unpolaren Molekülen gibt (z. B. Pi-Pi-WW)</li> <li>– überhaupt: Aufmerksamkeit auf WW lenken</li> <li>– Elutionskraft ist auch abhängig von der WW Laufmittel-stat. Phase</li> </ul> <p>&lt;gewinkelter Pfeil&gt; das klar machen</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; damit Farbstoffe mitgerissen werden können, müssen sie durch das Laufmittel aus der stat. Phase herausgelöst /verdrängt werden</p> <p>&lt;Folgepfeil&gt; dafür WW Laufmittel-stat. Phase wichtig zu beachten (Skizzen siehe Erklärung/Richtigstellung Antwort 1)</p> | <p>Unklar, wie Vp es meint, dass Polarität nicht entscheidend ist, ob WW ausgebildet werden.</p>                                                                                                |
| 095 | <p>[Antw. 2] &lt;Pfeil nach rechts&gt; Man könnte durch Abbildungen diesen Zusammenhang verdeutlichen:</p> <p>[Skizze 1: OH-Gruppen von Laufmittel Ethanol und Silicagel-Oberfläche bilden Wasserstoffbrückenbindung] völlig besetzte stationäre Phase</p> <p>[Skizze 2: Cyclohexanmoleküle und OH-Gruppen der Silicagel-Oberfläche zeigen keine WW]</p> <p>Es ist wichtig den SuS diese Zusammenhänge in der Erarbeitung zu verdeutlichen.</p> <p>[Antw. 3] &lt;Pfeil nach rechts&gt; Diese Fehlvorstellung müsste man bei Erteilung der Aufgaben ausräumen in dem man die Strukturen an die Tafel schreibt und den Unterschied zu Benzol als Aromat explizit macht.</p> <p>[Antw. 4] &lt;Pfeil nach rechts&gt; Man müsste an dieser Stelle als Lehrperson darauf achten alle Begriffe eindeutig zu beschreiben und zu verwenden und den Schülern Möglichkeit geben Fragen zu stellen.</p> <p>Es bietet sich an bei diesem Thema schriftliche Aufgaben bearbeiten zu lassen, um zu kontrollieren, dass sich keine Fehlvorstellungen manifestiert haben.</p>                                                                                 | <p>Da Vp auf die jeweiligen Antworten verweist, die zuvor analysiert wurden, ist Zuordnung der Codes im Zusammenhang mit den Ausführungen d. Vp zu den jeweiligen Antworten d. Ln zu sehen.</p> |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Memos |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 105 | <p>zu Antwort 2: Hier müsste noch mal das Konzept der Elutionskraft intensiver erläutert werden.</p> <p>zu Antwort 3: Hier müsste nochmals auf die intermolekularen WW eingegangen werden, insbesondere auf die Pi-Pi-WW zwischen Probe und Laufmittel.</p> <p>[Auch die geringere Trennstrecke beim Cyclohexan ist zwar formal korrekt, muss aber im Experiment dazu führen, dass es keinerlei Bewegung der Probe gibt.</p> <p>Dies hat aber nicht damit zu tun, dass Cyclohexan polarer wäre als Toluol, sondern das genaue Gegenteil ist richtig.]</p> <p>Auch dies lässt sich über die intermol. WW zwischen Laufmittel und Probe erklären.</p> <p>zu Antwort 4: [die oberste Substanz ist gerade die unpolarste] Hier sollte also noch mal auf Wechselwirkungen von Laufmittel und Probe und Probe + stationärer Phase eingegangen werden.</p> <p>Starke WW mit stat. Phase führt dazu, dass sich die Substanz nur langsam bewegt.</p> <p>Als Skizze könnten z. B. Wasserstoffbrücken von Probe und stat. Phase dienen.</p> <p>[Skizze: H-Brückenbindung zwischen OH-Gruppen von stat. Phase u. einem Alkohol]</p> |       |

| Vp  | Segment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Memos |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 125 | <p>[zu Antwort 2]</p> <p>Fehlkonzept wie bei Antwort 1</p> <p>WW zwischen stat. Phase und Ethanol bewirken Bewegung nach oben</p> <p>Berichtigung wie Antwort 1 bzw. erneute Erklärung des Verdrängungsprozesses bei starkem Laufmittel</p> <p>[Zu Antwort 3]</p> <p>Betrachtung von Orbitalen und Hybridisierung der beiden Stoffe (Toluol + Cyclohexan)</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Toluol: <math>sp^2</math>-hybridisiert + p für DB</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Cyclohexan <math>sp^3</math>-hybridisiert</p> <p>Einzeichnen von p-Orbitalen in Toluol (evtl. Einsatz von Molekülbaukasten und p-Orbitalen)</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Toluol hat herausstehende Orbitale</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; gehen WW mit anderen gleichen Molekülen mit p-Orbitalen ein</p> <p>[Skizzen: Überlappung d. p-Orbitale zwischen aromatischen Ringen; keine Überlappung der p-Orbitale der aromatischen Ringe und Cyclohexan]</p> <p>[zu Antwort 4]</p> <p>Oberfläche von stat. Phase ist von LM bedeckt (lückenlos)</p> <p>Cyclohexan hat keine großen WW mit stat. Phase</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; wenn ein Molekül mit einer polaren Stelle kommt, entstehen sofort WW mit stationärer Phase und Cyclohexan wird verdrängt</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Cyclohexan kann durch seine Unpolarität die Farbstoffe nicht bewegen</p> <p>[Skizze: stat. Phase belegt mit Cyclohexanmolekülen (schwache WW) &lt;Pfeil nach oben&gt; stat. Phase belegt mit Probenmolekülen]</p> <p>evtl Darstellung mit Kugeln oder Magneten</p> <p>Ethanol hat sehr große WW mit stat. Phase</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; alle möglichen Bindungsmöglichkeiten sind abgesättigt</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; Farbstoffe können nicht mit stat. Phase in WW treten</p> <p>&lt;Pfeil nach rechts&gt; werden von restlichem LM mitgezogen</p> <p>[Skizze: stat. Phase belegt mit Ethanol (starke WW) mit Probenmolekülen oberhalb der Ethanolschicht und Pfeil zu Ethanolmolekülen "keine WW möglich"]</p> |       |

## 20.6 Korrelationenstabellen

Tab. A 35: Korrelationstabelle zu englischen und fachbezogenen Vorkenntnissen ( $T1\_En$ ,  $T1\_SC$ ,  $T1\_A$ ) und Erkenntnisgewinn, Zeitaufwand, Schülerfehlkonzepte, Frage- und Problemstellungen sowie Erkenntniswege ( $T2\_A\_B\_C\_D$ ,  $t\_T2\_D$ ,  $T2\_E\_Mw$ ,  $T2\_d\_e\_f$ ,  $T2\_AB\_d\_e$ ,  $T2\_ErkW\_ges$ )

Korrelationen mit listenweisem Fallausschluss (bedeutet, dass für alle Korrelationen die gleichen Fälle verwendet werden – jene Fälle, die für alle Variablen in der Analyse gültige Fälle aufweisen.)

|               |                                                                                                  | Gesamtergebnis C-Test zur Bestimmung der globalen englischen Sprachkompetenzen | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie vor der Hauptuntersuchung | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie nach der HU | Gesamtergebnis des ersten Aufgabenkomplexes (A) der HU | Gesamtergebnis des ersten bis vierten Aufgabenkomplexes (A bis D) der HU | Bearbeitungszeit in Minuten für ersten bis vierten Aufgabenkomplex (A bis D) der HU | Gesamtergebnis des fünften Aufgabenkomplexes (E) der HU | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d-f des ersten Aufgabenkomplexes (A) der HU | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d-e und 2d-e des ersten Aufgabenkomplexes (A) der HU | Gesamtergebnis Erkenntniswege (1f, 2f, 4L3.1 und 4L3.2) |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Kondult-Tisch | Gesamtergebnis C-Test zur Bestimmung der globalen englischen Sprachkompetenzen                   | $\tau$ 1                                                                       | -0,289                                                                         | -,534*                                                           | 0,267                                                  | -0,22                                                                    | 0,073                                                                               | -0,357                                                  | 0,374                                                                                   | 0,315                                                                                            | 0,037                                                   |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                |                                                                                | 0,117                                                            | 0,013                                                  | 0,134                                                                    | 0,174                                                                               | 0,377                                                   | 0,074                                                                                   | 0,058                                                                                            | 0,438                                                   |
|               | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie vor der Hauptuntersuchung                   | $\tau$ -0,289                                                                  | 1                                                                              | ,634**                                                           | 0,317                                                  | -,458*                                                                   | 0,038                                                                               | 0,268                                                   | -0,039                                                                                  | -0,096                                                                                           | 0,233                                                   |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,117                                                                          |                                                                  | 0,005                                                  | 0,099                                                                    | 0,437                                                                               | 0,145                                                   | 0,437                                                                                   | 0,346                                                                                            | 0,17                                                    |
|               | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie nach der HU                                 | $\tau$ -,534*                                                                  | ,634**                                                                         | 1                                                                | 0,02                                                   | 0,283                                                                    | -0,057                                                                              | 0,266                                                   | -0,25                                                                                   | -0,343                                                                                           | -,442*                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,013                                                                          | 0,005                                                            |                                                        | 0,468                                                                    | 0,118                                                                               | 0,406                                                   | 0,146                                                                                   | 0,151                                                                                            | 0,077                                                   |
|               | Gesamtergebnis des ersten Aufgabenkomplexes (A) der HU                                           | $\tau$ 0,267                                                                   | 0,317                                                                          | 0,02                                                             | 1                                                      | 0,359                                                                    | -0,321                                                                              | 0,204                                                   | 0,308                                                                                   | 0,114                                                                                            | 0,365                                                   |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,134                                                                          | 0,099                                                            | 0,468                                                  |                                                                          | 0,067                                                                               | 0,09                                                    | 0,208                                                                                   | 0,102                                                                                            | 0,317                                                   |
|               | Gesamtergebnis des ersten bis vierten Aufgabenkomplexes (A bis D) der HU                         | $\tau$ -0,22                                                                   | -,458*                                                                         | 0,283                                                            | 0,359                                                  | 1                                                                        | 0,273                                                                               | -,531*                                                  | 0,278                                                                                   | 0,33                                                                                             | -0,056                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,174                                                                          | 0,029                                                            | 0,118                                                  | 0,067                                                                    |                                                                                     | 0,121                                                   | 0,015                                                                                   | 0,12                                                                                             | 0,407                                                   |
|               | Bearbeitungszeit in Minuten für ersten bis vierten Aufgabenkomplex (A bis D) der HU              | $\tau$ 0,073                                                                   | 0,038                                                                          | -0,057                                                           | -0,321                                                 | 0,273                                                                    | 1                                                                                   | 0,216                                                   | 0,056                                                                                   | 0,367                                                                                            | -0,352                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,377                                                                          | 0,437                                                            | 0,406                                                  | 0,09                                                                     | 0,121                                                                               |                                                         | 0,189                                                                                   | 0,407                                                                                            | 0,068                                                   |
|               | Gesamtergebnis des fünften Aufgabenkomplexes (E) der HU                                          | $\tau$ -0,357                                                                  | 0,268                                                                          | 0,266                                                            | 0,204                                                  | -,531*                                                                   | 0,216                                                                               | 1                                                       | -0,1                                                                                    | 0,04                                                                                             | 0,04                                                    |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,074                                                                          | 0,145                                                            | 0,146                                                  | 0,208                                                                    | 0,015                                                                               | 0,189                                                   |                                                                                         | 0,343                                                                                            | 0,436                                                   |
|               | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d-f des ersten Aufgabenkomplexes (A) der HU          | $\tau$ 0,374                                                                   | -0,039                                                                         | -0,25                                                            | 0,308                                                  | 0,278                                                                    | 0,056                                                                               | -0,1                                                    | 1                                                                                       | -,710**                                                                                          | -0,283                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,058                                                                          | 0,437                                                            | 0,151                                                  | 0,102                                                                    | 0,12                                                                                | 0,407                                                   | 0,343                                                                                   |                                                                                                  | 0,001                                                   |
| Spezialm-Roh  | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d-e und 2d-e des ersten Aufgabenkomplexes (A) der HU | $\tau$ 0,315                                                                   | -0,096                                                                         | -0,343                                                           | 0,114                                                  | 0,33                                                                     | 0,367                                                                               | 0,04                                                    | -,710**                                                                                 | 1                                                                                                | -,449*                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,092                                                                          | 0,346                                                            | 0,077                                                  | 0,317                                                                    | 0,08                                                                                | 0,059                                                   | 0,436                                                                                   | 0,001                                                                                            | 0,03                                                    |
|               | Gesamtergebnis Erkenntniswege (1f, 2f, 4L3.1 und 4L3.2)                                          | $\tau$ 0,037                                                                   | 0,233                                                                          | -,442*                                                           | 0,365                                                  | -0,056                                                                   | -0,352                                                                              | 0,04                                                    | -0,283                                                                                  | -,449*                                                                                           | 1                                                       |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,438                                                                          | 0,17                                                             | 0,034                                                  | 0,066                                                                    | 0,407                                                                               | 0,068                                                   | 0,436                                                                                   | 0,119                                                                                            | 0,03                                                    |
|               | Gesamtergebnis C-Test zur Bestimmung der globalen englischen Sprachkompetenzen                   | $r$ 1                                                                          | -0,363                                                                         | -,652*                                                           | 0,281                                                  | -0,26                                                                    | 0,068                                                                               | -,525*                                                  | 0,384                                                                                   | 0,352                                                                                            | 0,011                                                   |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                |                                                                                | 0,137                                                            | 0,015                                                  | 0,201                                                                    | 0,22                                                                                | 0,421                                                   | 0,049                                                                                   | 0,122                                                                                            | 0,487                                                   |
|               | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie vor der Hauptuntersuchung                   | $r$ -0,363                                                                     | 1                                                                              | ,760**                                                           | 0,413                                                  | -,590*                                                                   | 0                                                                                   | 0,384                                                   | 0,005                                                                                   | -0,125                                                                                           | 0,354                                                   |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,137                                                                          |                                                                  | 0,003                                                  | 0,104                                                                    | 0,028                                                                               | 0,5                                                     | 0,122                                                                                   | 0,495                                                                                            | 0,143                                                   |
|               | Gesamtergebnis Single-Choice-Test zur Chromatografie nach der HU                                 | $r$ -,652*                                                                     | ,760**                                                                         | 1                                                                | 0,023                                                  | 0,363                                                                    | -0,106                                                                              | 0,325                                                   | -0,305                                                                                  | -0,438                                                                                           | -,552*                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,015                                                                          | 0,003                                                            | 0,473                                                  | 0,136                                                                    | 0,378                                                                               | 0,165                                                   | 0,181                                                                                   | 0,089                                                                                            | 0,039                                                   |
|               | Gesamtergebnis des ersten Aufgabenkomplexes (A) der HU                                           | $r$ 0,281                                                                      | 0,413                                                                          | 0,023                                                            | 1                                                      | 0,487                                                                    | -0,354                                                                              | 0,264                                                   | 0,393                                                                                   | 0,147                                                                                            | 0,402                                                   |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,201                                                                          | 0,104                                                            | 0,473                                                  |                                                                          | 0,064                                                                               | 0,143                                                   | 0,217                                                                                   | 0,116                                                                                            | 0,11                                                    |
|               | Gesamtergebnis des ersten bis vierten Aufgabenkomplexes (A bis D) der HU                         | $r$ -0,26                                                                      | -,590*                                                                         | 0,363                                                            | 0,487                                                  | 1                                                                        | 0,355                                                                               | -,661*                                                  | 0,333                                                                                   | 0,446                                                                                            | -0,018                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,22                                                                           | 0,028                                                            | 0,136                                                  | 0,064                                                                    |                                                                                     | 0,142                                                   | 0,013                                                                                   | 0,158                                                                                            | 0,479                                                   |
|               | Bearbeitungszeit in Minuten für ersten bis vierten Aufgabenkomplex (A bis D) der HU              | $r$ 0,068                                                                      | 0                                                                              | -0,106                                                           | -0,354                                                 | 0,355                                                                    | 1                                                                                   | 0,209                                                   | 0,128                                                                                   | -,556*                                                                                           | -0,507                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,421                                                                          | 0,5                                                              | 0,378                                                  | 0,143                                                                    | 0,142                                                                               |                                                         | 0,268                                                                                   | 0,354                                                                                            | 0,038                                                   |
| Spezialm-Roh  | Gesamtergebnis des fünften Aufgabenkomplexes (E) der HU                                          | $r$ -,525*                                                                     | 0,384                                                                          | 0,325                                                            | 0,264                                                  | -,661*                                                                   | 0,209                                                                               | 1                                                       | -0,072                                                                                  | 0,047                                                                                            | -0,035                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,049                                                                          | 0,122                                                            | 0,165                                                  | 0,217                                                                    | 0,013                                                                               | 0,268                                                   |                                                                                         | 0,416                                                                                            | 0,459                                                   |
|               | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d-f des ersten Aufgabenkomplexes (A) der HU          | $r$ 0,384                                                                      | 0,005                                                                          | -0,305                                                           | 0,393                                                  | 0,333                                                                    | 0,128                                                                               | -0,072                                                  | 1                                                                                       | -,858**                                                                                          | -0,349                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,122                                                                          | 0,495                                                            | 0,181                                                  | 0,116                                                                    | 0,158                                                                               | 0,354                                                   | 0,416                                                                                   |                                                                                                  | 0,147                                                   |
|               | Gesamtergebnis Problem- u. Fragestellungen 1d-e und 2d-e des ersten Aufgabenkomplexes (A) der HU | $r$ 0,352                                                                      | -0,125                                                                         | -0,438                                                           | 0,147                                                  | 0,446                                                                    | -,556*                                                                              | 0,047                                                   | -,858**                                                                                 | 1                                                                                                | -,629*                                                  |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,144                                                                          | 0,357                                                            | 0,089                                                  | 0,333                                                                    | 0,084                                                                               | 0,038                                                   | 0,446                                                                                   | 0                                                                                                | 0,019                                                   |
|               | Gesamtergebnis Erkenntniswege (1f, 2f, 4L3.1 und 4L3.2)                                          | $r$ 0,011                                                                      | 0,354                                                                          | -,552*                                                           | 0,402                                                  | -0,018                                                                   | -0,507                                                                              | -0,035                                                  | -0,349                                                                                  | -,629*                                                                                           | 1                                                       |
|               |                                                                                                  | Sig. (1-seitig)                                                                | 0,487                                                                          | 0,143                                                            | 0,039                                                  | 0,11                                                                     | 0,479                                                                               | 0,056                                                   | 0,459                                                                                   | 0,147                                                                                            | 0,019                                                   |

\*. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (einseitig).

\*\* Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (einseitig).

c. Listenweises N= 11

Kapitel 21 wurde nur in dem Exemplar an die Gutachter veröffentlicht.

Bisher erschienene Bände der Reihe „*Studien zum Physik- und Chemielernen*“

ISSN 1614-8967 (vormals *Studien zum Physiklernen* ISSN 1435-5280)

- 1 Helmut Fischler, Jochen Peuckert (Hrsg.): Concept Mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie  
ISBN 978-3-89722-256-4 40.50 EUR
- 2 Anja Schoster: Bedeutungsentwicklungsprozesse beim Lösen algorithmischer Physikaufgaben. *Eine Fallstudie zu Lernprozessen von Schülern im Physiknachhilfeunterricht während der Bearbeitung algorithmischer Physikaufgaben*  
ISBN 978-3-89722-045-4 40.50 EUR
- 3 Claudia von Aufschnaiter: Bedeutungsentwicklungen, Interaktionen und situatives Erleben beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben  
ISBN 978-3-89722-143-7 40.50 EUR
- 4 Susanne Haerberlen: Lernprozesse im Unterricht mit Wasserstromkreisen. *Eine Fallstudie in der Sekundarstufe I*  
ISBN 978-3-89722-172-7 40.50 EUR
- 5 Kerstin Haller: Über den Zusammenhang von Handlungen und Zielen. *Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum*  
ISBN 978-3-89722-242-7 40.50 EUR
- 6 Michaela Horstendahl: Motivationale Orientierungen im Physikunterricht  
ISBN 978-3-89722-227-4 50.00 EUR
- 7 Stefan Deylitz: Lernergebnisse in der Quanten-Atomphysik. *Evaluation des Bremer Unterrichtskonzepts*  
ISBN 978-3-89722-291-5 40.50 EUR
- 8 Lorenz Huckle: Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums  
ISBN 978-3-89722-316-5 50.00 EUR
- 9 Heike Theyßen: Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. *Darstellung der Entwicklung und Evaluation eines adressatenspezifischen Praktikums nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion*  
ISBN 978-3-89722-334-9 40.50 EUR
- 10 Annette Schick: Der Einfluß von Interesse und anderen selbstbezogenen Kognitionen auf Handlungen im Physikunterricht. *Fallstudien zu Interessenhandlungen im Physikunterricht*  
ISBN 978-3-89722-380-6 40.50 EUR
- 11 Roland Berger: Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik. *Ein Weg zu interessanterem Physikunterricht*  
ISBN 978-3-89722-445-2 40.50 EUR

- 12 Johannes Werner: Vom Licht zum Atom. *Ein Unterrichtskonzept zur Quantenphysik unter Nutzung des Zeigermodells*  
ISBN 978-3-89722-471-1 40.50 EUR
- 13 Florian Sander: Verbindung von Theorie und Experiment im physikalischen Praktikum. *Eine empirische Untersuchung zum handlungsbezogenen Vorverständnis und dem Einsatz grafikorientierter Modellbildung im Praktikum*  
ISBN 978-3-89722-482-7 40.50 EUR
- 14 Jörn Gerdes: Der Begriff der physikalischen Kompetenz. *Zur Validierung eines Konstruktes*  
ISBN 978-3-89722-510-7 40.50 EUR
- 15 Malte Meyer-Arndt: Interaktionen im Physikpraktikum zwischen Studierenden und Betreuern. *Feldstudie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen im physikalischen Praktikum*  
ISBN 978-3-89722-541-1 40.50 EUR
- 16 Dietmar Höttecke: Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. *Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen*  
ISBN 978-3-89722-607-4 40.50 EUR
- 17 Gil Gabriel Mavanga: Entwicklung und Evaluation eines experimentell- und phänomenorientierten Optikcurriculums. *Untersuchung zu Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I in Mosambik und Deutschland*  
ISBN 978-3-89722-721-7 40.50 EUR
- 18 Meike Ute Zastrow: Interaktive Experimentieranleitungen. *Entwicklung und Evaluation eines Konzeptes zur Vorbereitung auf das Experimentieren mit Messgeräten im Physikalischen Praktikum*  
ISBN 978-3-89722-802-3 40.50 EUR
- 19 Gunnar Friege: Wissen und Problemlösen. *Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*  
ISBN 978-3-89722-809-2 40.50 EUR
- 20 Erich Starauschek: Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie*  
ISBN 978-3-89722-823-8 40.50 EUR
- 21 Roland Paatz: Charakteristika analogiebasierten Denkens. *Vergleich von Lernprozessen in Basis- und Zielbereich*  
ISBN 978-3-89722-944-0 40.50 EUR
- 22 Silke Mikelskis-Seifert: Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. *Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*  
ISBN 978-3-8325-0013-9 40.50 EUR
- 23 Brunhild Landwehr: Distanzen von Lehrkräften und Studierenden des Sachunterrichts zur Physik. *Eine qualitativ-empirische Studie zu den Ursachen*  
ISBN 978-3-8325-0044-3 40.50 EUR



- 24 Lydia Murmann: Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen. *Eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe*  
ISBN 978-3-8325-0060-3 40.50 EUR
- 25 Thorsten Bell: Strukturprinzipien der Selbstregulation. *Komplexe Systeme, Elementarisierungen und Lernprozessstudien für den Unterricht der Sekundarstufe II*  
ISBN 978-3-8325-0134-1 40.50 EUR
- 26 Rainer Müller: Quantenphysik in der Schule  
ISBN 978-3-8325-0186-0 40.50 EUR
- 27 Jutta Roth: Bedeutungsentwicklungsprozesse von Physikerinnen und Physikern in den Dimensionen Komplexität, Zeit und Inhalt  
ISBN 978-3-8325-0183-9 40.50 EUR
- 28 Andreas Saniter: Spezifika der Verhaltensmuster fortgeschrittener Studierender der Physik  
ISBN 978-3-8325-0292-8 40.50 EUR
- 29 Thomas Weber: Kumulatives Lernen im Physikunterricht. *Eine vergleichende Untersuchung in Unterrichtsgängen zur geometrischen Optik*  
ISBN 978-3-8325-0316-1 40.50 EUR
- 30 Markus Rehm: Über die Chancen und Grenzen moralischer Erziehung im naturwissenschaftlichen Unterricht  
ISBN 978-3-8325-0368-0 40.50 EUR
- 31 Marion Budde: Lernwirkungen in der Quanten-Atom-Physik. *Fallstudien über Resonanzen zwischen Lernangeboten und SchülerInnen-Vorstellungen*  
ISBN 978-3-8325-0483-0 40.50 EUR
- 32 Thomas Reyer: Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht. *Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe*  
ISBN 978-3-8325-0488-5 40.50 EUR
- 33 Christoph Thomas Müller: Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-0543-1 40.50 EUR
- 34 Gabriela Jonas-Ahrend: Physiklehrervorstellungen zum Experiment im Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-0576-9 40.50 EUR
- 35 Dimitrios Stavrou: Das Zusammenspiel von Zufall und Gesetzmäßigkeiten in der nicht-linearen Dynamik. *Didaktische Analyse und Lernprozesse*  
ISBN 978-3-8325-0609-4 40.50 EUR
- 36 Katrin Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken  
ISBN 978-3-8325-0689-6 40.50 EUR
- 37 Susann Hartmann: Erklärungsvielfalt  
ISBN 978-3-8325-0730-5 40.50 EUR

- 38 Knut Neumann: Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker  
ISBN 978-3-8325-0762-6      40.50 EUR
- 39 Michael Späth: Kontextbedingungen für Physikunterricht an der Hauptschule. *Möglichkeiten und Ansatzpunkte für einen fachübergreifenden, handlungsorientierten und berufsorientierten Unterricht*  
ISBN 978-3-8325-0827-2      40.50 EUR
- 40 Jörg Hirsch: Interesse, Handlungen und situatives Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben  
ISBN 978-3-8325-0875-3      40.50 EUR
- 41 Monika Hüther: Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung zum Thema Gasgesetze. *Eine Studie im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Medizin*  
ISBN 978-3-8325-0911-8      40.50 EUR
- 42 Maike Tesch: Das Experiment im Physikunterricht. *Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*  
ISBN 978-3-8325-0975-0      40.50 EUR
- 43 Nina Nicolai: Skriptgeleitete Eltern-Kind-Interaktion bei Chemiehausaufgaben. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Säure-Base*  
ISBN 978-3-8325-1013-8      40.50 EUR
- 44 Antje Leisner: Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-1020-6      40.50 EUR
- 45 Stefan Rumann: Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik  
ISBN 978-3-8325-1027-5      40.50 EUR
- 46 Thomas Wilhelm: Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung – mit CD-ROM  
ISBN 978-3-8325-1046-6      45.50 EUR
- 47 Andrea Maier-Richter: Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit*  
ISBN 978-3-8325-1046-6      40.50 EUR
- 48 Jochen Peuckert: Stabilität und Ausprägung kognitiver Strukturen zum Atombegriff  
ISBN 978-3-8325-1104-3      40.50 EUR
- 49 Maik Walpuski: Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback  
ISBN 978-3-8325-1184-5      40.50 EUR
- 50 Helmut Fischler, Christiane S. Reiners (Hrsg.): Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht  
ISBN 978-3-8325-1225-5      34.90 EUR
- 51 Claudia Eysel: Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung. *Eine empirische Studie zum Kompetenzerwerb in einer komplexen Lernumgebung*  
ISBN 978-3-8325-1238-5      40.50 EUR

- 52 Johannes Günther: Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften. *Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften*  
ISBN 978-3-8325-1287-3 40.50 EUR
- 53 Christoph Neugebauer: Lernen mit Simulationen und der Einfluss auf das Problemlösen in der Physik  
ISBN 978-3-8325-1300-9 40.50 EUR
- 54 Andreas Schnirch: Gendergerechte Interessen- und Motivationsförderung im Kontext naturwissenschaftlicher Grundbildung. *Konzeption, Entwicklung und Evaluation einer multimedial unterstützten Lernumgebung*  
ISBN 978-3-8325-1334-4 40.50 EUR
- 55 Hilde Köster: Freies Explorieren und Experimentieren. *Eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht*  
ISBN 978-3-8325-1348-1 40.50 EUR
- 56 Eva Heran-Dörr: Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung zur Förderung der physikdidaktischen Kompetenz von Sachunterrichtslehrkräften  
ISBN 978-3-8325-1377-1 40.50 EUR
- 57 Agnes Szabone Varnai: Unterstützung des Problemlösens in Physik durch den Einsatz von Simulationen und die Vorgabe eines strukturierten Kooperationsformats  
ISBN 978-3-8325-1403-7 40.50 EUR
- 58 Johannes Rethfeld: Aufgabenbasierte Lernprozesse in selbstorganisationsoffenem Unterricht der Sekundarstufe I zum Themengebiet ELEKTROSTATIK. *Eine Feldstudie in vier 10. Klassen zu einer kartenbasierten Lernumgebung mit Aufgaben aus der Elektrostatik*  
ISBN 978-3-8325-1416-7 40.50 EUR
- 59 Christian Henke: Experimentell-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe. *Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven*  
ISBN 978-3-8325-1515-7 40.50 EUR
- 60 Lutz Kasper: Diskursiv-narrative Elemente für den Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer multimedialen Lernumgebung zum Erdmagnetismus*  
ISBN 978-3-8325-1537-9 40.50 EUR
- 61 Thorid Rabe: Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Physiklernen mit Multimedia  
ISBN 978-3-8325-1539-3 40.50 EUR
- 62 Ina Glemnitz: Vertikale Vernetzung im Chemieunterricht. *Ein Vergleich von traditionellem Unterricht mit Unterricht nach Chemie im Kontext*  
ISBN 978-3-8325-1628-4 40.50 EUR
- 63 Erik Einhaus: Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre. *Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung und Weiterentwicklung eines normativen Modells fachbezogener Kompetenzen*  
ISBN 978-3-8325-1630-7 40.50 EUR

- 64 Jasmin Neuroth: Concept Mapping als Lernstrategie. *Eine Interventionsstudie zum Chemielernen aus Texten*  
ISBN 978-3-8325-1659-8 40.50 EUR
- 65 Hans Gerd Hegeler-Burkhart: Zur Kommunikation von Hauptschülerinnen und Hauptschülern in einem handlungsorientierten und fächerübergreifenden Unterricht mit physikalischen und technischen Inhalten  
ISBN 978-3-8325-1667-3 40.50 EUR
- 66 Karsten Rincke: Sprachentwicklung und Fachlernen im Mechanikunterricht. *Sprache und Kommunikation bei der Einführung in den Kraftbegriff*  
ISBN 978-3-8325-1699-4 40.50 EUR
- 67 Nina Strehle: Das Ion im Chemieunterricht. *Alternative Schülervorstellungen und curriculare Konsequenzen*  
ISBN 978-3-8325-1710-6 40.50 EUR
- 68 Martin Hopf: Problemorientierte Schülerexperimente  
ISBN 978-3-8325-1711-3 40.50 EUR
- 69 Anne Beerenwinkel: Fostering conceptual change in chemistry classes using expository texts  
ISBN 978-3-8325-1721-2 40.50 EUR
- 70 Roland Berger: Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II. *Eine empirische Untersuchung auf der Grundlage der Selbstbestimmungstheorie der Motivation*  
ISBN 978-3-8325-1732-8 40.50 EUR
- 71 Giuseppe Colicchia: Physikunterricht im Kontext von Medizin und Biologie. *Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten*  
ISBN 978-3-8325-1746-5 40.50 EUR
- 72 Sandra Winheller: Geschlechtsspezifische Auswirkungen der Lehrer-Schüler-Interaktion im Chemieanfangsunterricht  
ISBN 978-3-8325-1757-1 40.50 EUR
- 73 Isabel Wahser: Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-1815-8 40.50 EUR
- 74 Claus Brell: Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht. *Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE*  
ISBN 978-3-8325-1829-5 40.50 EUR
- 75 Rainer Wackermann: Überprüfung der Wirksamkeit eines Basismodell-Trainings für Physiklehrer  
ISBN 978-3-8325-1882-0 40.50 EUR
- 76 Oliver Tepner: Effektivität von Aufgaben im Chemieunterricht der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-1919-3 40.50 EUR

- 77 Claudia Geyer: Museums- und Science-Center-Besuche im naturwissenschaftlichen Unterricht aus einer motivationalen Perspektive. *Die Sicht von Lehrkräften und Schülerinnen und Schülern*  
ISBN 978-3-8325-1922-3 40.50 EUR
- 78 Tobias Leonhard: Professionalisierung in der Lehrerbildung. *Eine explorative Studie zur Entwicklung professioneller Kompetenzen in der Lehrererstausbildung*  
ISBN 978-3-8325-1924-7 40.50 EUR
- 79 Alexander Kauertz: Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben  
ISBN 978-3-8325-1925-4 40.50 EUR
- 80 Regina Hübinger: Schüler auf Weltreise. *Entwicklung und Evaluation von Lehr-/Lernmaterialien zur Förderung experimentell-naturwissenschaftlicher Kompetenzen für die Jahrgangsstufen 5 und 6*  
ISBN 978-3-8325-1932-2 40.50 EUR
- 81 Christine Waltner: Physik lernen im Deutschen Museum  
ISBN 978-3-8325-1933-9 40.50 EUR
- 82 Torsten Fischer: Handlungsmuster von Physiklehrkräften beim Einsatz neuer Medien. *Fallstudien zur Unterrichtspraxis*  
ISBN 978-3-8325-1948-3 42.00 EUR
- 83 Corinna Kieren: Chemiehausaufgaben in der Sekundarstufe I des Gymnasiums. *Fragebogenerhebung zur gegenwärtigen Praxis und Entwicklung eines optimierten Hausaufgabendesigns im Themenbereich Säure-Base*  
978-3-8325-1975-9 37.00 EUR
- 84 Marco Thiele: Modelle der Thermohalinen Zirkulation im Unterricht. *Eine empirische Studie zur Förderung des Modellverständnisses*  
ISBN 978-3-8325-1982-7 40.50 EUR
- 85 Bernd Zinn: Physik lernen, um Physik zu lehren. *Eine Möglichkeit für interessanteren Physikunterricht*  
ISBN 978-3-8325-1995-7 39.50 EUR
- 86 Esther Klaes: Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Die Perspektive der Lehrkraft*  
ISBN 978-3-8325-2006-9 43.00 EUR
- 87 Marita Schmidt: Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. *Entwicklung und Erprobung eines Testinventars*  
ISBN 978-3-8325-2024-3 37.00 EUR
- 88 Gudrun Franke-Braun: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*  
ISBN 978-3-8325-2026-7 38.00 EUR
- 89 Silke Klos: Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts*  
ISBN 978-3-8325-2133-2 37.00 EUR

- 90 Ulrike Elisabeth Burkard: Quantenphysik in der Schule. *Bestandsaufnahme, Perspektiven und Weiterentwicklungsmöglichkeiten durch die Implementation eines Medienservers*  
ISBN 978-3-8325-2215-5 43.00 EUR
- 91 Ulrike Gromadecki: Argumente in physikalischen Kontexten. *Welche Geltungsgründe halten Physikanfänger für überzeugend?*  
ISBN 978-3-8325-2250-6 41.50 EUR
- 92 Jürgen Bruns: Auf dem Weg zur Förderung naturwissenschaftsspezifischer Vorstellungen von zukünftigen Chemie-Lehrenden  
ISBN 978-3-8325-2257-5 43.50 EUR
- 93 Cornelius Marsch: Räumliche Atomvorstellung. *Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes mit Hilfe des Computers*  
ISBN 978-3-8325-2293-3 82.50 EUR
- 94 Maja Brückmann: Sachstrukturen im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Videostudie*  
ISBN 978-3-8325-2272-8 39.50 EUR
- 95 Sabine Fechner: Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education  
ISBN 978-3-8325-2343-5 36.50 EUR
- 96 Clemens Nagel: eLearning im Physikalischen Anfängerpraktikum  
ISBN 978-3-8325-2355-8 39.50 EUR
- 97 Josef Riese: Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften  
ISBN 978-3-8325-2376-3 39.00 EUR
- 98 Sascha Bernholt: Kompetenzmodellierung in der Chemie. *Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität*  
ISBN 978-3-8325-2447-0 40.00 EUR
- 99 Holger Christoph Stawitz: Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung. *Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*  
ISBN 978-3-8325-2451-7 37.50 EUR
- 100 Hans Ernst Fischer, Elke Sumfleth (Hrsg.): nwu-essen – 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht  
ISBN 978-3-8325-3331-1 40.00 EUR
- 101 Hendrik Härtig: Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests  
ISBN 978-3-8325-2512-5 34.00 EUR
- 102 Thomas Grüß-Niehaus: Zum Verständnis des Löslichkeitskonzeptes im Chemieunterricht. *Der Effekt von Methoden progressiver und kollaborativer Reflexion*  
ISBN 978-3-8325-2537-8 40.50 EUR

- 103 Patrick Bronner: Quantenoptische Experimente als Grundlage eines Curriculums zur Quantenphysik des Photons  
ISBN 978-3-8325-2540-8      36.00 EUR
- 104 Adrian Voßkühler: Blickbewegungsmessung an Versuchsaufbauten. *Studien zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Usability von physikbezogenen Experimenten am Bildschirm und in der Realität*  
ISBN 978-3-8325-2548-4      47.50 EUR
- 105 Verena Tobias: Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. *Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen*  
ISBN 978-3-8325-2558-3      54.00 EUR
- 106 Christian Rogge: Entwicklung physikalischer Konzepte in aufgabenbasierten Lernumgebungen  
ISBN 978-3-8325-2574-3      45.00 EUR
- 107 Mathias Ropohl: Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. *Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*  
ISBN 978-3-8325-2609-2      36.50 EUR
- 108 Christoph Kulgemeyer: Physikalische Kommunikationskompetenz. *Modellierung und Diagnostik*  
ISBN 978-3-8325-2674-0      44.50 EUR
- 109 Jennifer Olszewski: The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Teacher Actions and Student Outcomes  
ISBN 978-3-8325-2680-1      33.50 EUR
- 110 Annika Ohle: Primary School Teachers' Content Knowledge in Physics and its Impact on Teaching and Students' Achievement  
ISBN 978-3-8325-2684-9      36.50 EUR
- 111 Susanne Mannel: Assessing scientific inquiry. *Development and evaluation of a test for the low-performing stage*  
ISBN 978-3-8325-2761-7      40.00 EUR
- 112 Michael Plomer: Physik physiologisch passend praktiziert. *Eine Studie zur Lernwirksamkeit von traditionellen und adressatenspezifischen Physikpraktika für die Physiologie*  
ISBN 978-3-8325-2804-1      34.50 EUR
- 113 Alexandra Schulz: Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. *Eine Videostudie*  
ISBN 978-3-8325-2817-1      40.00 EUR
- 114 Franz Boczianowski: Eine empirische Untersuchung zu Vektoren im Physikunterricht der Mittelstufe  
ISBN 978-3-8325-2843-0      39.50 EUR
- 115 Maria Ploog: Internetbasiertes Lernen durch Textproduktion im Fach Physik  
ISBN 978-3-8325-2853-9      39.50 EUR

- 116 Anja Dhein: Lernen in Explorier- und Experimentiersituationen. *Eine explorative Studie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen bei Kindern im Alter zwischen 4 und 6 Jahren*  
ISBN 978-3-8325-2859-1      45.50 EUR
- 117 Irene Neumann: Beyond Physics Content Knowledge. *Modeling Competence Regarding Nature of Scientific Inquiry and Nature of Scientific Knowledge*  
ISBN 978-3-8325-2880-5      37.00 EUR
- 118 Markus Emden: Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. *Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*  
ISBN 978-3-8325-2867-6      38.00 EUR
- 119 Birgit Hofmann: Analyse von Blickbewegungen von Schülern beim Lesen von physikbezogenen Texten mit Bildern. *Eye Tracking als Methodenwerkzeug in der physikdidaktischen Forschung*  
ISBN 978-3-8325-2925-3      59.00 EUR
- 120 Rebecca Knobloch: Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg. *Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*  
ISBN 978-3-8325-3006-8      36.50 EUR
- 121 Julia Hostenbach: Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht  
ISBN 978-3-8325-3013-6      38.00 EUR
- 122 Anna Windt: Naturwissenschaftliches Experimentieren im Elementarbereich. *Evaluation verschiedener Lernsituationen*  
ISBN 978-3-8325-3020-4      43.50 EUR
- 123 Eva Kölbach: Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen  
ISBN 978-3-8325-3025-9      38.50 EUR
- 124 Anna Lau: Passung und vertikale Vernetzung im Chemie- und Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-3021-1      36.00 EUR
- 125 Jan Lamprecht: Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz. *Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik*  
ISBN 978-3-8325-3035-8      38.50 EUR
- 126 Ulrike Böhm: Förderung von Verstehensprozessen unter Einsatz von Modellen  
ISBN 978-3-8325-3042-6      41.00 EUR
- 127 Sabrina Dollny: Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehrkräften  
ISBN 978-3-8325-3046-4      37.00 EUR
- 128 Monika Zimmermann: Naturwissenschaftliche Bildung im Kindergarten. *Eine integrative Längsschnittstudie zur Kompetenzentwicklung von Erzieherinnen*  
ISBN 978-3-8325-3053-2      54.00 EUR



- 129 Ulf Saballus: Über das Schlussfolgern von Schülerinnen und Schülern zu öffentlichen Kontroversen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund. *Eine Fallstudie*  
ISBN 978-3-8325-3086-0      39.50 EUR
- 130 Olaf Krey: Zur Rolle der Mathematik in der Physik. *Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*  
ISBN 978-3-8325-3101-0      46.00 EUR
- 131 Angelika Wolf: Zusammenhänge zwischen der Eigenständigkeit im Physikunterricht, der Motivation, den Grundbedürfnissen und dem Lernerfolg von Schülern  
ISBN 978-3-8325-3161-4      45.00 EUR
- 132 Johannes Börlin: Das Experiment als Lerngelegenheit. *Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*  
ISBN 978-3-8325-3170-6      45.00 EUR
- 133 Olaf Uhden: Mathematisches Denken im Physikunterricht. *Theorieentwicklung und Problemanalyse*  
ISBN 978-3-8325-3170-6      45.00 EUR
- 134 Christoph Gut: Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. *Analyse eines large-scale Experimentiertests*  
ISBN 978-3-8325-3213-0      40.00 EUR
- 135 Antonio Rueda: Lernen mit ExploMultimedial in kolumbianischen Schulen. *Analyse von kurzzeitigen Lernprozessen und der Motivation beim länderübergreifenden Einsatz einer deutschen computergestützten multimedialen Lernumgebung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*  
ISBN 978-3-8325-3218-5      45.50 EUR
- 136 Krisztina Berger: Bilder, Animationen und Notizen. *Empirische Untersuchung zur Wirkung einfacher visueller Repräsentationen und Notizen auf den Wissenserwerb in der Optik*  
ISBN 978-3-8325-3238-3      41.50 EUR
- 137 Antony Crossley: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher physikalischer Konzepte auf den Wissenserwerb in der Thermodynamik der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-3275-8      40.00 EUR
- 138 Tobias Viering: Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. *Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen*  
ISBN 978-3-8325-3277-2      37.00 EUR
- 139 Nico Schreiber: Diagnostik experimenteller Kompetenz. *Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*  
ISBN 978-3-8325-3284-0      39.00 EUR
- 140 Sarah Hundertmark: Einblicke in kollaborative Lernprozesse. *Eine Fallstudie zur reflektierenden Zusammenarbeit unterstützt durch die Methoden Concept Mapping und Lernbegleitbogen*  
ISBN 978-3-8325-3251-2      43.00 EUR

- 141 Ronny Scherer: Analyse der Struktur, Messinvarianz und Ausprägung komplexer Problemlösekompetenz im Fach Chemie. *Eine Querschnittstudie in der Sekundarstufe I und am Übergang zur Sekundarstufe II*  
ISBN 978-3-8325-3312-0 43.00 EUR
- 142 Patricia Heitmann: Bewertungskompetenz im Rahmen naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. *Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie*  
ISBN 978-3-8325-3314-4 37.00 EUR
- 143 Jan Fleischhauer: Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik  
ISBN 978-3-8325-3325-0 35.00 EUR
- 144 Nermin Özcan: Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. *Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht*  
ISBN 978-3-8325-3328-1 36.50 EUR
- 145 Helena van Vorst: Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-3321-2 38.50 EUR
- 146 Janine Cappell: Fachspezifische Diagnosekompetenz angehender Physiklehrkräfte in der ersten Ausbildungsphase  
ISBN 978-3-8325-3356-4 38.50 EUR
- 147 Susanne Bley: Förderung von Transferprozessen im Chemieunterricht  
ISBN 978-3-8325-3407-3 40.50 EUR
- 148 Cathrin Blaes: Die übungsgestützte Lehrerpräsentation im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Effektivität*  
ISBN 978-3-8325-3409-7 43.50 EUR
- 149 Julia Suckut: Die Wirksamkeit von piko-OWL als Lehrerfortbildung. Eine Evaluation zum Projekt *Physik im Kontext* in Fallstudien  
ISBN 978-3-8325-3440-0 45.00 EUR
- 150 Alexandra Dorschu: Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben  
ISBN 978-3-8325-3446-2 37.00 EUR
- 151 Jochen Scheid: Multiple Repräsentationen, Verständnis physikalischer Experimente und kognitive Aktivierung: *Ein Beitrag zur Entwicklung der Aufgabenkultur*  
ISBN 978-3-8325-3449-3 49.00 EUR
- 152 Tim Plasa: Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren  
ISBN 978-3-8325-3483-7 35.50 EUR
- 153 Felix Schoppmeier: Physikkompetenz in der gymnasialen Oberstufe. *Entwicklung und Validierung eines Kompetenzstrukturmodells für den Kompetenzbereich Umgang mit Fachwissen*  
ISBN 978-3-8325-3502-5 36.00 EUR

- 154 Katharina Groß: Experimente alternativ dokumentieren. *Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung*  
ISBN 978-3-8325-3508-7 43.50 EUR
- 155 Barbara Hank: Konzeptwandelprozesse im Anfangsunterricht Chemie. *Eine quasixperimentelle Längsschnittstudie*  
ISBN 978-3-8325-3519-3 38.50 EUR
- 156 Katja Freyer: Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-3544-5 38.00 EUR
- 157 Alexander Rachel: Auswirkungen instruktionaler Hilfen bei der Einführung des (Ferro-)Magnetismus. *Eine Vergleichsstudie in der Primar- und Sekundarstufe*  
ISBN 978-3-8325-3548-3 43.50 EUR
- 158 Sebastian Ritter: Einfluss des Lerninhalts Nanogrößeneffekte auf Teilchen- und Teilchenmodellvorstellungen von Schülerinnen und Schülern  
ISBN 978-3-8325-3558-2 36.00 EUR
- 159 Andrea Harbach: Problemorientierung und Vernetzung in kontextbasierten Lernaufgaben  
ISBN 978-3-8325-3564-3 39.00 EUR
- 160 David Obst: Interaktive Tafeln im Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung*  
ISBN 978-3-8325-3582-7 40.50 EUR
- 161 Sophie Kirschner: Modellierung und Analyse des Professionswissens von Physik Lehrkräften  
ISBN 978-3-8325-3601-5 35.00 EUR
- 162 Katja Stief: Selbstregulationsprozesse und Hausaufgabenmotivation im Chemieunterricht  
ISBN 978-3-8325-3631-2 34.00 EUR
- 163 Nicola Meschede: Professionelle Wahrnehmung der inhaltlichen Strukturierung im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Theoretische Beschreibung und empirische Erfassung*  
ISBN 978-3-8325-3668-8 37.00 EUR
- 164 Johannes Maximilian Barth: Experimentieren im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. *Eine Rekonstruktion übergeordneter Einbettungsstrategien*  
ISBN 978-3-8325-3681-7 39.00 EUR
- 165 Sandra Lein: Das Betriebspraktikum in der Lehrerbildung. *Eine Untersuchung zur Förderung der Wissenschafts- und Technikbildung im allgemeinbildenden Unterricht*  
ISBN 978-3-8325-3698-5 40.00 EUR
- 166 Veranika Maiseyenka: Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht. *Praxistauglichkeit und Lernwirkungen*  
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR

- 167 Christoph Stolzenberger: Der Einfluss der didaktischen Lernumgebung auf das Erreichen geforderter Bildungsziele am Beispiel der W- und P-Seminare im Fach Physik  
ISBN 978-3-8325-3708-1      38.00 EUR
- 168 Pia Altenburger: Mehrebenenregressionsanalysen zum Physiklernen im Sachunterricht der Primarstufe. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie.*  
ISBN 978-3-8325-3717-3      37.50 EUR
- 169 Nora Ferber: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung von Kompetenzentwicklung im Fach Chemie in der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-3727-2      39.50 EUR
- 170 Anita Stender: Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln.  
Theoretische Entwicklung und empirische Überprüfung des Transformationsmodells der Unterrichtsplanung  
ISBN 978-3-8325-3750-0      41.50 EUR
- 171 Jenna Koenen: Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen  
ISBN 978-3-8325-3785-2      43.00 EUR
- 172 Teresa Henning: Empirische Untersuchung kontextorientierter Lernumgebungen in der Hochschuldidaktik. *Entwicklung und Evaluation kontextorientierter Aufgaben in der Studieneingangsphase für Fach- und Nebenfachstudierende der Physik*  
ISBN 978-3-8325-3801-9      43.00 EUR
- 173 Alexander Pusch: Fachspezifische Instrumente zur Diagnose und individuellen Förderung von Lehramtsstudierenden der Physik  
ISBN 978-3-8325-3829-3      38.00 EUR
- 174 Christoph Vogelsang: Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. *Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz*  
ISBN 978-3-8325-3846-0      50.50 EUR
- 175 Ingo Brebeck: Selbstreguliertes Lernen in der Studieneingangsphase im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-3859-0      37.00 EUR
- 176 Axel Eghtessad: Merkmale und Strukturen von Professionalisierungsprozessen in der ersten und zweiten Phase der Chemielehrerbildung. *Eine empirisch-qualitative Studie mit niedersächsischen Fachleiter\_innen der Sekundarstufenlehrkräfte*  
ISBN 978-3-8325-3861-3      45.00 EUR
- 177 Andreas Nehring: Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie. Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung  
ISBN 978-3-8325-3872-9      39.50 EUR
- 178 Maike Schmidt: Professionswissen von Sachunterrichtslehrkräften. Zusammenhangsanalyse zur Wirkung von Ausbildungshintergrund und Unterrichtserfahrung auf das fachspezifische Professionswissen im Unterrichtsinhalt „Verbrennung“  
ISBN 978-3-8325-3907-8      38.50 EUR

- 179 Jan Winkelmann: Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-3915-3      41.00 EUR
- 180 Iwen Kobow: Entwicklung und Validierung eines Testinstrumentes zur Erfassung der Kommunikationskompetenz im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-3927-6      34.50 EUR
- 181 Yvonne Gramzow: Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik. Modellierung und Testkonstruktion  
ISBN 978-3-8325-3931-3      42.50 EUR
- 182 Evelin Schröter: Entwicklung der Kompetenzerwartung durch Lösen physikalischer Aufgaben einer multimedialen Lernumgebung  
ISBN 978-3-8325-3975-7      54.50 EUR
- 183 Inga Kallweit: Effektivität des Einsatzes von Selbsteinschätzungsbögen im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Individuelle Förderung durch selbstreguliertes Lernen*  
ISBN 978-3-8325-3965-8      44.00 EUR
- 184 Andrea Schumacher: Paving the way towards authentic chemistry teaching. *A contribution to teachers' professional development*  
ISBN 978-3-8325-3976-4      48.50 EUR
- 185 David Woitkowski: Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung. *Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*  
ISBN 978-3-8325-3988-7      53.00 EUR
- 186 Marianne Korner: Cross-Age Peer Tutoring in Physik. *Evaluation einer Unterrichtsmethode*  
ISBN 978-3-8325-3979-5      38.50 EUR
- 187 Simone Nakoinz: Untersuchung zur Verknüpfung submikroskopischer und makroskopischer Konzepte im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-4057-9      38.50 EUR
- 188 Sandra Anus: Evaluation individueller Förderung im Chemieunterricht. *Adaptivität von Lerninhalten an das Vorwissen von Lernenden am Beispiel des Basiskonzeptes Chemische Reaktion*  
ISBN 978-3-8325-4059-3      43.50 EUR
- 189 Thomas Roßbegalle: Fachdidaktische Entwicklungsforschung zum besseren Verständnis atmosphärischer Phänomene. *Treibhauseffekt, saurer Regen und stratosphärischer Ozonabbau als Kontexte zur Vermittlung von Basiskonzepten der Chemie*  
ISBN 978-3-8325-4059-3      45.50 EUR
- 190 Kathrin Steckenmesser-Sander: Gemeinsamkeiten und Unterschiede physikbezogener Handlungs-, Denk- und Lernprozesse von Mädchen und Jungen  
ISBN 978-3-8325-4066-1      38.50 EUR
- 191 Cornelia Geller: Lernprozessorientierte Sequenzierung des Physikunterrichts im Zusammenhang mit Fachwissenserwerb. *Eine Videostudie in Finnland, Deutschland und der Schweiz*  
ISBN 978-3-8325-4082-1      35.50 EUR

- 192 Jan Hofmann: Untersuchung des Kompetenzaufbaus von Physiklehrkräften während einer Fortbildungsmaßnahme  
ISBN 978-3-8325-4104-0 38.50 EUR
- 193 Andreas Dickhäuser: Chemiespezifischer Humor. *Theoriebildung, Materialentwicklung, Evaluation*  
ISBN 978-3-8325-4108-8 37.00 EUR
- 194 Stefan Korte: Die Grenzen der Naturwissenschaft als Thema des Physikunterrichts  
ISBN 978-3-8325-4112-5 57.50 EUR
- 195 Carolin Hülsmann: Kurswahlmotive im Fach Chemie. Eine Studie zum Wahlverhalten und Erfolg von Schülerinnen und Schülern in der gymnasialen Oberstufe  
ISBN 978-3-8325-4144-6 49.00 EUR
- 196 Caroline Körbs: Mindeststandards im Fach Chemie am Ende der Pflichtschulzeit  
ISBN 978-3-8325-4148-4 34.00 EUR
- 197 Andreas Vorholzer: Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? *Eine empirische Untersuchung der Wirkung eines expliziten und eines impliziten Instruktionsansatzes*  
ISBN 978-3-8325-4194-1 37.50 EUR
- 198 Anna Katharina Schmitt: Entwicklung und Evaluation einer Chemielehrerfortbildung zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung  
ISBN 978-3-8325-4228-3 39.50 EUR
- 199 Christian Maurer: Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen  
ISBN 978-3-8325-4247-4 36.50 EUR
- 200 Helmut Fischler, Elke Sumfleth (Hrsg.): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik  
ISBN 978-3-8325-4523-9 34.00 EUR
- 201 Simon Zander: Lehrerfortbildung zu Basismodellen und Zusammenhänge zum Fachwissen  
ISBN 978-3-8325-4248-1 35.00 EUR
- 202 Kerstin Arndt: Experimentierkompetenz erfassen.  
*Analyse von Prozessen und Mustern am Beispiel von Lehramtsstudierenden der Chemie*  
ISBN 978-3-8325-4266-5 45.00 EUR
- 203 Christian Lang: Kompetenzorientierung im Rahmen experimentalchemischer Praktika  
ISBN 978-3-8325-4268-9 42.50 EUR
- 204 Eva Cauet: Testen wir relevantes Wissen? *Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften und gutem und erfolgreichem Unterrichten*  
ISBN 978-3-8325-4276-4 39.50 EUR
- 205 Patrick Löffler: Modellanwendung in Problemlöseaufgaben. *Wie wirkt Kontext?*  
ISBN 978-3-8325-4303-7 35.00 EUR

- 206 Carina Gehlen: Kompetenzstruktur naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-4318-1      43.00 EUR
- 207 Lars Oettinghaus: Lehrerüberzeugungen und physikbezogenes Professionswissen. *Vergleich von Absolventinnen und Absolventen verschiedener Ausbildungswege im Physikreferendariat*  
ISBN 978-3-8325-4319-8      38.50 EUR
- 208 Jennifer Petersen: Zum Einfluss des Merkmals Humor auf die Gesundheitsförderung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Eine Interventionsstudie zum Thema Sonnenschutz*  
ISBN 978-3-8325-4348-8      40.00 EUR
- 209 Philipp Straube: Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik  
ISBN 978-3-8325-4351-8      35.50 EUR
- 210 Martin Dickmann: Messung von Experimentierfähigkeiten. *Validierungsstudien zur Qualität eines computerbasierten Testverfahrens*  
ISBN 978-3-8325-4356-3      41.00 EUR
- 211 Markus Bohlmann: Science Education. Empirie, Kulturen und Mechanismen der Didaktik der Naturwissenschaften  
ISBN 978-3-8325-4377-8      44.00 EUR
- 212 Martin Draude: Die Kompetenz von Physiklehrkräften, Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren  
ISBN 978-3-8325-4382-2      37.50 EUR
- 213 Henning Rode: Prototypen evidenzbasierten Physikunterrichts. *Zwei empirische Studien zum Einsatz von Feedback und Blackboxes in der Sekundarstufe*  
ISBN 978-3-8325-4389-1      42.00 EUR
- 214 Jan-Henrik Kechel: Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. *Eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz*  
ISBN 978-3-8325-4392-1      55.00 EUR
- 215 Katharina Fricke: Classroom Management and its Impact on Lesson Outcomes in Physics. *A multi-perspective comparison of teaching practices in primary and secondary schools*  
ISBN 978-3-8325-4394-5      40.00 EUR
- 216 Hannes Sander: Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. *Eine rekonstruktive Perspektive auf Bewertungskompetenz in der Didaktik der Naturwissenschaft*  
ISBN 978-3-8325-4434-8      46.00 EUR
- 217 Inka Haak: Maßnahmen zur Unterstützung kognitiver und metakognitiver Prozesse in der Studieneingangsphase. *Eine Design-Based-Research-Studie zum universitären Lernzentrum Physiktreff*  
ISBN 978-3-8325-4437-9      46.50 EUR

- 218 Martina Brandenburger: Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?  
*Eine Untersuchung mit Studierenden*  
ISBN 978-3-8325-4409-6      42.50 EUR
- 219 Corinna Helms: Entwicklung und Evaluation eines Trainings zur Verbesserung der Erklärqualität von Schülerinnen und Schülern im Gruppenpuzzle  
ISBN 978-3-8325-4454-6      42.50 EUR
- 220 Viktoria Rath: Diagnostische Kompetenz von angehenden Physiklehrkräften. *Modellierung, Testinstrumentenentwicklung und Erhebung der Performanz bei der Diagnose von Schülervorstellungen in der Mechanik*  
ISBN 978-3-8325-4456-0      42.50 EUR
- 221 Janne Krüger: Schülerperspektiven auf die zeitliche Entwicklung der Naturwissenschaften  
ISBN 978-3-8325-4457-7      45.50 EUR
- 222 Stefan Mutke: Das Professionswissen von Chemiereferendarinnen und -referendaren in Nordrhein-Westfalen. *Eine Längsschnittstudie*  
ISBN 978-3-8325-4458-4      37.50 EUR
- 223 Sebastian Habig: Systematisch variierte Kontextaufgaben und ihr Einfluss auf kognitive und affektive Schülerfaktoren  
ISBN 978-3-8325-4467-6      40.50 EUR
- 224 Sven Liepertz: Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, dem sachstrukturellen Angebot des Unterrichts und der Schülerleistung  
ISBN 978-3-8325-4480-5      34.00 EUR
- 225 Elina Platova: Optimierung eines Laborpraktikums durch kognitive Aktivierung  
ISBN 978-3-8325-4481-2      39.00 EUR
- 226 Tim Reschke: Lese Geschichten im Chemieunterricht der Sekundarstufe I zur Unterstützung von situationalem Interesse und Lernerfolg  
ISBN 978-3-8325-4487-4      41.00 EUR
- 227 Lena Mareike Walper: Entwicklung der physikbezogenen Interessen und selbstbezogenen Kognitionen von Schülerinnen und Schülern in der Übergangsphase von der Primar- in die Sekundarstufe. *Eine Längsschnittanalyse vom vierten bis zum siebten Schuljahr*  
ISBN 978-3-8325-4495-9      43.00 EUR
- 228 Stefan Anthofer: Förderung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehramtsstudierenden  
ISBN 978-3-8325-4498-0      39.50 EUR
- 229 Marcel Bullinger: Handlungsorientiertes Physiklernen mit instruierten Selbsterklärungen in der Primarstufe. *Eine experimentelle Laborstudie*  
ISBN 978-3-8325-4504-8      44.00 EUR
- 230 Thomas Amenda: Bedeutung fachlicher Elementarisierungen für das Verständnis der Kinematik  
ISBN 978-3-8325-4531-4      43.50 EUR



- 231 Sabrina Milke: Beeinflusst *Priming* das Physiklernen?  
*Eine empirische Studie zum Dritten Newtonschen Axiom*  
ISBN 978-3-8325-4549-4 42.00 EUR
- 232 Corinna Erfmann: Ein anschaulicher Weg zum Verständnis der elektromagnetischen Induktion. *Evaluation eines Unterrichtsvorschlags und Validierung eines Leistungsdiagnoseinstruments*  
ISBN 978-3-8325-4550-5 49.50 EUR
- 233 Hanne Rautenstrauch: Erhebung des (Fach-)Sprachstandes bei Lehramtsstudierenden im Kontext des Faches Chemie  
ISBN 978-3-8325-4556-7 40.50 EUR
- 234 Tobias Klug: Wirkung kontextorientierter physikalischer Praktikumsversuche auf Lernprozesse von Studierenden der Medizin  
ISBN 978-3-8325-4558-1 37.00 EUR
- 235 Mareike Bohrmann: Zur Förderung des Verständnisses der Variablenkontrolle im naturwissenschaftlichen Sachunterricht  
ISBN 978-3-8325-4559-8 52.00 EUR
- 236 Anja Schödl: FALKO-Physik – Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Fach Physik. *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Physiklehrkräften*  
ISBN 978-3-8325-4553-6 40.50 EUR
- 237 Hilda Scheuermann: Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten  
ISBN 978-3-8325-4568-0 39.00 EUR
- 238 Christian G. Strippel: Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung an chemischen Inhalten vermitteln. *Konzeption und empirische Untersuchung einer Ausstellung mit Experimentierstation*  
ISBN 978-3-8325-4577-2 41.50 EUR
- 239 Sarah Rau: Durchführung von Sachunterricht im Vorbereitungsdienst. *Eine längsschnittliche, videobasierte Unterrichtsanalyse*  
ISBN 978-3-8325-4579-6 46.00 EUR
- 240 Thomas Plotz: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung. *Empirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2*  
ISBN 978-3-8325-4624-3 39.50 EUR
- 241 Wolfgang Aschauer: Elektrische und magnetische Felder. *Eine empirische Studie zu Lernprozessen in der Sekundarstufe II*  
ISBN 978-3-8325-4625-0 50.00 EUR
- 242 Anna Donhauser: Didaktisch rekonstruierte Materialwissenschaft. *Aufbau und Konzeption eines Schülerlabors für den Exzellenzcluster Engineering of Advanced Materials*  
ISBN 978-3-8325-4636-6 39.00 EUR

- 243 Katrin Schüller: Lernen mit Lösungsbeispielen im Chemieunterricht. *Einflüsse auf Lernerfolg, kognitive Belastung und Motivation*  
ISBN 978-3-8325-4640-3      42.50 EUR
- 244 Timo Fleischer: Untersuchung der chemischen Fachsprache unter besonderer Berücksichtigung chemischer Repräsentationen  
ISBN 978-3-8325-4642-7      46.50 EUR
- 245 Rosina Steininger: Concept Cartoons als Stimuli für Kleingruppendiskussionen im Chemieunterricht. *Beschreibung und Analyse einer komplexen Lerngelegenheit*  
ISBN 978-3-8325-4647-2      39.00 EUR
- 246 Daniel Rehfeldt: Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika  
ISBN 978-3-8325-4590-1      40.00 EUR
- 247 Sandra Puddu: Implementing Inquiry-based Learning in a Diverse Classroom: Investigating Strategies of Scaffolding and Students' Views of Scientific Inquiry  
ISBN 978-3-8325-4591-8      35.50 EUR
- 248 Markus Bliersbach: Kreativität in der Chemie. *Erhebung und Förderung der Vorstellungen von Chemielehramtsstudierenden*  
ISBN 978-3-8325-4593-2      44.00 EUR
- 249 Lennart Kimpel: Aufgaben in der Allgemeinen Chemie. *Zum Zusammenspiel von chemischem Verständnis und Rechenfähigkeit*  
ISBN 978-3-8325-4618-2      36.00 EUR
- 250 Louise Bindel: Effects of integrated learning: explicating a mathematical concept in inquiry-based science camps  
ISBN 978-3-8325-4655-7      37.50 EUR
- 251 Michael Wenzel: Computereinsatz in Schule und Schülerlabor. *Einstellung von Physiklehrkräften zu Neuen Medien*  
ISBN 978-3-8325-4659-5      38.50 EUR
- 252 Laura Muth: Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern*  
ISBN 978-3-8325-4675-5      36.50 EUR
- 253 Annika Fricke: Interaktive Skripte im Physikalischen Praktikum. *Entwicklung und Evaluation von Hypermedien für die Nebenfachausbildung*  
ISBN 978-3-8325-4676-2      41.00 EUR
- 254 Julia Haase: Selbstbestimmtes Lernen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. *Eine empirische Interventionsstudie mit Fokus auf Feedback und Kompetenzerleben*  
ISBN 978-3-8325-4685-4      38.50 EUR
- 255 Antje J. Heine: Was ist Theoretische Physik? *Eine wissenschaftstheoretische Betrachtung und Rekonstruktion von Vorstellungen von Studierenden und Dozenten über das Wesen der Theoretischen Physik*  
ISBN 978-3-8325-4691-5      46.50 EUR

- 256 Claudia Meinhardt: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern  
ISBN 978-3-8325-4712-7      47.00 EUR
- 257 Ann-Kathrin Schlüter: Professionalisierung angehender Chemielehrkräfte für einen Gemeinsamen Unterricht  
ISBN 978-3-8325-4713-4      53.50 EUR
- 258 Stefan Richtberg: Elektronenbahnen in Feldern. Konzeption und Evaluation einer webbasierten Lernumgebung  
ISBN 978-3-8325-4723-3      49.00 EUR
- 259 Jan-Philipp Burde: Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells  
ISBN 978-3-8325-4726-4      57.50 EUR
- 260 Frank Finkenbergr: Flipped Classroom im Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-4737-4      42.50 EUR
- 261 Florian Treisch: Die Entwicklung der Professionellen Unterrichtswahrnehmung im Lehr-Lern-Labor Seminar  
ISBN 978-3-8325-4741-4      41.50 EUR
- 262 Desiree Mayr: Strukturiertheit des experimentellen naturwissenschaftlichen Problemlöseprozesses  
ISBN 978-3-8325-4757-8      37.00 EUR
- 263 Katrin Weber: Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-4762-2      48.50 EUR
- 264 Hauke Bartels: Entwicklung und Bewertung eines performanznahen Videovignetten-tests zur Messung der Erklärfähigkeit von Physiklehrkräften  
ISBN 978-3-8325-4804-9      37.00 EUR
- 265 Karl Marniok: Zum Wesen von Theorien und Gesetzen in der Chemie. *Begriffsanalyse und Förderung der Vorstellungen von Lehramtsstudierenden*  
ISBN 978-3-8325-4805-6      42.00 EUR
- 266 Marisa Holzapfel: Fachspezifischer Humor als Methode in der Gesundheitsbildung im Übergang von der Primarstufe zur Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-4808-7      50.00 EUR
- 267 Anna Stolz: Die Auswirkungen von Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad auf Leistung und Motivation der Schülerinnen und Schüler  
ISBN 978-3-8325-4781-3      38.00 EUR
- 268 Nina Ulrich: Interaktive Lernaufgaben in dem digitalen Schulbuch eChemBook. *Einfluss des Interaktivitätsgrads der Lernaufgaben und des Vorwissens der Lernenden auf den Lernerfolg*  
ISBN 978-3-8325-4814-8      43.50 EUR

- 269 Kim-Alessandro Weber: Quantenoptik in der Lehrerfortbildung. *Ein bedarfsgeprägtes Fortbildungskonzept zum Quantenobjekt „Photon“ mit Realexperimenten*  
ISBN 978-3-8325-4792-9      55.00 EUR
- 270 Nina Skorsetz: Empathisierer und Systematisierer im Vorschulalter. *Eine Fragebogen- und Videostudie zur Motivation, sich mit Naturphänomenen zu beschäftigen*  
ISBN 978-3-8325-4825-4      43.50 EUR
- 271 Franziska Kehne: Analyse des Transfers von kontextualisiert erworbenem Wissen im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-4846-9      45.00 EUR
- 272 Markus Elsholz: Das akademische Selbstkonzept angehender Physiklehrkräfte als Teil ihrer professionellen Identität. *Dimensionalität und Veränderung während einer zentralen Praxisphase*  
ISBN 978-3-8325-4857-5      37.50 EUR
- 273 Joachim Müller: Studienerfolg in der Physik. *Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*  
ISBN 978-3-8325-4859-9      35.00 EUR
- 274 Jennifer Dörschelln: Organische Leuchtdioden. *Implementation eines innovativen Themas in den Chemieunterricht*  
ISBN 978-3-8325-4865-0      59.00 EUR
- 275 Stephanie Strelow: Beliefs von Studienanfängern des Kombi-Bachelors Physik über die Natur der Naturwissenschaften  
ISBN 978-3-8325-4881-0      40.50 EUR
- 276 Dennis Jaeger: Kognitive Belastung und aufgabenspezifische sowie personenspezifische Einflussfaktoren beim Lösen von Physikaufgaben  
ISBN 978-3-8325-4928-2      50.50 EUR
- 277 Vanessa Fischer: Der Einfluss von Interesse und Motivation auf die Messung von Fach- und Bewertungskompetenz im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-4933-6      39.00 EUR
- 278 René Dohrmann: Professionsbezogene Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Veranstaltung. *Eine multimethodische Studie zu den professionsbezogenen Wirkungen einer Lehr-Lern-Labor-Blockveranstaltung auf Studierende der Bachelorstudiengänge Lehramt Physik und Grundschulpädagogik (Sachunterricht)*  
ISBN 978-3-8325-4958-9      40.00 EUR
- 279 Meike Bergs: Can We Make Them Use These Strategies? *Fostering Inquiry-Based Science Learning Skills with Physical and Virtual Experimentation Environments*  
ISBN 978-3-8325-4962-6      39.50 EUR
- 280 Marie-Therese Hauerstein: Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*  
ISBN 978-3-8325-4982-4      42.50 EUR

- 281 Verena Zucker: Erkennen und Beschreiben von formativem Assessment im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. *Entwicklung eines Instruments zur Erfassung von Teilfähigkeiten der professionellen Wahrnehmung von Lehramtsstudierenden*  
ISBN 978-3-8325-4991-6      38.00 EUR
- 282 Victoria Telser: Erfassung und Förderung experimenteller Kompetenz von Lehrkräften im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-4996-1      50.50 EUR
- 283 Kristine Tschirschky: Entwicklung und Evaluation eines gedächtnisorientierten Aufgabendesigns für Physikaufgaben  
ISBN 978-3-8325-5002-8      42.50 EUR
- 284 Thomas Elert: Course Success in the Undergraduate General Chemistry Lab  
ISBN 978-3-8325-5004-2      41.50 EUR
- 285 Britta Kalthoff: Explizit oder implizit? *Untersuchung der Lernwirksamkeit verschiedener fachmethodischer Instruktionen im Hinblick auf fachmethodische und fachinhaltliche Fähigkeiten von Sachunterrichtsstudierenden*  
ISBN 978-3-8325-5013-4      37.50 EUR
- 286 Thomas Dickmann: Visuelles Modellverständnis und Studienerfolg in der Chemie. *Zwei Seiten einer Medaille*  
ISBN 978-3-8325-5016-5      44.00 EUR
- 287 Markus Sebastian Feser: Physiklehrkräfte korrigieren Schülertexte. *Eine Explorationsstudie zur fachlich-konzeptuellen und sprachlichen Leistungsfeststellung und -beurteilung im Physikunterricht*  
ISBN 978-3-8325-5020-2      49.00 EUR
- 288 Matylda Dudzinska: Lernen mit Beispielaufgaben und Feedback im Physikunterricht der Sekundarstufe 1. *Energieerhaltung zur Lösung von Aufgaben nutzen*  
ISBN 978-3-8325-5025-7      47.00 EUR
- 289 Ines Sonnenschein: Naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsprozesse Studierender im Labor  
ISBN 978-3-8325-5033-2      52.00 EUR
- 290 Florian Simon: Der Einfluss von Betreuung und Betreuenden auf die Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen. *Eine Zusammenhangsanalyse von Betreuungsqualität, Betreuermerkmalen und Schülerlaborzielen sowie Replikationsstudie zur Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen*  
ISBN 978-3-8325-5036-3      49.50 EUR
- 291 Marie-Annette Geyer: Physikalisch-mathematische Darstellungswechsel funktionaler Zusammenhänge. *Das Vorgehen von SchülerInnen der Sekundarstufe 1 und ihre Schwierigkeiten*  
ISBN 978-3-8325-5047-9      46.50 EUR
- 292 Susanne Digel: Messung von Modellierungskompetenz in Physik. *Theoretische Herleitung und empirische Prüfung eines Kompetenzmodells physikspezifischer Modellierungskompetenz*  
ISBN 978-3-8325-5055-4      41.00 EUR

- 293 Sönke Janssen: Angebots-Nutzungs-Prozesse eines Schülerlabors analysieren und gestalten. *Ein design-based research Projekt*  
ISBN 978-3-8325-5065-3      57.50 EUR
- 294 Knut Wille: Der Productive Failure Ansatz als Beitrag zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur  
ISBN 978-3-8325-5074-5      49.00 EUR
- 295 Lisanne Kraeva: Problemlösestrategien von Schülerinnen und Schülern diagnostizieren  
ISBN 978-3-8325-5110-0      59.50 EUR
- 296 Jenny Lorentzen: Entwicklung und Evaluation eines Lernangebots im Lehramtsstudium Chemie zur Förderung von Vernetzungen innerhalb des fachbezogenen Professionswissens  
ISBN 978-3-8325-5120-9      39.50 EUR
- 297 Micha Winkelmann: Lernprozesse in einem Schülerlabor unter Berücksichtigung individueller naturwissenschaftlicher Interessenstrukturen  
ISBN 978-3-8325-5147-6      48.50 EUR
- 298 Carina Wöhlke: Entwicklung und Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung angehender Physiklehrkräfte  
ISBN 978-3-8325-5149-0      43.00 EUR
- 299 Thomas Schubatzky: Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. *Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich*  
ISBN 978-3-8325-5159-9      50.50 EUR
- 300 Amany Annaggar: A Design Framework for Video Game-Based Gamification Elements to Assess Problem-solving Competence in Chemistry Education  
ISBN 978-3-8325-5150-6      52.00 EUR
- 301 Alexander Engl: CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: *Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Änderung der Einstellung zu „Chemie und Natur“*  
ISBN 978-3-8325-5174-2      59.00 EUR
- 302 Christin Marie Sajons: Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. *Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln*  
ISBN 978-3-8325-5155-1      56.00 EUR
- 303 Philipp Bitzenbauer: Quantenoptik an Schulen. *Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik*  
ISBN 978-3-8325-5123-0      59.00 EUR
- 304 Malte S. Ubben: Typisierung des Verständnisses mentaler Modelle mittels empirischer Datenerhebung am Beispiel der Quantenphysik  
ISBN 978-3-8325-5181-0      43.50 EUR
- 305 Wiebke Kuske-Janßen: Sprachlicher Umgang mit Formeln von LehrerInnen im Physikunterricht am Beispiel des elektrischen Widerstandes in Klassenstufe 8  
ISBN 978-3-8325-5183-4      47.50 EUR

- 306 Kai Bliesmer: Physik der Küste für außerschulische Lernorte. *Eine Didaktische Rekonstruktion*  
ISBN 978-3-8325-5190-2      58.00 EUR
- 307 Nikola Schild: Eignung von domänenspezifischen Studieneingangsvariablen als Prädiktoren für Studienerfolg im Fach und Lehramt Physik  
ISBN 978-3-8325-5226-8      42.00 EUR
- 308 Daniel Averbeck: Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums. *Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen*  
ISBN 978-3-8325-5227-5      51.00 EUR
- 309 Martina Strübe: Modelle und Experimente im Chemieunterricht. *Eine Videostudie zum fachspezifischen Lehrerwissen und -handeln*  
ISBN 978-3-8325-5245-9      45.50 EUR
- 310 Wolfgang Becker: Auswirkungen unterschiedlicher experimenteller Repräsentationen auf den Kenntnisstand bei Grundschulkindern  
ISBN 978-3-8325-5255-8      50.00 EUR
- 311 Marvin Rost: Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Entwicklung und quantitative Dimensionalitätsanalyse eines Testinstruments aus epistemologischer Perspektive*  
ISBN 978-3-8325-5256-5      44.00 EUR
- 312 Christina Kobl: Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-5259-6      41.00 EUR
- 313 Ann-Kathrin Beretz: Diagnostische Prozesse von Studierenden des Lehramts – *eine Videostudie in den Fächern Physik und Mathematik*  
ISBN 978-3-8325-5288-6      45.00 EUR
- 314 Judith Breuer: Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das Angebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. *Fallanalysen zum Nutzungsverhalten von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik*  
ISBN 978-3-8325-5293-0      50.50 EUR
- 315 Michaela Oettle: Modellierung des Fachwissens von Lehrkräften in der Teilchenphysik. *Eine Delphi-Studie*  
ISBN 978-3-8325-5305-0      57.50 EUR
- 316 Volker Brüggemann: Entwicklung und Pilotierung eines adaptiven Multistage-Tests zur Kompetenzerfassung im Bereich naturwissenschaftlichen Denkens  
ISBN 978-3-8325-5331-9      40.00 EUR
- 317 Stefan Müller: Die Vorläufigkeit und soziokulturelle Eingebundenheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. *Kritische Reflexion, empirische Befunde und fachdidaktische Konsequenzen für die Chemielehrer\*innenbildung*  
ISBN 978-3-8325-5343-2      63.00 EUR
- 318 Laurence Müller: Alltagsentscheidungen für den Chemieunterricht erkennen und Entscheidungsprozesse explorativ begleiten  
ISBN 978-3-8325-5379-1      59.00 EUR

- 319 Lars Ehlert: Entwicklung und Evaluation einer Lehrkräftefortbildung zur Planung von selbstgesteuerten Experimenten  
ISBN 978-3-8325-5393-71 41.50 EUR
- 320 Florian Seiler: Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-5397-5 47.50 EUR
- 321 Nadine Boele: Entwicklung eines Messinstruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung von (angehenden) Chemielehrkräften hinsichtlich der Lernunterstützung  
ISBN 978-3-8325-5402-6 46.50 EUR
- 322 Franziska Zimmermann: Entwicklung und Evaluation digitalisierungsbezogener Kompetenzen von angehenden Chemielehrkräften  
ISBN 978-3-8325-5410-1 49.50 EUR
- 323 Lars-Frederik Weiß: Der Flipped Classroom in der Physik-Lehre. *Empirische Untersuchungen in Schule und Hochschule*  
ISBN 978-3-8325-5418-7 51.00 EUR
- 324 Tilmann Steinmetz: Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. *Theorie und Evaluation eines Lehrkonzepts*  
ISBN 978-3-8325-5421-7 51.00 EUR
- 325 Kübra Nur Celik: Entwicklung von chemischem Fachwissen in der Sekundarstufe I. *Validierung einer Learning Progression für die Basiskonzepte „Struktur der Materie“, „Chemische Reaktion“ und „Energie“ im Kompetenzbereich „Umgang mit Fachwissen“*  
ISBN 978-3-8325-5431-6 55.00 EUR
- 326 Matthias Ungermann: Förderung des Verständnisses von Nature of Science und der experimentellen Kompetenz im Schüler\*innen-Labor Physik in Abgrenzung zum Regelunterricht  
ISBN 978-3-8325-5442-2 55.50 EUR
- 327 Christoph Hoyer: Multimedial unterstütztes Experimentieren im webbasierten Labor zur Messung, Visualisierung und Analyse des Feldes eines Permanentmagneten  
ISBN 978-3-8325-5453-8 45.00 EUR
- 328 Tobias Schüttler: Schülerlabore als interesselördernde authentische Lernorte für den naturwissenschaftlichen Unterricht nutzen  
ISBN 978-3-8325-5454-5 50.50 EUR
- 329 Christopher Kurth: Die Kompetenz von Studierenden, Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren  
ISBN 978-3-8325-5457-6 58.50 EUR
- 330 Dagmar Michna: Inklusiver Anfangsunterricht Chemie *Entwicklung und Evaluation einer Unterrichtseinheit zur Einführung der chemischen Reaktion*  
ISBN 978-3-8325-5463-7 49.50 EUR
- 331 Marco Seiter: Die Bedeutung der Elementarisierung für den Erfolg von Mechanikunterricht in der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-5471-2 66.00 EUR



- 332 Jörn Hägele: Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten. *Videobasierte Analysen zu Aktivitäten und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe bei der Bearbeitung von fachmethodischer Instruktion*  
ISBN 978-3-8325-5476-7      56.50 EUR
- 333 Erik Heine: Wissenschaftliche Kontroversen im Physikunterricht. *Explorationsstudie zum Umgang von Physiklehrkräften und Physiklehramtsstudierenden mit einer wissenschaftlichen Kontroverse am Beispiel der Masse in der Speziellen Relativitätstheorie*  
ISBN 978-3-8325-5478-1      48.50 EUR
- 334 Simon Goertz: Module und Lernzirkel der Plattform FLexKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis *Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie*  
ISBN 978-3-8325-5494-1      66.50 EUR
- 335 Christina Toschka: Lernen mit Modellexperimenten *Empirische Untersuchung der Wahrnehmung und des Denkens in Analogien beim Umgang mit Modellexperimenten*  
ISBN 978-3-8325-5495-8      50.00 EUR
- 336 Alina Behrendt: Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht der Primarstufe und dem Chemieunterricht der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-5498-9      40.50 EUR
- 337 Manuel Daiber: Entwicklung eines Lehrkonzepts für eine elementare Quantenmechanik *Formuliert mit In-Out Symbolen*  
ISBN 978-3-8325-5507-8      48.50 EUR
- 338 Felix Pawlak: Das Gemeinsame Experimentieren (an-)leiten *Eine qualitative Studie zum chemiespezifischen Classroom-Management*  
ISBN 978-3-8325-5508-5      46.50 EUR
- 339 Liza Dopatka: Konzeption und Evaluation eines kontextstrukturierten Unterrichtskonzeptes für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht  
ISBN 978-3-8325-5514-6      69.50 EUR
- 340 Arne Bewersdorff: Untersuchung der Effektivität zweier Fortbildungsformate zum Experimentieren mit dem Fokus auf das Unterrichtshandeln  
ISBN 978-3-8325-5522-1      39.00 EUR
- 341 Thomas Christoph Münster: Wie diagnostizieren Studierende des Lehramtes physikbezogene Lernprozesse von Schüler\*innen? Eine Videostudie zur Mechanik  
ISBN 978-3-8325-5534-4      44.50 EUR
- 342 Ines Komor: Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses in der Physikalischen Chemie  
ISBN 978-3-8325-5546-7      46.50 EUR
- 343 Verena Petermann: Überzeugungen von Lehrkräften zum Lehren und Lernen von Fachinhalten und Fachmethoden und deren Beziehung zu unterrichtsnahem Handeln  
ISBN 978-3-8325-5545-0      47.00 EUR

- 344 Jana Heinze: Einfluss der sprachlichen Konzeption auf die Einschätzung der Qualität instruktionaler Unterrichtserklärungen im Fach Physik  
ISBN 978-3-8325-5545-0 47.00 EUR
- 345 Jannis Weber: Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich  
ISBN 978-3-8325-5566-5 68.00 EUR
- 346 Fabian Sterzing: Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik *Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer fachdidaktischen Qualität und ihrem Einbettungsformat*  
ISBN 978-3-8325-5576-4 52.00 EUR
- 347 Lars Greitemann: Wirkung des Tablet-Einsatzes im Chemieunterricht der Sekundarstufe I unter besonderer Berücksichtigung von Wissensvermittlung und Wissenssicherung  
ISBN 978-3-8325-5580-1 50.00 EUR
- 348 Fabian Poensgen: Diagnose experimenteller Kompetenzen in der laborpraktischen Chemielehrer\*innenbildung  
ISBN 978-3-8325-5587-0 48.00 EUR
- 349 William Lindlahr: Virtual-Reality-Experimente *Entwicklung und Evaluation eines Konzepts für den forschend-entwickelnden Physikunterricht mit digitalen Medien*  
ISBN 978-3-8325-5595-5 49.00 EUR
- 350 Bert Schlüter: Teilnahmemotivation und situationales Interesse von Kindern und Eltern im experimentellen Lernsetting KEMIE  
ISBN 978-3-8325-5598-6 43.00 EUR
- 351 Katharina Nave: Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen *Eine qualitative Studie zur Operationalisierung mentaler Modell-komponenten für den Fachbereich Chemie*  
ISBN 978-3-8325-5599-3 43.00 EUR
- 352 Anna B. Bauer: Experimentelle Kompetenz Physikstudierender *Entwicklung und erste Erprobung eines performanzorientierten Kompetenzstrukturmodells unter Nutzung qualitativer Methoden*  
ISBN 978-3-8325-5625-9 47.00 EUR
- 353 Jan Schröder: Entwicklung eines Performanztests zur Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung bei Lehramtsstudierenden im Fach Physik  
ISBN 978-3-8325-5655-9 46.50 EUR
- 354 Susanne Gerlach: Aspekte einer Fachdidaktik Körperpflege *Ein Beitrag zur Standardentwicklung*  
ISBN 978-3-8325-5659-4 45.00 EUR
- 355 Livia Murer: Diagnose experimenteller Kompetenzen beim praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten *Vergleich verschiedener Methoden und kognitive Validierung eines Testverfahrens*  
ISBN 978-3-8325-5657-0 41.50 EUR

- 356 Andrea Maria Schmid: Authentische Kontexte für MINT-Lernumgebungen *Eine zweiteilige Interventionsstudie in den Fachdidaktiken Physik und Technik*  
ISBN 978-3-8325-5605-1 57.00 EUR
- 357 Julia Ortmann: Bedeutung und Förderung von Kompetenzen zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten in universitären Praktika  
ISBN 978-3-8325-5670-9 37.00 EUR
- 358 Axel-Thilo Prokop: Entwicklung eines Lehr-Lern-Labors zum Thema Radioaktivität *Eine didaktische Rekonstruktion*  
ISBN 978-3-8325-5671-6 49.50 EUR
- 359 Timo Hackemann: Textverständlichkeit sprachlich variiert physikbezogener Sachtexte  
ISBN 978-3-8325-5675-4 41.50 EUR
- 360 Dennis Dietz: Vernetztes Lernen im fächerdifferenzierten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht aufgezeigt am Basiskonzept Energie *Eine Studie zur Analyse der Wirksamkeit der Konzeption und Implementation eines schulinternen Curriculums für das Unterrichtsfach „Integrierte Naturwissenschaften 7/8“*  
ISBN 978-3-8325-5676-1 49.50 EUR
- 361 Ann-Katrin Krebs: Vielfalt im Physikunterricht *Zur Wirkung von Lehrkräftefortbildungen unter Diversitätsaspekten*  
ISBN 978-3-8325-5672-3 65.50 EUR
- 362 Simon Kaulhausen: Strukturelle Ursachen für Klausurmisserfolg in Allgemeiner Chemie an der Universität  
ISBN 978-3-8325-5699-0 37.50 EUR
- 363 Julia Eckoldt: Den (Sach-)Unterricht öffnen *Selbstkompetenzen und motivationale Orientierungen von Lehrkräften bei der Implementation einer Innovation untersucht am Beispiel des Freien Explorierens und Experimentierens*  
ISBN 978-3-8325-5663-1 48.50 EUR
- 364 Albert Teichrow: Physikalische Modellbildung mit dynamischen Modellen  
ISBN 978-3-8325-5710-2 58.50 EUR
- 365 Sascha Neff: Transfer digitaler Innovationen in die Schulpraxis *Eine explorative Untersuchung zur Förderung der Implementation*  
ISBN 978-3-8325-5687-7 59.00 EUR
- 366 Rahel Schmid: Verständnis von Nature of Science-Aspekten und Umgang mit Fehlern von Schüler\*innen der Sekundarstufe I *Am Beispiel von digital-basierten Lernprozessen im informellen Lernsetting Smartfeld*  
ISBN 978-3-8325-5722-5 53.50 EUR
- 367 Dennis Kirstein: Individuelle Bedingungs- und Risikofaktoren für erfolgreiche Lernprozesse mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht *Eine Untersuchung zum Zusammenhang von Lernvoraussetzungen, Lerntätigkeiten, Schwierigkeiten und Lernerfolg beim Experimentieren in Kleingruppen der Sekundarstufe I*  
ISBN 978-3-8325-5729-4 52.50 EUR

- 368 Frauke Düwel: Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten *Potenzziale englischer Fachtexte zur Chromatografie und deren hochschuldidaktische Einbindung*  
ISBN 978-3-8325-5731-7 63.00 EUR
- 369 Fabien Güth: Interessenbasierte Differenzierung mithilfe systematisch variierten Kontextaufgaben im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-5737-9 48.00 EUR
- 370 Oliver Grewe: Förderung der professionellen Unterrichtswahrnehmung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen hinsichtlich sprachsensibler Maßnahmen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht *Konzeption und Evaluation einer video- und praxisbasierten Lehrveranstaltung im Masterstudium*  
ISBN 978-3-8325-5738-6 44.50 EUR
- 371 Anna Nowak: Untersuchung der Qualität von Selbstreflexionstexten zum Physikunterricht *Entwicklung des Reflexionsmodells REIZ*  
ISBN 978-3-8325-5739-3 59.00 EUR
- 372 Dominique Angela Holland: Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) kooperativ gestalten *Vergleich monodisziplinärer und interdisziplinärer Kooperation von Lehramtsstudierenden bei der Planung, Durchführung und Reflexion von Online-BNE-Unterricht*  
ISBN 978-3-8325-5760-7 47.00 EUR
- 373 Renan Marcello Vairo Nunes: MINT-Personal an Schulen *Eine Untersuchung der Arbeitssituation und professionellen Kompetenzen von MINT-Lehrkräften verschiedener Ausbildungswege*  
ISBN 978-3-8325-5778-2 51.00 EUR
- 374 Mats Kieserling: Digitalisierung im Chemieunterricht *Entwicklung und Evaluation einer experimentellen digitalen Lernumgebung mit universeller Zugänglichkeit*  
ISBN 978-3-8325-5786-7 45.50 EUR
- 375 Cem Aydin Salim: Die Untersuchung adaptiver Lernsettings im Themenbereich „Schwimmen und Sinken“ im naturwissenschaftlichen Unterricht  
ISBN 978-3-8325-5787-4 40.00 EUR
- 376 Novid Ghassemi: Evaluation eines Lehramtsmasterstudiengangs mit dem Profil Quereinstieg im Fach Physik *Erkenntnisse zu Eingangsbedingungen, professionellen Kompetenzen und Aspekten individueller Angebotsnutzung*  
ISBN 978-3-8325-5789-8 41.50 EUR

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder telefonisch (030 - 42 85 10 90) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Damit Lehramtsstudierende Lehr-Lernprozesse so gestalten, dass bei Lernenden Erkenntnisprozesse initiiert und unterstützt werden, müssen sie sich vertieft mit den Fachinhalten auseinandersetzen. Die Identifizierung von lernbedeutsamen Zusammenhängen und die Übertragung in Lernschritte sind für Studierende nachweislich schwierig. Daher werden in der vorliegenden Arbeit Verstehensprozesse von Lehramtsstudierenden bei der Erschließung eines komplexen fachlichen Sachverhaltes und dessen fachdidaktische Verwertung untersucht.

Dazu wurde eine Fallstudie mit  $N = 14$  Versuchspersonen durchgeführt, für die ein leitfragenstütztes Lehr-Lernkonzept entwickelt wurde, um eine Vertretungsstunde für einen Leistungskurs Chemie zur Auswertung der Analyse eines Farbstoffgemisches zu erarbeiten. Zur Erschließung der inhaltlichen Zusammenhänge wurden englische Lehrbuchtexte (nachweislich weniger lückenhaft in ihren Argumentationslinien als deutsche) eingesetzt. Ausgewertet wurden die Antworten zu den Leitfragen. Die Auswertung erfolgte mit einem auf Propositionen aufbauenden Kategoriensystem.

Die Studierenden haben nur teilweise die relevanten Textpassagen eigenständig erkannt. Entscheidend waren die fachlichen Voraussetzungen. Eine Zunahme im fachlichen Verständnis wirkte sich positiv auf die fachdidaktische Verwertung des erworbenen Wissens aus. Folglich sind für die Lehre leitfragenstützte Lehr-Lernkonzepte, auch unter Einbindung englischer Lehrbuchtexte, für eine vertiefte Wissensverarbeitung zu empfehlen.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5731-7