

Engl, Alexander

CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur. Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Änderung der Einstellung zu "Chemie und Natur"

Berlin : Logos Verlag 2020, 231, LXXVIII S. - (Studien zum Physik- und Chemielernen; 301) - (Dissertation, Universität Koblenz-Landau, 2020)



Quellenangabe/ Reference:

Engl, Alexander: CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur. Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Änderung der Einstellung zu "Chemie und Natur". Berlin : Logos Verlag 2020, 231, LXXVIII S. - (Studien zum Physik- und Chemielernen; 301) - (Dissertation, Universität Koblenz-Landau, 2020) - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-334052 - DOI: 10.25656/01:33405; 10.30819/5174

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-334052>

<https://doi.org/10.25656/01:33405>

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
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Studien zum Physik- und Chemielernen

H. Niedderer, H. Fischler, E. Sumfleth [Hrsg.]

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“

λογος

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Hans Niedderer, Helmut Fischler und Elke Sumfleth

Diese Reihe im Logos-Verlag bietet ein Forum zur Veröffentlichung von wissenschaftlichen Studien zum Physik- und Chemielernen. In ihr werden Ergebnisse empirischer Untersuchungen zum Physik- und Chemielernen dargestellt, z. B. über Schülervorstellungen, Lehr-/Lernprozesse in Schule und Hochschule oder Evaluationsstudien. Von Bedeutung sind auch Arbeiten über Motivation und Einstellungen sowie Interessensgebiete im Physik- und Chemieunterricht. Die Reihe fühlt sich damit der Tradition der empirisch orientierten Forschung in den Fachdidaktiken verpflichtet. Die Herausgeber hoffen, durch die Herausgabe von Studien hoher Qualität einen Beitrag zur weiteren Stabilisierung der physik- und chemiedidaktischen Forschung und zur Förderung eines an den Ergebnissen fachdidaktischer Forschung orientierten Unterrichts in den beiden Fächern zu leisten.

Hans Niedderer

Helmut Fischler

Elke Sumfleth

Studien zum Physik- und Chemielernen

Band 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“

Logos Verlag Berlin



Studien zum Physik- und Chemielernen

Hans Niederer, Helmut Fischler, Elke Sumfleth [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.

© Copyright Logos Verlag Berlin GmbH 2020

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-8325-5174-2

ISSN 1614-8967



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>

**CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur:
Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten
Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Ände-
rung der Einstellung zu „Chemie und Natur“**

von

Alexander Engl

geboren in Filderstadt

Angenommene Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften

Fachbereich 7: Natur- und Umweltwissenschaften

Universität Koblenz-Landau

Berichterstatter:

Prof. Dr. Björn Risch, Landau, Erster Berichterstatter

Prof. Dr. Alexander Kauertz, Landau, Zweiter Berichterstatter

Prof. Dr. Ilka Parchmann, Kiel, Dritte Berichterstatterin

Tag der Disputation:

Montag, 06. Juli 2020

Für Lisa

„Nur wenige würden sich wundern, wenn demnächst neben dem „chemiefreien“ biologischen Gemüse auch „atomfreies“ angeboten würde.“

Heilbronner & Wyss, 1983, S: 72

Abstract

Advertising for consumer goods often incorporates slogans that draw a clear line between the advertised goods and "chemistry" and leverage the positive image of "nature" (Gröger, Krischer & Spitzer, 2014; Schummer, 2017). However, even if cleaning products, medicines, cosmetics or food do not contain synthetic chemicals, their desired effect is brought about by chemical ingredients. The ROSE study, for example, showed that such slogans have an impact on society (ROSE: The Relevance of Science Education). In the study, which was conducted on a subsample of 15-year-old Germans, about 65 % of the girls and 50 % of the boys considered science to have more harmful effects than benefits (Sjøberg & Schreiner, 2010). In contrast, themes presented in the context of "nature" give rise to romanticised ideas in society. The youth report "Nature" (Jugendreport Natur) called this phenomenon the "Bambi syndrome" because nature is generally regarded as harmonious and beautiful, but also as threatened and in need of help (Brämer, 2006). Overall, therefore, public opinion is shaped by an antagonistic view of "chemistry" and "nature". The layman is seldom aware that chemistry as a natural science serves to describe nature by explaining chemical substances and the changes they undergo during reactions. Chemistry takes place everywhere, especially in nature.

This is exactly what makes the teaching concept "Natural Chemistry – Teaching Outdoors" (CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur) so relevant. The core idea of Natural Chemistry is to move selected chemistry lessons outdoors into nature. Students carry out experiments outdoors on substances collected there in order to understand environmental processes. Outdoor education in a natural learning environment, as part of the school curriculum, can foster interest in learning (Waite, Bølling & Bentsen, 2015; Becker, Lauterbach, Spengler, Dettweiler & Mees, 2017) and promote a more positive attitude towards the environment (Stern, Powell & Hill, 2014; Becker et al., 2017). In addition, contact with nature, especially when accompanied by others, and enjoying time spent in nature are essential factors that enable an individual to connect with nature (Chawla, 1998; Roczen, 2011). Natural Chemistry, as a context-oriented teaching approach, can also positively change interest in (Fechner, 2009; Kölbach & Sumfleth 2013; Parchmann & Kuhn, 2018) and attitudes towards chemistry as a science (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007; Ültay & Çalık, 2012). In addition, it can raise awareness regarding the antagonistic view of chemistry and nature (Kaufmann, 2000; Krischer, Spitzer & Gröger, 2016).

The Natural Chemistry teaching concept is designed for teaching practice, on the one hand, and has a sound empirical basis, on the other (Engl & Risch, 2019). Due to a lack of teaching units suitable for outdoor use, we started by adapting, developing, and redesigning selected school experiments to integrate natural materials. These were optimised based on criteria for carrying out experiments outdoors in nature. Next, after having developed lessons that were suitable for secondary-school instruction, we embedded the lessons in the teaching concept. Based on this approach, four innovative Natural Chemistry teaching units were developed: (1) "Soil analysis with organic acids" (Engl & Risch, 2014), (2) "On the Scent of Essential Oils" (Engl, Schmelzer & Risch, 2018), (3) "The fascination of fluorescence – sun protection in nature" (Engl & Risch, 2016a) and (4) "Blaze of colour in the Outdoors" (Engl & Risch, 2016b).

In a next step, Natural Chemistry was evaluated. The main research question was: How does the Natural Chemistry teaching concept affect secondary school students' interest in chemistry as a subject and in the specific topic as well as their connection with nature and their attitude towards the relationship between chemistry and nature (Engl & Risch, 2017). The methodological approach involved carrying out four studies: (1) The preliminary study served as a needs analysis for outdoor chemistry instruction and a survey of the current situation. (2) In the pre-piloting phase, the learning units were optimised on the basis of evidence, and the concept was evaluated. (3) A test was designed, and piloting was conducted to verify the quality of the measuring instruments used and make necessary adjustments. (4) To answer the research question, evidence was collected in a quasi-experimental evaluation study conducted on two groups, which were subsequently compared. In the experimental group, instruction was performed outdoors with the Natural Chemistry teaching concept, while the control group was taught comparable contents in the laboratory without the nature-based, outdoor context.

Based on mechanisms of action taken from the theory, we formulated the following hypotheses: (H1) In both groups, the interest in chemistry as a subject and in the specific topic would increase. (H2) The attitude towards chemistry and nature would improve in the experimental group. (H3) The connection with nature would increase in the experimental group. Using latent change models to analyse the questionnaire results, we found that the outdoor intervention significantly increased the topic-related interest in the short term with a small effect. In addition, our analyses revealed a small interaction effect, with the outdoor intervention having a significant positive influence on the attitude towards chemistry in the long term. Furthermore, independently

of the hypotheses, the outdoor intervention resulted in a significantly higher increase in students' subject-related knowledge (Engl & Risch, 2018).

From a methodological perspective, the interventions were only partially comparable. However, this limited comparability was considered negligible, and the test quality was assessed as acceptable. The teaching units were considered to be practical and suitable for upper secondary instruction. In terms of content, the hypothesis-related effects were in line with the assumptions derived from the theory. The effect sizes were aligned with the results of previous meta-studies (Cason & Gillis, 1994; Hattie, Marsh, Neill & Richards 1997). The interaction effect within subject-related knowledge can be explained using Attention Restoration Theory (Kaplan, 1995), which was already empirically proven by Eaton (1998).

An appropriate next step would be to develop more Natural Chemistry learning units. Due to the many different possible mechanisms of action and causes underlying the effects of the intervention, it would also make sense to conduct an additional study with a factorial 2x2 design as a more standardised laboratory experiment (Parchmann & Kuhn, 2018). The findings derived from this study form the basis for developing and evaluating good-practice approaches in science learning situations as well as for supporting teachers in schools. They can be implemented in preservice teacher education for science teachers.

Zusammenfassung

Konsumgüter werden häufig mit Slogans beworben, die sich gezielt von „Chemie“ abgrenzen und sich das positive Bild von „Natur“ zu Nutze machen sollen (Gröger, Krischer & Spitzer, 2014; Schummer, 2017). Doch selbst wenn Reinigungsmittel, Medikamente, Kosmetika oder Lebensmittel keine synthetischen Chemikalien aufweisen, sind es dennoch chemische Inhaltsstoffe, die für die gewünschte Wirkung verantwortlich sind. Dass diese Slogans Einfluss auf die Gesellschaft nehmen, zeigen beispielsweise Ergebnisse der ROSE Studie (The Relevance of Science Education). Hierbei gaben unter 15-jährigen Deutschen circa 65 % der befragten Mädchen und 50 % der Jungen an, dass sie die schädlichen Auswirkungen der Naturwissenschaften höher einstufen als deren Nutzen (Sjøberg & Schreiner, 2010). Im Gegensatz dazu führen Themen im Kontext „Natur“ in der Gesellschaft zu romantisierten Vorstellungen. Der Jugendreport Natur betitelte dieses Phänomen als „Bambi-Syndrom“: Natur wird grundsätzlich als harmonisch und schön, aber auch als bedroht und hilfsbedürftig angesehen (Brämer, 2006). Insgesamt ist die öffentliche Meinung geprägt von der antagonistisch-wertenden Sicht von „Chemie“ und „Natur“. Dass Chemie als Naturwissenschaft der Beschreibung der Natur

dient, um deren Stoffe und Stoffumwandlungen zu erklären, ist dem Laien selten bewusst. Chemie findet überall statt, insbesondere in der Natur.

Genau an diesem Punkt setzt das Unterrichtskonzept „CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“ an. Die Kernidee von CHEMIE PUR besteht darin, ausgewählte Unterrichtsstunden im Fach Chemie in die Natur zu verlegen. Im Freiland werden so mit direkt vor Ort gewonnenen Stoffen Umweltprozesse experimentell erarbeitet. Diese naturnahe Lernumgebung kann in Form von curricular verankerter Outdoor Education ein gesteigertes Interesse am Lernen bewirken (Waite et al., 2015; Becker et al., 2017) und eine positivere Umwelteinstellung begünstigen (Stern, et al., 2014; Becker et al., 2017). Zusätzlich sind der Kontakt zur Natur – besonders in Begleitung – und der Genuss des Naturaufenthaltes die wesentlichen Faktoren zur Ausbildung von Naturverbundenheit (Chawla, 1998; Roczen, 2011). Die Kontextorientierung von CHEMIE PUR kann ebenfalls das Interesse (Fechner, 2009; Kölbach & Sumfleth 2013; Parchmann & Kuhn, 2018) und die Einstellung zur Wissenschaft Chemie (Bennett et al., 2007; Ültay & Çalık, 2012) positiv verändern sowie die antagonistische Sichtweise von Chemie und Natur bewusstmachen (Kaufmann, 2000; Kriecher, Spitzer & Gröger, 2016).

CHEMIE PUR ist sowohl konzeptionell mit starkem Bezug zur Unterrichtspraxis als auch empirisch grundlagenorientiert ausgerichtet (Engl & Risch, 2019). Mangels outdoortauglicher Unterrichtseinheiten wurden zunächst naturmaterialienbezogene Schulexperimente überarbeitet, weiterentwickelt und neu konzipiert. Diese wurden Kriterien geleitet für die Durchführung in der Natur optimiert und anschließend als geeignete Schulstunden für die Oberstufe in das Unterrichtskonzept eingebettet. Nach diesem Vorgehen sind vier innovative CHEMIE PUR Lerneinheiten entstanden: (1) „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ (Engl & Risch, 2014), (2) „Ätherischen Ölen auf der Spur“ (Engl, Schmelzer & Risch, 2018), (3) „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ (Engl & Risch, 2016a) und (4) „Farbenpracht im Freiland“ (Engl & Risch, 2016b). Daran anknüpfend erfolgt die Evaluation von CHEMIE PUR. Dabei stellt sich die leitende Forschungsfrage, wie sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülern der Sekundarstufe II auswirkt (Engl & Risch, 2017). Das methodische Vorgehen unterteilt sich in vier Studien: (1) Die Vorstudie dient zur Bedarfsanalyse für und Bestandserhebung von Outdoor Chemieunterricht. (2) In der Prepilottierung werden die Lerneinheiten evidenzbasiert optimiert und das Konzept evaluiert. (3) Die Testkonstruktion und Pilotierung stellt die Güte der verwendeten Messinstrumente sicher und

leitet notwendige Anpassungen ab. (4) Zur evidenzbasierten Klärung der Forschungsfrage wurde eine quasi-experimentelle Evaluationsstudie mit zwei Vergleichsgruppen durchgeführt. Im Freiland wurde in der Experimentalgruppe das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR eingesetzt, während in der Kontrollgruppe vergleichbare Inhalte ohne naturnahen Kontext im Labor behandelt wurden.

Die aus der Theorie angenommenen Wirkmechanismen führen zu folgenden Hypothesen: (H1) Bei beiden Vergleichsgruppen steigt das chemiebezogene Fach- und Sachinteresse an. (H2) Die Einstellung zu Chemie und Natur verbessert sich in der Experimentalgruppe. (H3) Die Naturverbundenheit nimmt in der Experimentalgruppe zu. Die Auswertung der Fragebogenergebnisse mit latenten Veränderungsmodellen hat gezeigt, dass die Intervention im Freiland mit einem kleinen Effekt kurzfristig das inhaltsbezogene Sachinteresse signifikant steigert und als kleiner Interaktionseffekt langfristig die Einstellung zu Chemie und Natur signifikant positiv beeinflusst sowie hypothesenunabhängig ein signifikant erhöhten Fachwissenszuwachs ermöglicht (Engl & Risch, 2018).

Methodisch wurde die teilweise eingeschränkte Vergleichbarkeit der Interventionen als vernachlässigbar eingeschätzt und die Testgüte als akzeptabel bewertet. Die Lerneinheiten werden als praxistauglich und adressatengerecht für die Sekundarstufe II angesehen. Inhaltlich lassen sich die hypothesenbezogenen Effekte mit den Annahmen der theoretischen Rahmung begründen und hinsichtlich der Effektgröße in die Ergebnisse bisheriger Meta-studien einordnen (Cason & Gillis, 1994; Hattie et al., 1997). Der Interaktionseffekt im Fachwissen ist mit der Attention Restoration Theory erklärbar (Kaplan, 1995) und wurde bereits von Eaton (1998) empirisch nachgewiesen.

Neben der Entwicklung von neuen CHEMIE PUR Lerneinheiten bietet sich, aufgrund der Multikausalität der Intervention und der Vielzahl an möglichen Wirkmechanismen (Parchmann & Kuhn, 2018), eine fortführende Studie mit einem faktoriellen 2x2 Design als stärker standardisiertes Laborexperiment an. Die gewonnenen Erkenntnisse der vorliegenden Studie können die Grundlage für die Entwicklung und Evaluation von good-practice-Ansätzen naturwissenschaftlicher Lernsituationen bilden, Lehrpersonen an Schulen unterstützen und in die fachdidaktische Lehrerbildung der naturwissenschaftlichen Fächer implementiert werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Problemstellung	1
2	Theoretische Rahmung	7
2.1	Outdoor Education.....	9
2.2	Kontexte	17
2.3	Interesse.....	27
2.4	Einstellung	35
2.5	Umweltkompetenz.....	47
3	Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR.....	55
3.1	Bodenanalyse mit Organischen Säuren.....	67
3.2	Ätherischen Ölen auf der Spur.....	73
3.3	Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur	85
3.4	Farbenpracht im Freiland.....	93
4	Methodisches Vorgehen	99
4.1	Vorstudie.....	101
4.2	Prepilotierung	103
4.2.1	Methoden der Datenerhebung.....	105
4.2.2	Methoden der Datenauswertung.....	109
4.3	Pilotierung	113
4.3.1	Testkonstruktion.....	115
4.3.2	Methoden der Datenerhebung.....	121
4.3.3	Methoden der Datenauswertung.....	129
4.4	Hauptstudie.....	137
4.4.1	Methoden der Datenerhebung.....	139
4.4.2	Methoden der Datenauswertung.....	145
5	Ergebnisse.....	149
5.1	Vorstudie.....	151
5.2	Prepilotierung	155
5.3	Pilotierung	161
5.4	Hauptstudie.....	181
6	Diskussion.....	209
6.1	Methodenkritik	211
6.2	Diskussion der Hypothesen	219
7	Ausblick	229

I	Danksagung	I
II	Lebenslauf	III
III	Publikationsliste	V
IV	Tagungsbeiträge und Fortbildungen.....	IX
V	Anhang	XI
a)	Übersicht relevanter Abschlussarbeiten	XI
b)	Darstellung des Eigenanteils	XIII
c)	Fragebögen.....	XV
VI	Verzeichnisse	XXXIX
a)	Abbildungsverzeichnis.....	XXXIX
b)	Tabellenverzeichnis	XLIII
c)	Literaturverzeichnis.....	XLV
d)	Eidesstattliche Erklärung.....	LXXIX

1 Ausgangslage und Problemstellung

„Chemiefreies Leben“, „Stark ohne chemischen Wirkstoff“, „Ganz ohne Chemie“, „Gut in Bio. Schlecht in Chemie“, „Natur statt Chemie“, „Chemie und Quecksilber im Wasser“ – die Liste dieser aus der Werbung entnommenen Slogans ließe sich beliebig erweitern (vgl. Bildersuchabfragen im Internet).

Konsumgüter werden häufig mit Slogans beworben, um sich gezielt von „Chemie“ abzugrenzen und sich das positive Bild von „Natur“ zu Nutze zu machen (Gröger, Krischer & Spitzer, 2014; Schummer, 2017). „Nur wenige würden sich wundern, wenn demnächst neben dem „chemiefreien“ biologischen Gemüse auch „atomfreies“ angeboten würde.“ (Heilbronner & Wyss, 1983, S: 72). Selbst Ärzt*innen¹, Umweltschutzorganisationen und Pharmaunternehmen, deren Tätigkeitsfeld im naturwissenschaftlichen Bereich angesiedelt ist, bedienen sich diesen fragwürdigen Aussagen. Aus fachwissenschaftlicher Perspektive sind alle Statements falsch! Doch selbst wenn die beworbenen Putzmittel, Medikamente, Kosmetika und Lebensmittel keine synthetischen Chemikalien aufweisen, sondern nur aus Naturstoffen bestehen, sind es dennoch chemische Inhaltsstoffe, die für die gewünschte Wirkung verantwortlich sind. Gegen diese von Werbung ausgehende negative Beeinflussung der öffentlichen Wahrnehmung muss die Disziplin Chemie sowohl in der Schule als auch in der Wissenschaft und Industrie ankämpfen (Fischer, 2017). Als ironische Reaktion auf derartige Äußerungen hat die Royal Society of Chemistry eine Millionen Pfund auf die Entwicklung eines chemikalienfreien Produkts ausgeschrieben und mit einer Pressemeldung reagiert:

Products are marketed as 'chemical-free' as though that's not only possible, but actually desirable, it's no wonder some consumers might feel concerned about the safety of chemicals. To raise awareness of how impossible 'chemical-free' is as a claim, I'm challenging anyone to place in my hand a material I consider to be chemical-free. The truth, as any right-minded person will say, is that everything we eat, drink, drive, play with and live in is made of chemicals – both natural and synthetic chemicals are essential for life as we know it (Royal Society of Chemistry, 2010, S: 1).

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text verallgemeinernd das generische Maskulinum verwendet. Diese Formulierungen umfassen gleichermaßen die drei Geschlechter divers, weiblich und männlich; alle sind damit gleichberechtigt angesprochen.

Trotz dieser Omnipräsenz von „Chemie“ ist der Begriff häufig negativ konnotiert und „chemische Stoffe“ werden von einem Großteil der Bevölkerung nach Möglichkeit gemieden (Parchmann & Menthe, 2006). Während zu Zeiten der industriellen Revolution der Wissenschaft Chemie einer großen Bedeutung beigemessen wurde und Chemie vor allem für Wachstum und Fortschritt stand, begegnet die heutige Gesellschaft der Disziplin der Chemie eher mit Misstrauen und wird zumeist sogar als Gefahr für Mensch und Natur eingeschätzt (Lehmann-Riekert, 1999). Der Nobelpreisträger Prof. Dr. Roald Hoffmann beschreibt in einer Rede diese irrationale Angst als Chemophobie (Janiak & Janiak, 1990). Die Skepsis gegenüber Chemie ist bereits bei Jugendlichen vorhanden: Laut der zwölften Shell Studie sind 63 % der zwölf- bis 24-Jährigen der Meinung, dass Chemie und Technik die Natur zerstören werde (Münchmeier, 1997). Auch eine Dekade später zeigen die Ergebnisse der ROSE Studie (The Relevance of Science Education), dass unter 15-jährigen Deutschen circa 65 % der befragten Mädchen und 50 % der Jungen die schädlichen Auswirkungen der Naturwissenschaften höher einstufen als deren Nutzen (Sjøberg & Schreiner, 2010).

Dass Chemie als Naturwissenschaft allerdings der Beschreibung der Natur dient, um deren Stoffe und Stoffumwandlungen zu erfassen, ist dem Laien selten bewusst. Hierzu geben Janich und Rüchardt (1996) in ihrem Buch „Natürlich, technisch, chemisch. Philosophie und Wissenschaft“ einen umfassenden Überblick. Dieser scheinbare Antagonismus von Chemie und Natur ist in den Köpfen der Öffentlichkeit fest verankert (Lehmann-Riekert, 1999; Fischer, 2017). Dabei findet Chemie überall statt, insbesondere in der Natur. Denn Naturprodukte und -materialien zeichnen sich durch eine fast unüberschaubare Vielzahl und Komplexität an Inhaltsstoffen aus, wie Abbildung 1 plakativ veranschaulicht. Im Spannungsfeld „Natürlichkeit und Chemie“ deckt Karger (1996) systematische Gegensätze in der Risikoeinschätzung auf: Während Toxikologen beispielsweise das Item „Natürliche Chemikalien sind in der Regel weniger schädlich als künstlich hergestellte Chemikalien.“ zu 86 % ablehnen, stimmen diesem 45 % der Befragten

AN ALL-NATURAL BANANA



INGREDIENTS: WATER (75%), **SUGARS (12%)** (GLUCOSE (48%), FRUCTOSE (40%), SUCROSE (2%), MALTOSE (<1%)), STARCH (5%), FIBRE E460 (3%), **AMINO ACIDS (<1%)** (GLUTAMIC ACID (19%), ASPARTIC ACID (16%), HISTIDINE (11%), LEUCINE (7%), LYSINE (5%), PHENYLALANINE (4%), ARGININE (4%), VALINE (4%), ALANINE (4%), SERINE (4%), GLYCINE (3%), THREONINE (3%), ISOLEUCINE (3%), PROLINE (3%), TRYPTOPHAN (1%), CYSTINE (1%), TYROSINE (1%), METHIONINE (1%)), **FATTY ACIDS (1%)** (PALMITIC ACID (30%), OMEGA-6 FATTY ACID: LINOLEIC ACID (14%), OMEGA-3 FATTY ACID: LINOLENIC ACID (8%), OLEIC ACID (7%), PALMITOLEIC ACID (3%), STEARIC ACID (2%), LAURIC ACID (1%), MYRISTIC ACID (1%), CAPRIC ACID (<1%)), ASH (<1%), PHYTOSTEROLS, E515, OXALIC ACID, E300, E306 (TOCOPHEROL), PHYLLOQUINONE, THIAMIN, **COLOURS** (YELLOW-ORANGE E101 (RIBOFLAVIN), YELLOW-BROWN E160a), **FLAVOURS** (3-METHYLBUT-1-YL ETHANOATE, 2-METHYLBUTYL ETHANOATE, 2-METHYLPROPAN-1-OL, 3-METHYLBUTYL-1-OL, 2-HYDROXY-3-METHYLETHYL BUTANOATE, 3-METHYLBUTANAL, ETHYL HEXANOATE, ETHYL BUTANOATE, PENTYL ACETATE), 1510, NATURAL RIPENING AGENT (ETHENE GAS).

Abbildung 1: Hauptinhaltsstoffe einer Banane (Kennedy, 2013).

ohne Expertenwissen zu. Hierbei lässt sich die Relevanz von fehlendem Fachwissen und metakonzeptionellen Wissen ableiten. Natürliche Gefahren, wie die verheerende Wirkung von Naturkatastrophen, oder evolutionsbiologische Gesetzmäßigkeiten, wie das Überleben des Stärkeren, werden als selbstverständlicher Teil des menschlichen Daseins erlebt und entsprechend ausgeblendet (Karger, 1996).

Die romantisierte Vorstellung von Natur wird im siebten Jugendreport Natur deutlich, bei dem 73 % der Jugendlichen der Aussage „Was natürlich ist, ist gut!“ zustimmen (Brämer, Knoll & Schild 2016). Brämer (2006) betitelte dieses Phänomen als Bambi-Syndrom: Natur wird grundsätzlich als harmonisch und schön, aber auch als bedroht und hilfsbedürftig angesehen. Gleichzeitig zeigt sich auch ein lücken- und fehlerhaftes Wissen über alltägliche Naturerscheinungen. Im sechsten Jugendreport Natur wurden 3.000 Lernende der sechsten und neunten Klasse aller Schulformen aus sechs Bundesländern befragt (Brämer, 2010). Etwa 40 % der Probanden wussten nicht, in welcher Himmelsrichtung die Sonne aufgeht und 53 % gaben an, dass Hühner mehr als ein Ei am Tag (im Mittelwert 3,1) legen können (ebd.). Der von Balmford, Clegg, Coulson und Tayler (2002) veröffentlichte Artikel in der Zeitschrift Science verblüfft damit, dass Acht- bis Elfjährige mehr Pokémonarten als häufige heimische Tiere und Pflanzen identifizieren können. Dieses mangelnde Wissen kann durch das Ergebnis der KIM-Studie 2016 (Kindheit, Internet und Medien) begründet werden, bei der nur 13 % der befragten sechs- bis 13-Jährigen angaben, sich überhaupt für die Umwelt und Natur zu interessieren (Feierabend, Plankenhorn & Rathgeb, 2017). Die zunehmende Naturentfremdung lässt sich damit begründen, dass Kinder und Jugendliche in Bildungs- und Freizeitinstitutionen immer weniger offene, ungestaltete Räume in der Natur zur Verfügung stehen (Gebhard, 2013). Louv (2008) fasst dies als Naturdefizit-Störung zusammen: "Nature-deficit disorder describes the human costs of alienation from nature, among them: diminished use of the senses, attention difficulties, and higher rates of physical and emotional illnesses." (S: 35-36). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch das Review von Soga und Gaston (2016), dass zusätzlich mangelnden Naturkontakt für einen beginnenden Zyklus von negativen Gefühlen, Einstellungen und Verhalten gegenüber der Umwelt verantwortlich macht.

Trotz allem zeigt der Jugendreport Natur 2016 aber auch, dass 47 % der befragten Jugendlichen angeben, ihre Freizeit am liebsten draußen im Grünen zu verbringen (Brämer et al., 2016). Dies kann sich zu Nutze gemacht werden, um insbesondere Kinder und Jugendliche im Rahmen von Outdoor Education

für das forschende Lernen draußen in der Natur zu sensibilisieren und Interesse für Umweltprozesse zu wecken (Beames, Higgins & Nicol, 2012). Denn wenn sich die aktuellen sozial-ökologischen Entwicklungsprozesse so fortsetzen und entwickeln wie in den letzten Jahren, führt dies notwendigerweise zu einer Reihe massiver Konsequenzen für die menschliche Bevölkerung: Globale Veränderungen (Klimawandel, Ressourcenverknappung, stoffliche Umweltbelastung etc.) werden unsere lokale Umgebung in absehbarer Zukunft merklich beeinträchtigen. Diese Entwicklung kann ohne den Einsatz des Einzelnen vor Ort nicht aufgehalten werden. Zentrale ökologische Prozesse, wie beispielsweise die Photosynthese, biologische Stoffumsätze im Boden und Umweltstressoren, wie UV-Strahlung oder Treibhausgase, haben häufig Auswirkungen, die nicht direkt ersichtlich und daher schwer nachvollziehbar sind. Die Intensivierung des Wissens um solche komplexen Zusammenhänge und die damit verknüpften langfristigen Konsequenzen des persönlichen Handelns sind jedoch Grundvoraussetzung im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung (Rieß, Schuler & Hörsch, 2015). Die Fähigkeit zum Systemischen Denken ist dabei von höchster Bedeutung, um sich an einer ökologisch, ökonomisch und sozial verträglichen Umwelt- und Regionalplanung zu beteiligen (Fanta, Bräutigam, Greiff & Rieß, 2017). Kooperative und problembasierte Lehr-Lernsettings können die notwendigen Schlüsselkompetenzen durch Primärerfahrungen und Originalbegegnungen an einem Lernort außerhalb des Klassenzimmers mustergültig fördern sowie sinnstiftend miteinander verbinden und somit einen wichtigen Beitrag zur Bildung für eine nachhaltige Entwicklung leisten (Brockmüller, Schuler, Volz & Siegmund, 2016).

Es herrscht breiter Konsens bezüglich des vielfältigen pädagogisch-didaktischen Nutzens von Besuchen außerschulischer Lernorte (Messmer, von Niederhäusern, Rempfler & Wilhelm, 2011). Ein gut zu erreichender sekundärer außerschulischer Lernort stellt die natürliche Umgebung der Schulen dar (Sauerborn & Brühne, 2012). Hier können naturnahe Kontexte in den Chemieunterricht integriert werden, um zum einen Fachwissen über Naturphänomene zu generieren und zum anderen ein Bewusstsein für die antagonistische Sichtweise von Chemie und Natur zu entwickeln (Krischer, 2015). Dieser Antagonismus lässt sich in die Theorien der Schülervorstellungen einordnen. Ausgehend von Vorwissen, subjektiven gedanklichen Konstruktionen, Denkfiguren und Theorien des kognitiven Systems können Präkonzepte durch einen Conceptual Change bewusstgemacht und für eine Vorstellungsänderung genutzt werden (Gropengießer & Marohn, 2018). Angelehnt an das Unterrichtskonzept Chemie im Kontext (Demuth, Gräsel, Parchmann & Ralle, 2008) könnte so das Fach- und Sachinteresse gesteigert und die Einstellung

im Bereich Chemie und Natur verbessert werden. Der Kontakt zur Natur im Chemieunterricht und der Genuss des Naturaufenthaltes sind die wesentlichen Faktoren zur Ausbildung von Naturverbundenheit (Roczen, 2011). Zusammen mit Umweltwissen trägt Naturverbundenheit maßgeblich zu einer Veränderung des allgemeinen Umweltverhaltens bei (Bogner & Kaiser, 2012). Die Metastudie von Stern et al. (2014) zeigt, dass dies besonders gut mit handlungs- und erlebnisorientierten Aktivitäten in einer naturnahen Lernumgebung gelingen kann.

In den beliebten Schulfächern wie Biologie und Sport findet Unterricht schon lange außerhalb des Klassenzimmers statt. Der unbeliebte Chemieunterricht hingegen spielt sich traditionell im Fachraum ab. Was spricht dagegen ausgewählte Unterrichtsstunden direkt in die Natur zu verlegen, wo gerade dort die Naturwissenschaft ihren Ursprung hat? Genau an diesem Punkt setzt das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur an. Im Freiland werden mit direkt vor Ort gewonnenen Naturstoffen Umweltprozesse experimentell erarbeitet. Mangels outdoortauglicher Unterrichtseinheiten wurden zunächst naturmaterialienbezogene Schulexperimente überarbeitet, weiterentwickelt und neu konzipiert. Diese wurden Kriterien geleitet für die Durchführung in der Natur optimiert und anschließend in Form geeigneter Schulstunden für die Oberstufe in das Unterrichtskonzept eingebettet. Abschließend erfolgt die Evaluation von CHEMIE PUR. Dabei stellt sich die leitende Forschungsfrage, wie sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülern der Sekundarstufe II auswirkt. Der letzte Teilaspekt der Forschungsfrage bezieht sich darauf, in wie weit Lernende Chemie und Natur als Einheit wahrnehmen. Zur evidenzbasierten Klärung wurde eine quasi-experimentelle Evaluationsstudie mit zwei Vergleichsgruppen durchgeführt. Im Freiland wurde in der Experimentalgruppe das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR eingesetzt, während in der Kontrollgruppe vergleichbare Inhalte ohne naturnahen Kontext im Labor behandelt wurden. Die aus der Theorie angenommenen Effekte führten zu folgenden Hypothesen:

- (H1) Bei beiden Vergleichsgruppen steigt das chemiebezogene Fach- und Sachinteresse an.
- (H2) Die Einstellung zu Chemie und Natur verbessert sich in der Experimentalgruppe.
- (H3) Die Naturverbundenheit nimmt in der Experimentalgruppe zu.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sechs weitere Kapitel, deren zentrale Inhalte jeweils als Einführung und Überblick zusammengefasst werden. Zu

Beginn wird die theoretische Rahmung dargelegt, um die Forschungsfrage und die zugehörigen Hypothesen zu generieren. Im Anschluss wird das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR vorgestellt, dessen konzeptionellen Schwerpunkt Bezüge zur Unterrichtspraxis aufzeigen. In den weiteren Kapiteln wird die daran anknüpfende empirische Studie beschrieben, die einen grundlagenorientierten Beitrag zum aufgeführten Forschungsfeld liefert. Das methodische Vorgehen umfasst eine Vorstudie, Prepilottierung, Pilotierung sowie Hauptstudie. Dabei werden die Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung, geschildert sowie kritisch reflektiert. Die Ergebnisse werden in der gleichen Chronologie hypothesenorientiert dargestellt und im Kapitel der Diskussion literaturbasiert interpretiert. Abschließend erfolgt ein Ausblick, der anknüpfende Forschungsvorhaben aufzeigt.

2 Theoretische Rahmung

Im Folgenden wird die theoretische Rahmung zu „Outdoor Education“ und „Kontexten“ mit dem Unterrichtskonzept CHEMIE PUR verknüpft. Aus den empirischen Erkenntnissen zu den abhängigen Variablen „Interesse“, „Einstellung“ und „Naturverbundenheit“ werden Hypothesen abgeleitet und die übergeordnete Forschungsfrage legitimiert: Wie wirkt sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülern der Sekundarstufe II aus? Der letzte Teilaspekt der Forschungsfrage bezieht sich darauf, in wie weit Lernende Chemie und Natur als Einheit wahrnehmen. In Tabelle 1 werden die zentralen Annahmen in Bezug auf die fünf Konstrukte zusammengefasst. Abschließend werden in jedem Teilkapitel relevante Forschungslücken aufgezeigt und in Bezug zum Unterrichtskonzept CHEMIE PUR gesetzt.

Tabelle 1: Übersicht der theoretischen Rahmung zu Outdoor Education, Kontexten, Interesse, Einstellung und Umweltkompetenz. Die jeweiligen Literaturquellen sind in den folgenden Kapiteln angegeben.

Outdoor Education

- Gemäß der Attention Restoration Theory müssen in naturnaher Umgebung weniger stresserzeugende Stimuli verarbeitet werden, sodass mehr Aufmerksamkeit für kognitive Herausforderungen zur Verfügung steht.
- Lernende weisen im Freiland einen höheren Wissenszuwachs auf als im Klassenraum.
- Curricular verankerte Outdoor Education begünstigt eine positivere Umwelteinstellung.
- Curricular verankerte Outdoor Education bewirkt ein gesteigertes Interesse am Lernen.

Kontexte

- Es ist nicht eindeutig geklärt, ob Kontextorientierung zu größeren Lernleistungen führt.
- Die Einstellung gegenüber Naturwissenschaften verbessert sich durch Lernen im Kontext.
- Kontextorientiertes Lernen wird interessanter bewertet als „kontextfreies“ Lernen.
- Besondere Kontexte werden interessanter bewertet als alltägliche Kontexte.
- Kontexte mit persönlichem Bezug werden am interessantesten bewertet.

Interesse

- Interesse als multidimensionales Konstrukt ist durch die Person-Gegenstand-Theorie operationalisiert und gliedert sich in affektive Komponenten der emotionalen und wertbezogenen Valenz sowie eine kognitive Komponente als epistemischen Valenz.
- Catch-Faktoren, wie der Besuch eines außerschulischen Lernorts, Gruppenarbeit oder der Einsatz von digitalen Medien lösen aktuelles Interesse aus.
- Hold-Faktoren, wie handlungsorientierte, problembasierte und forschend-experimentelle Aktivitäten wirken positiv auf die Entwicklung von individuellem Interesse.
- Interesse korreliert mit dem Fähigkeitsselbstkonzept sowie mit der Lernleistung.

Einstellung

- Das affektive Konstrukt der Einstellung lässt sich in das Drei-Komponenten-Modell CAB einordnen, trägt zur Theorie des geplanten Verhaltens bei und kann durch Persuasionsprozesse nach dem Elaboration-Likelihood-Modell verändert werden.
- Lernende haben häufig eine positive Einstellung gegenüber Naturwissenschaften, die naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer Chemie und Physik sind jedoch zumeist negativ belegt.
- Kooperatives Arbeiten und der Besuch eines außerschulischen Lernorts können Einstellungen zur Wissenschaft Chemie und zum Unterrichtsfach verbessern.
- Die antagonistische Sichtweise von Chemie und Natur kann durch naturnahe Kontexte im Chemieunterricht bewusstgemacht werden.

Umweltkompetenz

- Das Umweltkompetenzmodell gliedert sich in die Konstrukte des Umweltwissens, der Umwelteinstellung und der Naturverbundenheit sowie des Umweltverhaltens, wobei die Naturverbundenheit stärkster Prädiktor für umweltbewusstes Verhalten ist.
 - Der Kontakt zur Natur und der Genuss des Naturaufenthaltes sind die wesentlichen Faktoren zur Ausbildung von Naturverbundenheit.
 - Mehrtägige Umweltbildungsprogramme mit handlungsorientierten Aktivitäten können die Naturverbundenheit verändern.
 - Naturwissenschaftliche, erkundende, ästhetische und ökologische Naturerfahrungen in authentischen Situationen führen zu einer ausgeprägten Naturverbundenheit.
-

2.1 Outdoor Education

In der evolutionsbiologischen Entwicklungsgeschichte der Menschheit kommt der Natur eine besondere Bedeutung zu. Die meiste Zeit war der Mensch unmittelbar der Natur ausgesetzt. Wird die phylogenetische Entwicklung in den Lebenszyklus eines 70 Jahre alten Menschen projiziert, hat dieser erst einen Tag seines gesamten Lebens in der technischen Zivilisation gelebt (Gebhard, 2013). Laut der Savannentheorie hat sich daraus ein angeborenes Bedürfnis entwickelt, Erfahrungen mit der Natur zu machen (Driver & Greene, 1977). Diese Erlebnisse können das grundlegende aber gegensätzliche Verlangen des Menschen nach Vertrautheit und Erforschung bedienen (Kaplan & Kaplan, 1989). Besonders Kinder und Jugendliche brauchen Kontakt zur wilden Natur (vgl. Österreicher & Prokop, 2006; Roeper, 2011; Weber, 2011; Trommer, 2012; Biermann & Bosse, 2013; Quartier, Kampmeier & Bardi, 2013;). Allerdings stehen ihnen in Bildungs- und Freizeitinstitutionen immer weniger offene, ungestaltete Räume zur Verfügung (Gebhard, 2013). Die Schule selbst ist daher eine Institution, die durch ihre räumliche Geschlossenheit den Prozess der Verhäuslichung mitgestaltet (Zinnecker, 1990), jedoch aber auch die kindliche Lebenswelt bewusst nach draußen verlagern kann. In einem Interview zu seinem Lebenswerk hat Martin Wagenschein – Begründer des genetisch-exemplarischen Unterrichts – dieses Spannungsfeld zusammengefasst:

Freilich, unsere Naturwissenschaft, wie sie in den Schulen vorkommt, vorgezeigt wird, hat in diesen Schulen keine Heimat, denn sie hat keine Natur. Sie kann keine Naturwissenschaft werden, weil sie in Betonklötzen stattfindet, in Labors mit Belehrungsapparaten und Büchern mit fettgedruckten Sätzen. Also eine Wissenschaft, in der von Natur überhaupt nichts zu merken ist. Ich meine ‚Natur‘ jetzt so, wie Kinder oder ‚einfache Leute‘ das Wort aufnehmen.

Müßte nicht eine beginnende Naturbetrachtung wenn nicht in der Natur, so doch an ihrem Rande stattfinden? Nur soviel: Waldwiese mit Bäumen, Felsen, Hügeln, Wasser (stehendes und strömendes), ein Schuppen mit allerlei ‚Zeug‘ (Material), auch Werkzeugen, schließlich ein Raum, in dem das, was draußen ausgeführt, ausprobiert wird, vorher geplant und nachher besprochen, aufgeschrieben, gelernt wird. – Eine Vision, ich weiß (Wagenschein, 1981, S: 169-170).

Prinzipien von Outdoor Education

Outdoor Education als Unterrichtsansatz wurde schon vor über 60 Jahren als „Outdoor Education is education *in, about and for* the outdoors.“ (Donaldson & Donaldson, 1958, S: 17) beworben und kann in einem breiten Spektrum angewendet werden: „This principle is applicable at all grade levels, kindergarten through graduate school; and to all subject matter areas, astronomy to zoology (. . .) whether the learning situation is thirty minutes in duration or extended over a five day period.“ (Hammerman, 1964, S: 44). Aktuell existiert keine einheitliche Definition zu Outdoor Education, wie durch die Fragezeichen in Abbildung 2 im Outdoor Education-Windrosenmodell angedeutet ist (Von Au, 2016). Vielmehr beschreibt der Begriff unterschiedliche Ansätze, beispielsweise aus der Sport- und Gesundheitsdidaktik, der angewandten Psychologie oder der Erlebnis- und Wildnispädagogik, die kein in sich geschlossenes Konzept, sondern eine Ideengruppe darstellen (ebd.).

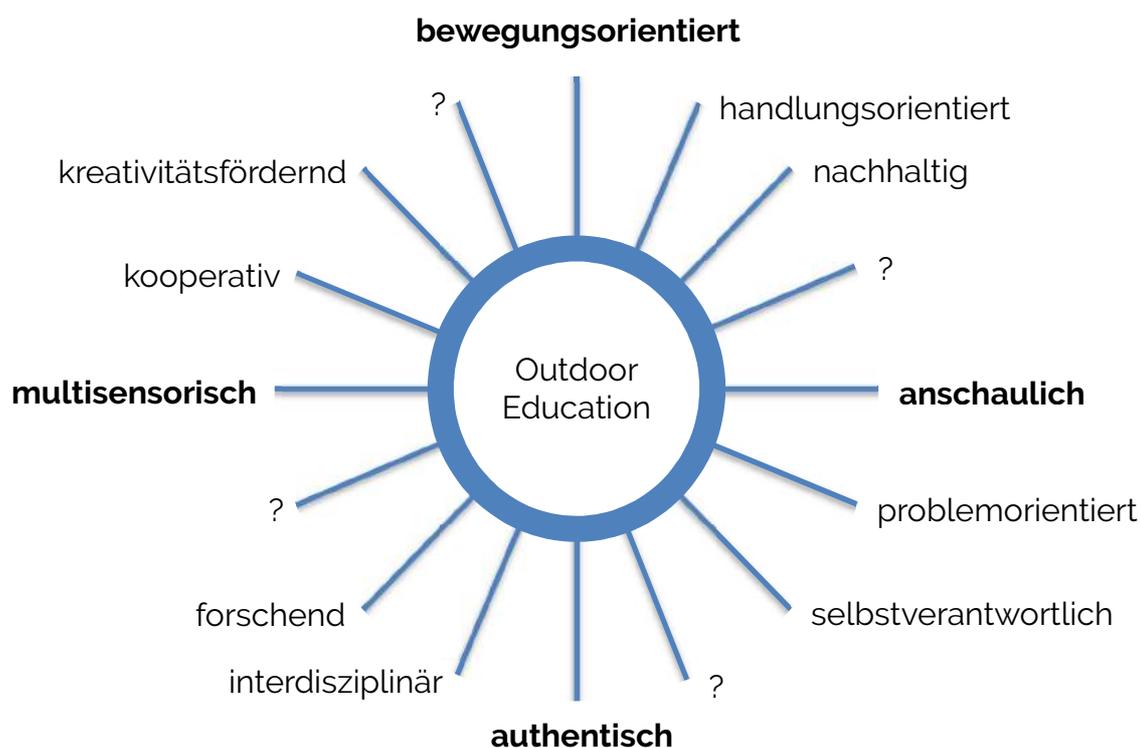


Abbildung 2: Outdoor Education-Windrosenmodell in Anlehnung an Von Au (2016).

Die Prinzipien von Outdoor Education umfassen praktische Beobachtungen in authentischen Situationen, wo Schüler über die Natur in der Natur, über die Gesellschaft in der Gesellschaft und über die lokale Umgebung in der lokalen Umgebung lernen (Jordet, 1998 zitiert nach Jordet, 2009). Dabei werden persönliche und unmittelbare Primärerfahrungen im direkten Kontakt mit Men-

schen oder Objekten gemacht, die ein Fundament für anschlussfähiges Wissen bilden sowie die Entwicklung von Werten und Einstellungen unterstützen können (Karpa, Lübbecke & Adam, 2015). Outdoor Education basiert auf sinnlichem Lernen (Rittelmeyer, 2013) und stellt Verbindungen zum handlungsorientierten Unterricht her, welcher Ganzheitlichkeit und Schüleraktivität betont (Jank & Meyer, 2014). Dafür wird zumeist ein sekundärer außerschulischer Lernort im Freiland aufgesucht, der im Gegensatz zu primären außerschulischen Lernorten didaktisch nicht gestaltet wurde (Sauerborn & Brühne, 2012). Die Naturerfahrungen durch Outdoor Education können nach Lude (2006) in zwölf verschiedene Dimensionen unterteilt werden. Für diese Arbeit am relevantesten erscheint die erkundende Dimension, bei der das Beobachten und Erforschen als fragende und nicht am Nutzen orientierte Grundhaltung im Vordergrund steht – zum Beispiel das Untersuchen von Tieren, Pflanzen und Natur (ebd.).

Diese Erkundungen in der Natur bringen für den Bildungsbereich zu berücksichtigende Hürden mit sich. Ein Review von Waite et al. (2015) zu Outdoor Education führt dazu die Reisekosten und Reisezeit, ein überfülltes Curriculum, zusätzliches Lehrpersonal und die mangelnden Lehrerfähigkeiten auf. Bei letztem sind neben der niedrigen Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrpersonen (Mannion, Fenwich & Lynch, 2013) auch die erhöhte fachliche Komplexität von Originalbegegnungen und der damit verbundenen notwendigen Elementarisierung relevant (Von Au, 2016). Beide Probleme lassen sich damit erklären, dass die universitäre Ausbildungsphase zu wenig auf die Anforderungssituationen für Freilandunterricht vorbereitet (Alisch, 2008). Auf Schülerseite müssen außerdem auf Ängste und Phobien, Vorerfahrungen und bevorzugte Lernarrangements geachtet werden (Dillon, Rickinson, Teamey, Morris, Choi, Sanders & Benefield, 2006). Um die Barrieren von Outdoor Education zu bewältigen, weisen Dillon, Morris, O'Donnell, Reid, Rickinson und Scott (2005) in einem finalen Forschungsreport unter anderem darauf hin, dass (1) die Intensität von Outdoor Education ausgebaut und routinemäßig in das Schuljahr eingebettet, (2) das Vertrauen und die Fähigkeiten von Lehrpersonen in Outdoor Education gestärkt sowie (3) Outdoor Education bei Schülern als sinnvolle Lerngelegenheit in Verbindung mit dem Unterricht gebracht werden sollte. Insbesondere für den letzten Punkt ist eine zielführende Vor- und Nachbereitung unabdingbar, da nur so die positiven Effekte von außerschulischen Lernorten langfristig erhalten bleiben (vgl. Engeln, 2004; Brandt, 2005; Scharfenberg, 2005; Guderian, 2007; Pawek, 2009; Weßnigk, 2012; Streller, 2015).

Forschung zu Outdoor Education

National wie global gibt es zahlreiche Forschungsprojekte und Konzepte zu Outdoor Education, die exemplarisch kurz vorgestellt werden. Eine umfassende Übersicht ist in Von Au und Gade (2016) zu finden. In Deutschland befasst sich beispielsweise die Arbeitsgruppe Sport- und Gesundheitsdidaktik der Technischen Universität München mit den Auswirkungen von Outdoor Education auf die Stress-Resilienz von Schülern (Dettweiler, Becker, Auestad, Simon & Kirsch, 2017). Aus umweltpsychologischer Sicht untersuchen die Arbeitsgruppen Didaktik der Biologie der Universität Bayreuth und Persönlichkeits- und Sozialpsychologie der Otto von Guericke Universität Magdeburg, wie durch Outdoor Education generiertes Umweltwissen das allgemeine Umweltverhalten beeinflusst (Liefländer, Bogner, Kibbe & Kaiser, 2015). Die Arbeitsgruppe Didaktik der Chemie an der Universität Siegen ermöglicht Outdoor Education anhand der Konzepte des Freilandlabors mit Experimentierfeld (FLEX), „natürlich Chemie! und Chemtrucking (Gröger et al., 2014). Eine Outdoor Education Datenbank der Arbeitsgruppe Didaktik der Geografie an der Martin-Luther-Universität in Halle-Wittenberg sammelt Methoden und Materialien für Exkursionen (Lindau, Thürkow, Jäger, Dette & Lindner, 2016). An der Pädagogischen Hochschule in Heidelberg wird Outdoor Education von der Arbeitsgruppe Biologie und ihre Didaktik schwerpunktmäßig mit Schulgartenarbeit (Jäkel, 2016) und von der Arbeitsgruppe Physische Geografie und ihre Didaktik mit digitalen Geomedien verknüpft (Kisser, Naumann & Siegmund, 2016). International werden beispielsweise in Schottland mehrere Studiengänge federführend von der Arbeitsgruppe Outdoor and Environmental Education der Universität Edinburgh angeboten, in denen Theorie und Richtlinien für die Praxis von Outdoor Education vermittelt werden (Beames et al., 2012). In den skandinavischen Ländern Norwegen, Schweden und Dänemark ist das Konzept der Udeskole flächendeckend etabliert, wo Outdoor Education eine regelmäßige und obligatorische Bildungsaktivität darstellt (Bentsen, 2016). In Dänemark werden aktuell im Projekt TEACHOUT der Universität Kopenhagen die Stärken und Schwächen von Udeskole erforscht, beispielsweise inwieweit dadurch die physische Fitness beeinflusst wird (Schneller, Bentsen, Nielsen, Brønd, Ried-Larsen, Mygind & Schipperijn, 2017). In der Schweiz im Fachbereich Natur, Mensch und Gesellschaft der Pädagogischen Hochschule Thurgau wird Bildung für nachhaltige Entwicklung am Beispiel des Klimawandels mit Outdoor Education verknüpft (Keller, Colberg & Imhof, 2015).

Den weltweiten Ansätzen im Bereich Outdoor Education liegen normative Wertvorstellungen zu Grunde, wie das Zitat von Professor Sir Tim Brighouse, ehemaliger Leiter für Bildung der Universität Keele und Schulkommissar für London nahelegt: „One lesson outdoors is worth seven lessons inside.“ (Brighouse zitiert nach May, Richardson & Banks, 1993, S: 2). Der Begriff Outdoor Education sollte jedoch nicht ideologisch überfrachtet, sondern von empirischen Ergebnissen gestützt werden (Von Au, 2016), die im Folgenden aufgeführt werden. Studien aus der Umweltpsychologie und naturwissenschaftlichen Fachdidaktik präsentieren empirische Evidenz, dass Naturkontakt dazu geeignet ist, Lernprozesse anzuregen. Kinder und junge Erwachsene sind zum einen konzentrierter nach einem 20-minütigen Spaziergang durch einen Park anstatt durch die Innenstadt (Taylor & Kuo, 2009), aber auch kreativer nach einem dreitägigen Ausflug ins Grüne (Atchley, Strayer & Atchley, 2012). Ein Erklärungsansatz dafür liefert die Attention Restoration Theory: In naturnaher Umgebung müssen weniger stresserzeugende Stimuli verarbeitet werden, sodass mehr Aufmerksamkeit für kognitive Herausforderungen zur Verfügung steht (Kaplan, 1995). Zudem werden positive Gefühle, wie Glücksempfinden (Bucher, 2009) und Handlungsmuster zum Beispiel Hilfsbereitschaft (Guéguen & Stefan, 2016) durch Naturkontakt ausgelöst. Weitere Studien belegen die positiven Wirkungen von Naturerfahrungen auf die physische und psychische Gesundheit, ebenso wie auf die soziale Entwicklung (Gebhard, 2013). Kinder und Jugendliche fordern diese Erfahrungen jedoch nicht nur in ihrer Freizeit, sondern auch im schulischen Alltag. In einer qualitativen Studie von Quint (1990) wurden von Schülern der siebten bis zehnten Jahrgangsstufe selbst gemalte Bilder ihrer Wunschschule ausgewertet: „Der Wunsch nach Grün, nach Blumen, Wasser, Tieren und Wildnis bleibt bei vielen Entwürfen nicht auf die Außenanlage beschränkt, sondern wird in Form von Dschungelräumen, Früchtezimmern und Riesenpflanzen in die Schulräume selbst mit hinein genommen.“ (Quint, 1990, S: 146).

In den letzten Jahrzehnten sind zahlreiche Reviews und Metastudien rund um curricular verankerte Outdoor Education publiziert worden (vgl. Cason & Gillis, 1994; Hattie et al., 1997; Rickinson, Dillon, Teamey, Morris, Choi, Sanders & Benefield, 2004; Fiennes, Oliver, Dickson, Escobar, Romans & Oliver, 2015; Scrutton & Beames, 2015; Waite et al., 2015; Becker et al., 2017). Ein Review identifizierte aus 7.830 Einzelstudien 13 Veröffentlichungen mit peer-review Verfahren, die auf einer Outdoor Education Intervention mit insgesamt 844 Schülern zwischen sieben und 24 Jahren über einen Zeitraum von mindestens zwei Monaten mit wöchentlich mindestens vier Stunden basieren (Becker et al.,

2017). Dabei zeigten sich physische, psychische, kognitive oder soziale Effekte von curricular verankerter Outdoor Education, beispielsweise ein verbessertes Selbstbewusstsein und Selbstwertgefühl, weniger psychische Krankheiten, erhöhte Lese- und Schreibfähigkeiten oder eine positivere Umwelteinstellung sowie ein verantwortungsvolleres Umweltverhalten (ebd.). Beim Vergleich der Effekte von englischen Waldschulen und dänischer Udeskole konnten anhand 39 Veröffentlichungen ähnliche Wirkungen festgestellt werden: Die Schüler entwickelten bessere Sprachfähigkeiten (z. B. größeres Vokabular), wiesen ein höheres Interesse und eine größere Motivation am Lernen auf, zeigten eine feinere Motorik und eine höhere Ausdauer sowie eine ausgeprägte Konzentration (Waite et al., 2015). Cason und Gillis (1994) quantifizierten in einer Metastudie 235 Effekte von Outdoor Education aus 43 Einzelstudien. Dabei zeigte sich ein kleiner Effekt ($d = 0.31$) nach den Outdoor Education Interventionen, der in Abhängigkeit des jeweiligen Programms und der analysierten abhängigen Variablen variierte (ebd.). Allerdings vergrößerten sich die Effekte signifikant, je länger die Intervention durchgeführt wurde ($r = 0.174$) und je jünger die beteiligten Probanden waren ($r = -0.18$) (ebd.). Zwischen unterschiedlichen Probandengruppen (straffällige, von sozial-emotionaler oder körperlich-motorischer Beeinträchtigung bedrohte Jugendliche) wurden keine signifikanten Unterschiede der Effekte von Outdoor Education aufgedeckt (ebd.). In einer größer angelegten Metastudie mit 1.728 Effekten aus 96 Einzelstudien konnten die meisten Ergebnisse repliziert werden: Nach Outdoor Education Interventionen ergab sich ein kleiner Effekt ($d = 0.35$), der sich bei Follow Up-Tests verkleinerte ($d = 0.17$) (Hattie et al., 1997). Im Gegensatz zur vorherigen Metastudie erhöhten sich jedoch die Effekte, je älter die beteiligten Probanden waren (ebd.). Dies bestätigte sich auch in der Kontrollgruppenstudie von Eaton (1998): Jeweils sechs Klassen ($n = 184$) wurden entweder draußen oder im Klassenzimmer in einer halbtägigen Intervention zur Ökologie von Bibern unterrichtet. Bei vergleichbarem Vorwissen beider Gruppen zeigten die Schüler der Outdoor-Experimentalgruppe im Post- und Follow Up-Test ein signifikant größeres Fachwissen – besonders bei höherem Alter – im Vergleich zu den Probanden der Kontrollgruppe (Post: $d = 0.28$; Follow Up: $d = 0.63$). Anknüpfend an diesem Hintergrund deckt Imhof (2016) auf, dass lediglich die Verlegung des Lernorts nach draußen keine Interaktionseffekte auf konative, kognitive und affektive Bereiche des Umweltbewusstseins hat: Sowohl die Probanden der Indoor- als auch der Outdoor-Experimentalgruppe wiesen bei gleichen Ausgangsbedingungen nach einer Projektwoche zum Thema Klimawandel normiert an einer Kontrollgruppe

ohne Intervention eine im gleichen Maß gesteigerte kurzfristige Handlungsmotivation und ein im gleichen Maß höheres langfristiges Umweltwissen, jedoch keine Veränderung der Umwelteinstellung auf (ebd.). Bei Lehramtsstudierenden, die im Sommersemester ein Seminar mit mindestens 50 % Freilandanteil besuchten, zeichnet sich ein ähnliches Bild ab: ihr Naturbezug, ihre Wirksamkeitserwartung und Kontrollüberzeugungen waren kaum veränderbar, nur ihre Selbstwirksamkeit stieg signifikant an (Weusmann, 2013). Folglich sind zusätzliche didaktische Maßnahmen notwendig, damit Outdoor Education die gewünschte Wirkung erzielen kann. Für den Bereich der Umweltbildungsprogramme haben dazu Stern et al. (2014) in ihrer Metastudie über 66 Artikel unter anderem handlungs-, erlebnis- und schülerorientierte Aktivitäten beispielsweise in Form von authentischer, experimenteller und problembasierter Projektarbeit mit selbständiger Datenaufnahme im Freiland in kooperativer und aktiver Beteiligung als effektive Lernsettings identifiziert.

Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR basiert auf diesen theoretischen und empirischen Erkenntnissen und leistet einen Beitrag zum Forschungsdesiderat wie und warum Lernen in Outdoor Education Arrangements funktioniert und welches Verhältnis dabei die Lernumgebung von Freiland und Klassenraum spielt (Rickinson et al., 2004). Konkret fordern Becker et al. (2017) mehr längsschnittliche Kontrollgruppenstudien mit einer möglichst langen Intervention und einer höheren Stichprobengröße als quasi-experimentelles Design. Bisher wird Outdoor Education in Deutschland im internationalen Vergleich – vor allem in der Sekundarstufe – wenig Aufmerksamkeit geschenkt (Von Au, 2016). Für das Unterrichtsfach Chemie gilt es daher sich das Potential der lokalen Schulumgebung zu Nutze zu machen nach dem Motto: „Put down your test tube and take to the streets!“ (Borrows, 2006).

2.2 Kontexte

Kontextbasiertes Lernen wurde im bildungstheoretischen Diskurs erstmalig in den 1980er Jahren als Rahmung eines Lerninhalts mit Anwendungsbezug aufgegriffen (Fensham, 2009). Kontextualisierung ist jedoch viel ursprünglicher, wenn dabei der äußere Rahmen der Lernumgebung mit einbezogen wird; beispielsweise das Kinderzimmer eines Kleinkinds, das Lernen im beruflichen Alltag oder eine schulische Exkursion im Freiland (Parchmann & Kuhn, 2018). Die Fokussierung des Kontextbegriffs auf den inhaltlichen Bereich wird eher bei Aufgabenstellungen herangezogen und als Mikrokontext bezeichnet, während die gröbere äußere Rahmung einer möglichst reichhaltigen, authentischen Lernumgebung als Makrokontext anzusehen ist (ebd.). Das Projekt Chemie im Kontext beispielsweise setzt verstärkt auf Mikrokontexte und das Projekt Physik im Kontext verwendet schwerpunktmäßig Makrokontexte. In der Unterrichtspraxis wirken jedoch beide Perspektiven zusammen (Gilbert, 2006). Outdoor Education stellt folglich einen Makrokontext in Form einer spezifischen Lernumgebung dar. Anhand dieser kurzen Ausführung wird bereits deutlich, dass es keine einheitliche Definition zum Begriff Kontext gibt (Duranti & Goodwin, 1992; Podschuweit & Bernholt, 2018). Im Folgenden werden daher relevante theoretische Aspekte zu Kontexten zusammengeführt.

Prinzipien von Kontextorientierung

Der sprachliche Ursprung des Worts „kontextualisieren“ stammt aus dem Lateinischen („contexere“) und bedeutet „etwas verknüpfen“. Ausgehend von der Theorie des Konstruktivismus basiert Lernen auf Vorerfahrungen, wobei neues Wissen aktiv konstruiert und mit dem jeweiligen Lernkontext verknüpft wird (Reinmann & Mandl, 2006; Reich, 2012). Dadurch ist jeder Lernprozess in einen situativen Kontext eingebettet (situated cognition), wobei erworbenes Wissen mit einer spezifischen Situation verankert wird (Parchmann & Kuhn, 2018). Diese Form des situierten Lernens wird dem anchored instruction Ansatz zugeordnet. Dabei werden realistische und motivierende Kontexte mit authentischen, bedeutsamen und herausfordernden Problemen in einer Lehr-Lern-Situationen verbunden, die mittels Ankermedien, wie beispielsweise Zeitungsartikel oder Kurzfilme, eingeführt werden (Kuhn & Müller, 2014).

Nach Gilbert (2006) können Kontexte in vier Modelle unterteilt werden:

(1) *Kontexte als direkte Anwendung von Konzepten*

Hierbei steht das abstrakte Konzept im Fokus, das abschließend mit einem Anwendungsbeispiel belegt wird. Beispielsweise erfolgt nach einer fachlichen Einheit zur Farbstoffchemie der Übertrag auf die ökologische Funktion von Naturfarbstoffen.

(2) *Kontexte als Wechselspiel zwischen Konzepten und Anwendungen*

Der Kontext wird durch die Gegenüberstellung von Konzept und Anwendung gebildet. Diese wechselseitige Beeinflussung findet sich im größeren Maßstab in der Science-Technology-Society Bewegung wieder.

(3) *Kontexte, die durch eigene Gedankenprozesse entstehen*

Dieses Kontextmodell umfasst die Situation, deren gedankliche Transformation und dessen Transfer, sodass die persönliche Rolle des Lernenden bei der Verknüpfung von Konzept und Anwendung berücksichtigt wird.

(4) *Kontexte als soziale Umstände*

Der Kontext ergibt sich durch aktuelle gesellschaftliche und kulturelle und nicht unbedingt durch wissenschaftliche Fragestellungen. Dabei werden zum Beispiel technologische Entwicklungen und deren Auswirkungen auf die Bevölkerung in den Blick genommen oder aber Herausforderungen wie der Klimawandel, gesunde Ernährung und nachhaltige Energieversorgung thematisiert.

Besonders dem vierten Modell wird großes Potential beigemessen, da dieses am besten die Kriterien von erfolgreicher Kontextorientierung im Chemieunterricht aufgreift (ebd.). Eine weitere Klassifizierung ziehen Barnett und Ceci (2002) zur Bewertung des Transfers von Inhalten und Kontexten heran:

(1) *Inhaltsdimension: Was wird übertragen?*

- a) „Erlernte Fähigkeit“ (z. B. handelt es sich beim Transfer um ein Verfahren oder ein Prinzip?)
- b) „Verbesserung der Leistung“ (z. B. wird schneller oder genauer gearbeitet?)
- c) „Kognitive Forderung“ (z. B. wird eine Aufgabe lediglich ausgeführt oder muss ein Problem erkannt, gelöst und erklärt werden?)

(2) *Kontextdimension: Von wo nach wo wird wann übertragen?*

- a) „Wissensdomäne“ (z. B. Transfer eines chemischen Kontexts in einen künstlerischen Kontext)
- b) „Physischer Kontext“ (z. B. Transfer eines schulischen Kontexts in einen Kontext in der Freizeit)

- c) „Funktionaler Kontext“ (z. B. Transfer eines akademischen Kontexts in einen spielerischen Kontext)
- d) „Sozialer Kontext“ (z. B. Transfer eines persönlichen Kontexts in einen gesellschaftlichen Kontext)
- e) „Modalität“ (z. B. Transfer eines theoretischen Kontexts in einen praktischen Kontext)
- f) „Zeitlicher Kontext“ (z. B. Transfer am nächsten Tag oder Jahre später)

Anhand der beiden Ansätze von Gilbert (2006) sowie Barnett und Ceci (2002) wird deutlich mit welcher unterschiedlichem Fokus Kontexte strukturiert werden können. Finkelstein (2005) führt daher hierarchische Kontextebenen ein, die sich in die soziokulturelle Rahmung, die jeweilige Lernsituation und die spezifische Aufgabe gliedern, bei der die Lernenden mit den jeweiligen Konzepten interagieren.

Die Basis von Lernen im Kontext stellen Ansätze dar, die das Unterrichtsfach mit der Gesellschaft verknüpfen. Dabei steht der Bildungsbegriff von Klafki (1996) im Fokus, wo epochal typische Schlüsselprobleme, wie Technikfolgen, Umwelt oder Frieden aufgegriffen werden. Die sogenannte Science-Technology-Society Bewegung (STS) ist eine kontextorientierte Arbeitsrichtung der Naturwissenschafts- und Technikdidaktik, die Zusammenhänge von Naturwissenschaften und Technik mit Gesellschaft und Kultur aufzeigt (Parchmann & Kuhn, 2018). Die eingesetzten Kontexte umfassen nach Ziman (1994) Anwendungen der Naturwissenschaft in der Lebenswelt der Lernenden („relevance“), berufsvorbereitende Aspekte („vocational“), fachübergreifende oder fächerverbindende Aspekte („transdisciplinary approach“), historische Aspekte („historical“), wissenschaftstheoretische Aspekte („philosophical“), soziologische Aspekte („sociological“) oder gesellschaftlich relevante Problemstellungen („problematic“). Die Kontextorientierung nach STS war Vorreiter des Scientific-Literacy Ansatzes, der naturwissenschaftliche Grundbildung als Bedingung für kritisch reflektierte gesellschaftliche Teilhabe formuliert und dem große Bedeutung in der internationalen Bildungsdebatte zukommt. Aus STS mündeten ebenfalls die Ansätze von socio-scientific issues (SSI) oder responsible research and innovation (RRI), deren Schwerpunkte auf dem kontextorientierten Erwerb und deren Entwicklung von fachwissenschaftlichen Inhalten liegen (Parchmann & Kuhn, 2018). Zusammengefasst wird der Begriff Kontext in Anlehnung an Van Vorst, Fechner und Sumfleth (2018) als Darstellung einer Situation, eines Gegenstands oder eines Ereignisses aus der Lebenswelt der Lernenden definiert, für deren Verständnis fachliche Inhalte notwendig sind (Klassen, 2006).

Hürden von Lernen mit Kontexten betreffen insbesondere den Transfer des situierten Wissens (Parchmann & Kuhn, 2018). Situiert konstruiertes Wissen beeinflusst einen conceptual change (Stark, 2003), weshalb die Übertragbarkeit auf einen neuen Kontext erschwert ist (Gilbert, 2006). Allerdings kann diese Herausforderung auch für eine De- und Rekontextualisierung aufgegriffen werden, um fragmentiertes Wissen bei Lernenden zu aktivieren, intensiver zu vernetzen und nachhaltig zu unterstützen (Parchmann & Kuhn, 2018). Im Sinne der Theorie zur kognitiven Belastung (vgl. Kapitel 3 Punkt (2)) können die zusätzlichen Informationen durch den Kontext allerdings auch vom eigentlichen Inhalt ablenken und so Lernzuwachs verhindern (Podschuweit & Bernholt, 2018). Daher ist es notwendig einen für die Lerngruppe aktuell oder zukünftig relevanten Kontext auszuwählen (Bennett et al., 2007). Für die Sekundarstufe I bieten sich Alltagskontexte an, während in der Sekundarstufe II mit Blick auf die Berufsorientierung oftmals forschungs- und gesellschaftsrelevante Kontexte eingesetzt werden (Parchmann & Kuhn, 2018). Jedoch mangelt es Lehrpersonen an Wissen und Erfahrungen zu Lernen im Kontext, wie das Review über 34 empirische Studien von Ültay und Çalık (2012) aufzeigt.

Kontextforschung

In der Kontextforschung betrachten empirische Untersuchungen häufig kognitive und affektive abhängige Variablen, wie Wissenserwerb, Einstellungsänderung und Interessenszuwachs, deren Ergebnisse im Folgenden vorgestellt werden. Dabei wird entweder die Wirkung eines größeren Konzepts ohne Rückschlussmöglichkeiten auf einzelne Aspekte oder die Variation von spezifischen Faktoren in experimentellen Designs überprüft (Parchmann & Kuhn, 2018).

Nentwig und Waddington (2005) geben einen Überblick über die Vielzahl an Konzepten rundum Lernen im Kontext, die in den letzten Jahrzehnten global und national ins Leben gerufen worden sind. PLON ist ein niederländisches Projekt, dass von 1972 bis 1986 ein STS Curriculum für den Physikunterricht der 13- bis 17-Jährigen entwickelt hat (Kortland, 2005). Im US-amerikanischen Modell Chemistry in the Community (ChemCom) wird für Lernende der High-School ein einjähriger Einführungskurs angeboten, der die chemiebezogenen Bestandteile von sieben aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen thematisiert (Ware & Tinnesand, 2005). Der englische Salters Ansatz für die Fächer Naturwissenschaften, Biologie, Chemie und Physik geht von Kontexten und Anwendungsbezügen aus, um elf- bis 18-Jährigen naturwissenschaftliche Prinzipien näher zu bringen (Bennett, Holman, Lubben, Nicolson &

Otter, 2005). In der vorliegenden Arbeit wird das deutsche Konzept von Chemie im Kontext (ChiK) aufgegriffen (Demuth et al., 2008): Ausgehend von Schülervorstellungen zeigt ein lebensweltlicher Kontext die Bedeutung der Wissenschaft Chemie für das tägliche Leben auf. Daran werden chemische Fachinhalte erarbeitet und auf zugrundeliegende Basiskonzepte der naturwissenschaftlichen Bildungsstandards übertragen. Ziel von Chemie im Kontext ist es situiertes Wissen zu vermitteln und gleichzeitig das Interesse am Schulfach zu erzeugen und über einen längeren Zeitraum aufrecht zu erhalten.

Die Metaanalyse von Bennett et al. (2007) aggregiert 17 aus rund 2.500 Studien, die ein reliabel und valides methodisches Vorgehen unter Berücksichtigung einer Kontrollgruppe vorweisen und die Einstellung zu sowie das Verständnis von Naturwissenschaften bei elf- bis 18-Jährigen erfassen. Hinsichtlich des Fachwissens wurde in einjährigen und fünfjährigen kontextorientierten Projekten gezeigt, dass die positive Entwicklung mit mittleren und großen Effekten ($d = 0.63$ und 1.52) vergleichbar mit dem Wissenserwerb bei herkömmlichen Unterrichtskonzepten ist (ebd.). Einschränkend sei angemerkt, dass relevante Kovariablen, wie kognitive Fähigkeiten der Lernenden oder die Performance der verschiedenen Lehrpersonen nicht berücksichtigt wurden. Kuhn und Müller (2014) deckten nach einer dreiwöchigen Intervention von insgesamt sechs Schulstunden auf, dass Lernende anhand des anchored instruction Ansatzes basierend auf Problemen aus Zeitungsartikeln mit einem großen Effekt mehr Fachwissen aufbauten ($\omega^2 = 0.20$) und übertragen konnten ($\omega^2 = 0.14$), als Lernende, die zu den identischen Inhalten mit Textbüchern arbeiteten. In einer gezielten Studie von Fechner (2009) konnte nach einer Intervention über den Zeitraum von fünf Schulstunden in einer Woche mit kleinen bis mittleren Effekten nachgewiesen werden, dass Lernende, die mit alltäglichen Kontexten gearbeitet haben, ihr erlangtes Fachwissen besser wiedergeben, vernetzen und in unbekanntem alltäglichen Kontexten einsetzen konnten ($\eta_p^2 = 0.02$ bis 0.08), als Lernende, die mit Laborkontexten konfrontiert waren. Allerdings gab es keine Effekte beim Übertrag des Wissens auf unbekannte Laborkontexte (ebd.). Die Anwendung von Wissen in einem neuen Kontext wird erleichtert, wenn Lernende zuvor vermehrt unterschiedlichen anstatt einheitlichen Kontexten ausgesetzt waren (Podschuweit & Bernholt, 2018). Kölbach und Sumfleth (2013) konnten in einer vergleichbaren Studie zu Fechner (2009) jedoch keine signifikanten Unterschiede nach einer Intervention von zwei Doppelstunden feststellen und Habig, van Vorst und Sumfleth

(2018) identifizierten nach drei Doppelstunden invariante Effekte des Lernzuwachs. Zwar deutet sich an, dass mit zunehmender Intensität der Intervention der Effekt von kontextorientiertem Lernen auf das Fachwissen ansteigt, jedoch können keine eindeutigen Schlussfolgerungen abgeleitet werden (Podschuweit & Bernholt, 2018). Das Review von Ültay und Çalik (2012) verzeichnet ebenfalls unterschiedliche Ergebnisse und suggeriert zudem, dass Kontextorientierung bei leistungsschwachen Lernenden nicht zu einer Überforderung führt, sondern, im Gegenteil, diese mehr davon profitieren als Lernende mit besseren Noten. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass nicht eindeutig geklärt ist, ob Kontextorientierung zu höheren Lernleistungen führt (Taasobshirazi & Carr, 2008).

In der fachdidaktischen Forschung herrscht einheitlicher Konsens über die Wirkung von Lernen im Kontext auf die Einstellung in den naturwissenschaftlichen Fächern (Bennett et al., 2007). Lernende schätzen durch Kontextorientierung das Fach Chemie relevanter für ihr Leben ein (Ültay & Çalik, 2012). Kontextbasierte Unterrichtsstunden fördern mit einem großen Effekt ($d = 0.67$) eine positivere Einstellung zur Wissenschaft Chemie und minimieren die Kluft der Einstellung zwischen Mädchen und Jungen. (Bennett et al., 2007). Diese Genderneutralität wurde auch in den PISA Studien aufgedeckt (Fensham, 2009) und konnte von Kuhn und Müller (2014) repliziert werden.

Kontexte weisen zudem einen interessensfördernden Einfluss auf. Die theoretische Rahmung zu Interesse findet sich im darauffolgenden Kapitel 2.3. Fechner (2009) konnte in ihrer Kontrollgruppenstudie einen mittleren Effekt ($\eta_p^2 = 0.08$) zugunsten von kontextorientierten Interaktionsboxen nachweisen, welcher von Kölbach und Sumfleth (2013) bei Lernen im Kontext mit Lösungsbeispielen bestätigt wurde ($\eta_p^2 = 0.07$). Beim Einsatz von problembasierten Zeitungsartikeln deckten Kuhn und Müller (2014) einen großen Effekt auf die allgemeine Motivation sowie auf mehrere Subskalen auf ($\omega^2 = 0.52$). Allerdings ist Kontextualisierung nicht per se interessensfördernd, sondern wird durch themenspezifisches Vorwissen moderiert (Fechner, 2009). Die Studie von Bathgate, Schunn und Correnti (2014) verdeutlicht, dass die Motivation bei elf bis zwölf Jährigen am stärksten vom jeweils gewählten Kontext abhängt: Übergeordnete Disziplinen, wie Geowissenschaften können zwar unbeliebt sein, jedoch dieser Domäne zugeordnete spezifische Themen, wie Ozeane als interessant bewertet werden. Themenübergreifend strukturieren Van Vorst, Dorschu, Fechner, Kauertz, Krabbe und Sumfleth (2015) Kontextmerkmale anhand ihrer Authentizität, gegliedert in Komplexität und Darstellungs-

form sowie ihrer Bekanntheit, die durch die Aktualität und die gegensätzlichen Bereiche des Alltagsbezugs oder der Besonderheit charakterisiert sind (vgl. Abbildung 3). Van Vorst (2013) hat im Rahmen ihrer Dissertation Kontexte zu den Bereichen Natur, Freizeit und Verkehrswesen entwickelt, die sich gemäß ihrer Bekanntheit in den Kategorien Alltagsbezug, Besonderheit und Aktualität unterscheiden. Der Bombardierkäfer ist beispielsweise ein außergewöhnlicher, naturnaher Kontext ohne Aktualität, während im Winter der Weihnachtsbaum ein naturnaher, alltäglicher und aktueller Kontext darstellt. Mädchen sind am Thema Natur mit kleinen Effekten ($d = 0.39$) interessierter als Jungen (ebd.) Holstermann und Bögeholz (2007) deckten diesen geschlechtsspezifischen Unterschied des Interesses an Naturphänomenen zuvor bereits auf. Bezogen auf die Kontextmerkmale weisen Lernende mit mittleren und großen Effekten ($\eta^2 = 0.07$ bis 0.22) ein höheres Interesse an besonderen sowie an aktuellen, besonderen Kontexten als an alltäglichen oder aktuellen, alltäglichen Kontexten auf (Van Vorst et al., 2018).

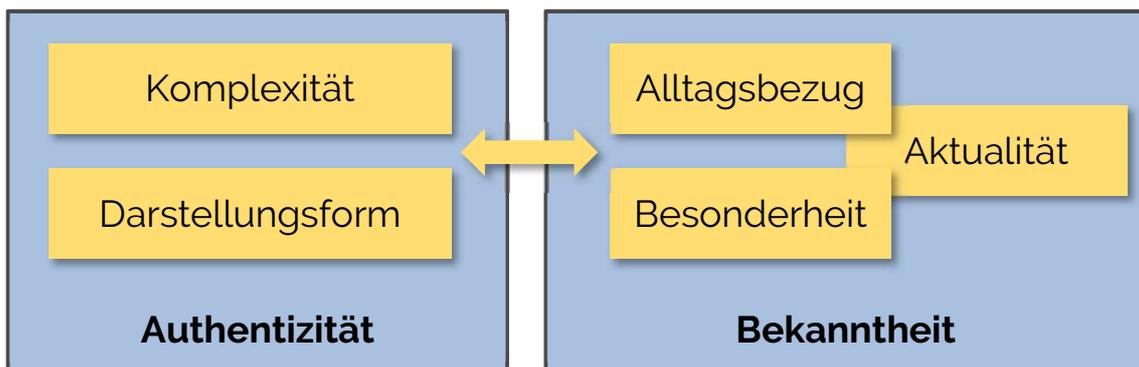


Abbildung 3: Theoretische Modellierung von Kontextmerkmalen in Anlehnung an Van Vorst et al. (2018).

Werden die Lernenden nun aufgrund ihres unterschiedlichen Vorwissens sowie ihres individuellen Fach- und Sachinteresses eingeteilt, stellen Habig et al. (2018) fest, dass bei hohen Ausprägungen beider Variablen zunehmend außergewöhnliche Kontexte interessanter bewertet werden, während bei niedrigen Ausprägungen alltagsbezogene Kontexte bevorzugt werden (Varianzaufklärung 14,6 %, $b = 0.23$). Im ersten Fall könnte der unbekannte Kontext als Herausforderung gesehen werden, um das eigene Wissen zu erweitern. Der alltägliche Kontext könnte im zweiten Fall einfacher als relevant für das eigene Leben eingeschätzt werden, sodass die Beschäftigung mit dem Fachinhalt, auch im Hinblick auf die kognitive Belastung, leichter fällt (ebd.). Kontexte, die einen persönlichen Bezug zeigen, werden zu Beginn der Sekun-

darstufe I mit kleinen und mittleren Effekten ($d = 0.39$ bis 0.90) als interessanter eingestuft als gesellschaftliche oder berufsbezogene Kontexte (Habig, Blankenburg, van Vorst, Fechner, Parchmann & Sumfleth, 2018). In einer qualitativen Studie von Bromann und Parchmann (2014) wurde die Wichtigkeit von persönlichen Kontexten auch in der Sekundarstufe II verdeutlicht: Bei kontextorientierten Problemlöseprozessen nutzen die Probanden bei ihren Antworten über fünf Kontexte hinweg am häufigsten persönliche Bezüge und nur vereinzelt gesellschaftliche oder berufliche Bezüge.

Für die schulische Praxis – vor allem für die Sekundarstufe II – gibt es zahlreiche Vorschläge zu naturnahen Kontexten. Mehrere Themenhefte der Zeitschrift „Naturwissenschaften im Unterricht Chemie“ bedienen Schwerpunkte, wie „Naturstoffe im Chemieunterricht“ (Sommer, Venke & Pfeifer, 2004), „Natur und Chemie“ (Gröger & Sieve, 2014) oder „Chemie in biologischen Kontexten“ (Kremer & Sieve, 2018). Weiterhin sind bereits eine Vielzahl an Schulexperimenten mit Naturmaterialien in Fachbüchern veröffentlicht, beispielsweise mit den Titeln „Botanische Versuche und Beobachtungen mit einfachen Mitteln“ (Molisch & Dobat, 1979), „Kleine botanische Experimente“ (Stein-ecke, Meyer & Pohl-Apel, 2007), „Chemie für alle Jahreszeiten. Einfach Experimente mit pflanzlichen Naturstoffen.“ (Schwedt, 2007) und „Handbuch der experimentellen Chemie Sekundarbereich II Band 11/I Biochemie I, Naturstoffe“ (Glöckner, Jansen & Weissenhorn, 2013). Auch konzeptionell orientierte Dissertationen widmen sich diesem Themengebiet, so zum Beispiel „...natürlich Chemie!“ Chemieunterricht in naturnaher Umgebung und naturbezogenen Kontexten. Ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufen I und II“ (Krischer, 2015) oder „Entwicklung und Erprobung von Experimentalkonzepten für den Chemieunterricht mit biologischem Bezug“ (Geyer, 2011). Selbst das Kerncurriculum Chemie fordert explizit naturnahe Kontexte:

Stoffe und Prozesse in der Natur

Neben der Rohstoffquelle „Natur“ steht hier vor allem die immense Bedeutung von natürlichen Prozessen für biochemische Stoffwechselprozesse im Vordergrund. Auch der Bereich Umweltchemie/Umweltschutz kann hier subsumiert werden, er stellt eine Nahtstelle zwischen Natur und Technik dar. Ein nachhaltiger Umweltschutz, der die natürlichen Ressourcen schont und Umweltbelastung vermeidet, ist Grundvoraussetzung für ein gesundes soweit möglich Leben. Im weiteren Sinne gehören hierzu auch Untersuchungen über Ursachen und

Wirkungen globaler Klimaänderungen, die Erforschung von Schadstoffausbreitungen sowie die Bewertung von Umwelteinflüssen für die Gesundheit und die daraus abgeleiteten Maßnahmen zur Schadensbegrenzung und -vermeidung (Melle, Parchmann & Sumfleth, 2004a, S: 163).

Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR stellt diese naturnahen Kontexte in den Mittelpunkt und greift die Implikationen von kontextbasiertem Lernen für die schulische Praxis auf: Handlungs- und schülerorientierte Aktivitäten beispielsweise in Form von experimenteller und kooperativer Projektarbeit können die derzeitigen Ansätze gewinnbringend erweitern (Ültay & Çalık, 2012). CHEMIE PUR greift auf die theoretischen Erkenntnisse in diesem Kapitel zurück und leistet einen empirischen Beitrag zur aufgeführten Forschungslücke von Bennett et al. (2007): „(. . .) context-based/STS approaches incorporate a wide range of activities, some of which are not traditionally associated with science teaching, and the effects of particular types of activity (. . .) would be worth exploring in more detail.“ (S: 368).

2.3 Interesse

Normativ gesetztes Ziel von schulischem Unterricht ist es bei Lernenden Interesse zu fördern (Schiefele & Streblow, 2006) sowie die Entwicklung von Nichtinteresse zu vermeiden (Vogt, 2007). Ein ausgeprägtes Interesse ist der Motor für lebenslanges Streben nach Erkenntnis:

What prompts people to spend their lifetime examining scientific phenomena? Researchers' typical answer to this question is: we want to understand the objects we examine, we want to know how things work—it interests us. This interest in knowledge is the driving force behind research (Krapp & Prenzel, 2011, S: 27).

Interesse gilt als wichtiges Kriterium für erfolgreiches Lernen und ist deshalb häufig Gegenstand fachdidaktischer Studien (Blankenburg & Scheerso, 2018). Die Wurzeln der Interessensforschung gehen zurück bis ins 16. Jahrhundert auf Johann Amos Comenius (1592-1670) und Jean Jaques Rousseau (1712-1778) (Krapp & Prenzel, 2011). Johann Friedrich Herbart (1776-1841) bezog Interesse als zentrale Variable in die erste allgemeine Lerntheorie mit ein, die von John Dewey (1859-1952) weiterentwickelt wurde (ebd.). Benachbarte Ansätze zur Aufmerksamkeit, Neugier oder intrinsischen Motivation griffen diese theoretische Rahmung auf, allerdings lag keine einheitliche Operationalisierung des Interessenskonstrukts vor (ebd.). Auch heute gibt es noch unterschiedliche Auffassungen, beispielsweise in Verbindung mit dem Konstrukt der Einstellung. Während Sjøberg und Schreiner (2010) im Rahmen der ROSE Studie die Begriffe synonym verwenden, interpretieren Osborne, Simon und Collins (2003) Interesse als eine spezifische Art der Einstellung. In der vorliegenden Arbeit wird Interesse klar von Einstellung getrennt (vgl. Kapitel 2.4), da beispielsweise eine negative Einstellung gegenüber einem Thema, wie Kernenergie, dennoch mit einem ausgeprägten Interesse an den Inhalten einhergehen kann (Blankenburg & Scheerso, 2018). Aufgrund der Vielfältigkeit des Interessenskonstrukts gilt es im Folgenden zunächst die verschiedenen Facetten näher zu beleuchten.

Struktur und Entwicklung von Interesse

Die am häufigsten herangezogene und im pädagogisch-psychologischen Feld breit anerkannte Interessentheorie wurde von Krapp (1992) aufgestellt. Die Person-Gegenstands-Theorie definiert Interesse als eine dynamische Beziehung zwischen einer Person und einem Erfahrungs- oder Wissensbereich (ebd.). Interesse ist dabei nicht gleichzusetzen mit Spaß am Lernen, was auch

zahlreiche andere Gründe haben kann (Krapp & Prenzel, 2011). Die daraus abgeleitete Inhaltsspezifität von Interesse kann treffend in einem Satz formuliert werden: „Interest always has an ‘object’: a person must be interested in something.“ (Gardner, 1998, S: 43). Interesse als multidimensionales Konstrukt ist gekennzeichnet durch die affektiven Komponenten der emotionalen Valenz (positive Gefühlslage: Welche Gefühle verbinde ich mit diesem Gegenstand?) und der wertbezogenen Valenz (persönliche Wertschätzung: Was bedeutet mir dieser Gegenstand?) sowie einer kognitiven Komponente als epistemischen Valenz (ausdifferenziertes Wissen: Ich möchte mehr über diesen Gegenstand wissen!) (Schiefele, 1996; Hidi, Renninger & Krapp, 2004). Durch die Multidimensionalität kann Interesse von anderen motivationalen Konstrukten, zum Beispiel Zielorientierungen, Selbstkonzept, Motiven oder Bedürfnissen abgegrenzt werden (Blankenburg & Scheersoi, 2018). Diese werden wie Interesse ebenfalls als langfristiger Hintergrund von aktueller Motivation betrachtet (Schiefele, 2009).

Im Zuge von Schülerinteressen wird in der Fachdidaktik häufig von bedeutsamen Sachverhalten und Kontexten sowie relevanten Inhalten gesprochen (Barke, Harsch, Kröger & Marohn, 2018). Das Review von Stuckey, Hofstein, Mamlok-Naaman und Eilks (2013) versucht den Relevanzbegriff erstmalig systematisch in einem Modell zu differenzieren und für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu definieren. In Anlehnung an Van Vorst et al. (2015) wird in der vorliegenden Arbeit Relevanz nicht als unabhängiges Kontextmerkmal herangezogen (vgl. Abbildung 3 Kapitel 2.2), sondern als abhängige Variable gleichgesetzt mit der wertbezogenen Valenz des Interesses.

Ferner wird Interesse in eine aktuelle, situationale Form und eine dispositionale, individuelle Form gegliedert (Krapp, 1992). Bei ersterem ist die ausgelöste Interessantheit an eine spezifische Situation geknüpft, beispielsweise durch besondere Eigenschaften einer Lernumgebung (Blankenburg & Scheersoi, 2018). Zweites hingegen bezeichnet einen andauernden Zustand als stabiles Persönlichkeitsmerkmal (ebd.). Aus der Perspektive von praktischer Unterrichtsgestaltung ist vor allem die Förderung des situationalen Interesses bedeutsam, da die Lehrperson nur einen geringen Einfluss auf das bestehende individuelle Interesse der Schüler hat (Willems, 2018). Bei dispositionalem, individuellen Interesse wird im Bereich der Unterrichtsforschung zwischen Fachinteresse (z. B. am Chemieunterricht) und Sachinteresse (z. B. an der Disziplin Chemie) unterschieden (Gräber, 1992): Während Fachinteresse sich allgemein auf schulischen Unterricht in einem Fach bezieht, kann

das Sachinteresse an der Disziplin selbst wiederum in die Domänen der Inhalte, Kontexte und Tätigkeiten differenziert werden (Hoffmann, Häußler & Peters-Haft, 1997; Hoffmann, Häußler & Lehrke 1998). Eine noch feinere Diagnostik von dispositionalen, individuellen Schülerinteressen ermöglicht das RIASEC+N-Modell (Blankenburg & Scheerso, 2018). Dierks, Höffler und Parchmann (2014a) adaptierten das ursprünglich aus der Berufswahldiagnostik stammende RIASEC-Modell (Holland, 1997) für den Einsatz zur Charakterisierung von Interessensstrukturen schulischer und außerschulischer naturwissenschaftlicher Aktivitäten. Diese werden anhand von sechs Persönlichkeitstypen kategorisiert – realistisch („realistic“, R), forschend („investigative“, I), künstlerisch („artistic“, A), sozial („social“, S), unternehmerisch („enterprising“, E) und konventionell („conventional“, C) – sowie um die Dimension vernetzend („networking“, N) erweitert (Blankenburg, Höffler & Parchmann, 2016; Dierks, Höffler, Blankenburg, Peters & Parchmann, 2016).

Dem Aufbau von dispositionalem, individuellem Interesse geht eine Entwicklung von aktuellem, situationalen Interesse voraus (Krapp, 2002a). Die Interessensentwicklung bei Lernprozessen beschreiben Hidi und Renninger (2006) in einem Vier-Phasen-Modell:

1) *Ausgelöstes situationales Interesse („Triggered Situational Interest“)*

In der ersten Phase wird kurzfristig die Aufmerksamkeit am Interessensgegenstand durch zumeist äußere catch-Faktoren (Mitchel, 1993) geweckt. Diese umfassen beispielsweise überraschende oder scheinbar widersprüchliche Inhalte, Kontexte mit persönlicher Relevanz, Methoden, wie Gruppenarbeit oder Rätsel und der Einsatz von digitalen Medien.

2) *Aufrechterhaltenes situationales Interesse („Maintained Situational Interest“)*

In der zweiten Phase wird längerfristig Interesse an einem Gegenstand durch zumeist äußere hold-Faktoren (ebd.) aufrechterhalten und mit positiven Gefühlen verknüpft. Relevant dafür sind beispielsweise eine wahrgenommene Bedeutsamkeit der Lerninhalte und die persönliche Eingebundenheit in Aktivitäten durch kooperative Arbeitsformen oder projektbasiertes Lernen.

3) *Aufkommendes individuelles Interesse („Emerging Individual Interest“)*

In der dritten Phase setzen sich Personen zumeist ohne externe Anregung mit dem Interessensgegenstand auseinander und entwickeln dabei von eigener Neugier getriebene Fragestellungen. Bezogen auf den Gegenstand verspüren sie dabei positive Gefühle, erachten ihn als persönlich wertvoll und verfügen bereits über grundlegendes Wissen.

4) *Ausgeprägtes individuelles Interesse („Well-Developed Individual Interest“)*

In der vierten Phase ist das Interesse an einem Gegenstand durch Verinnerlichung und Identifikation voll ausgeprägt. Personen beschäftigen sich selbstgesteuert mit dem Gegenstand, selbst wenn dies mit Mühen und Herausforderungen verbunden ist. Dabei suchen sie den Austausch mit anderen und greifen auf umfangreiches Wissen zurück.

Während bei der Interessensentwicklung anfänglich Aspekte der emotionalen Valenz der affektiven Komponente des Interesses vorherrschen, rücken im späteren Verlauf die wertbezogene Valenz sowie die kognitive Komponente mit der epistemischen Valenz in den Fokus (Renninger & Hidi, 2011). Das so entstandene individuelle Interesse ist als Persönlichkeitsmerkmal zeitlich stabil und bleibt situationsunabhängig bestehen (Hidi & Renninger, 2006).

Bei der Individualentwicklung des Interesses orientiert sich die Person-Gegenstands-Theorie an den Aussagen der Selbstbestimmungstheorie der Motivation von Deci und Ryan (1993), wobei zwischen zwei Steuerungsebenen unterschieden werden kann (Krapp, 2002b):

1) *Bewusst-kognitive Entscheidungsprozesse*

Es herrscht die Annahme, dass eine Person nur langfristig Interesse an einem Gegenstand entwickeln kann, wenn dieser auf Basis von kognitiv-rationalen Überlegungen als hinreichend bedeutsam bewertet wird (Krapp, 1998). Im Gegensatz zu kognitiven Motivationstheorien, beispielsweise der Theorie der Selbstwirksamkeitserwartung (Bandura, 1977), wird neben der kognitiven Steuerungskomponente auch die emotionale Ebene miteinbezogen (Krapp & Ryan, 2002).

2) *Unmittelbare, emotionale Erlebnisqualitäten*

Zur Interessensentwicklung müssen außerdem die positiv emotionalen Erfahrungen mit dem Lerngegenstand überwiegen. Dafür ist die Befriedigung der Bedürfnisse („basic needs“) nach Erleben von Kompetenz, Autonomie und sozialer Eingebundenheit notwendige Voraussetzung für menschliches Wohlbefinden (Deci & Ryan, 2002).

Der Zusammenhang von Interessensentwicklung sowie intrinsischer Motivation und wahrgenommenen psychologischen Grundbedürfnissen ist auch empirisch belegt (Krapp, 2005). Die sind laut Selbstbestimmungstheorie der Motivation wie folgt zu verstehen (Deci & Ryan, 1993; Deci & Ryan, 2002): Das Bedürfnis nach Kompetenzerlebens ist mit dem Wunsch verbunden situationspezifischen Anforderungen gerecht zu werden und mit seinem Verhalten etwas bewirken zu können. Autonomie basiert auf dem Bestreben Entschei-

dungen selbst zu treffen und sich nicht kontrolliert zu fühlen. Soziale Eingebundenheit äußert sich in der Forderung nach Anerkennung in der jeweiligen sozialen Umgebung oder einer Gruppe mit Personen anzugehören, die einem persönlich wichtig sind.

Aufbauend auf die Person-Gegenstands-Theorie des Interesses haben Upmeier zu Belzen und Vogt (2001) die Begrifflichkeiten der Indifferenz und des Nichtinteresses definiert. Indifferenz beschreibt eine neutrale Ausgangshaltung gegenüber einem Gegenstand, mit dem eine Person noch keine Berührungspunkte hatte (Vogt, 2007). Nichtinteresse wird wiederum in Desinteresse als gleichgültige Haltung (Interesselosigkeit) sowie in Abneigung (Antipathie) differenziert, bei der sich bereits negative Gefühle in Bezug auf einen Gegenstand entwickelt haben (ebd.).

Interessensforschung

Die PISA Studie 2015 zeigt, dass 15-Jährige in Deutschland nicht nur weniger Interesse allgemein an Naturwissenschaften haben als der OECD Durchschnitt, sondern auch, dass dieses im Vergleich zu PISA 2006 weiter abgenommen hat (Schiepe-Tiska, Simm & Schmidtner, 2016). Besorgniserregend ist ebenfalls, dass die Hälfte der Befragten Naturwissenschaften als unwichtig für ihr späteres Leben einschätzen (ebd.). Inhaltlich wird der Bereich der physikalischen Systeme, der zusätzlich chemische Themen berücksichtigt, am uninteressantesten bewertet (ebd.). Auch die Schulfächer Chemie und Physik gelten generell als unbeliebt, wie eine deutschlandweite repräsentative Befragung von 13- bis 22-Jährigen (Institut für Jugendforschung, 2004) oder vergleichende Studien in der Sekundarstufe I aus 1990 und 2008 (Gräber, 2011) darlegen. Diese Abneigung schlägt sich in der Kurswahl der Oberstufe nieder: Seit 2002 werden die Leistungskurse Chemie und Physik konstant unter 5 % gewählt (Renn, Hiller & Scheel, 2017). Das Nichtinteresse und die Interessensabnahme der Fächer Chemie und Physik wurden im Rahmen der IPN-Interessensstudien vielfach dokumentiert (vgl. Gräber, 1995; Hoffmann et al., 1997; Merzyn, 2008), allerdings ist diese pauschalisierende Aussage bei genauerer Betrachtung zu revidieren (Dierks, Höffler & Parchmann, 2014b).

Ein spezifischerer Blick zu Schülerinteressen und deren Entwicklung erlaubt die Querschnittsstudie von Höft, Bernholt, Blankenburg und Winberg (2019): Von der fünften zur sechsten Klasse steigt das Interesse an naturwissenschaftlichen Aktivitäten an, fällt bei der Einführung des Fachs Chemie deutlich ab, erholt sich bis zur neunten Klasse und stagniert in der elften Klasse dann unter dem Niveau der fünften Klasse. Ähnliche Veränderungen werden auch

in der vierjährigen Längsschnittstudie von Höffler, Lüthjohann und Parchmann (2014) identifiziert. Diese nichtlinearen Effekte unterscheiden sich weiterhin je nach Interessensdimension des RIASEC+N Modells – beispielsweise ist bei Lernende der achten Klasse das Interesse an forschenden Aktivitäten (I: „investigative“) besonders niedrig ausgeprägt. Wentorf, Höffler und Parchmann (2015) deckten weiterhin geschlechtsabhängige Unterschiede bei 14- und 15-Jährigen auf: Mädchen sind interessierter an sozialen und kooperativen Aktivitäten (S: „social“, N: „networking“), während Jungen höhere Interessensausprägungen im unternehmerischen Bereich (E: „enterprising“) aufweisen. In einer weiteren Untersuchung zeigte sich, dass zwölf- bis 19-jährige Mädchen im Unterricht interessierter an realistischen, künstlerischen und sozialen Tätigkeiten (R: „realistic“, A: „artistic“, S: „social“) sind, als ihre Mitschüler (Dierks et al., 2016). Diese Geschlechterdifferenzen treten auch bei Elf- und Zwölfjährigen besonders in biologischen Kontexten auf (Blankenburg et al., 2016). Das Interesse an Naturwissenschaften allgemein ist laut PISA bei 15-jährigen Jungen jedoch vergleichsweise höher ausgeprägt als bei Mädchen (Schiepe-Tiska et al., 2016). Diese geschlechtsspezifische Kluft vergrößert sich zudem mit steigendem Alter (Merzlyn, 2008).

Neben den bisher berichteten Effekten von Alter und Geschlecht identifiziert das Review von Potvin und Hasni (2014) weitere Variablen, wie die Lehrerpersönlichkeit, die Gestaltung von Unterricht, Leistung, Selbstwirksamkeitserwartung und Fähigkeitsselbstkonzept sowie Berufsorientierung, die laut 63 Einzelstudien in Zusammenhang mit dem Interesse an Naturwissenschaften stehen. Zur Initiierung von situationalem Interesse sollten Lehrpersonen enthusiastisch, ermutigend und schülernah auftreten (ebd.) sowie die Attraktivität des Lerngegenstandes durch die Verwendung lebensweltlicher Kontexte steigern (Van Vorst et al., 2018). Konkrete catch-Faktoren stellen beispielsweise Diskrepanz- und Überraschungserlebnisse (Dohn, 2013) oder besondere Merkmale von Objekten, wie deren Größe, Niedlichkeit oder Ästhetik dar (Scheersoi, 2015). Schulbezogene Variablen, wie eine strukturierte, zielklare und kognitiv-aktivierende Unterrichtsgestaltung (Willems, 2011) mit handlungsorientierten, problembasierten und forschend-experimentellen Aktivitäten wirken sich als hold-Faktor positiv auf die Interessensentwicklung aus (Potvin & Hasni, 2014).

Das Interessenskonstrukt ist eng mit dem akademischen Selbstkonzept verknüpft (Daniels, 2008). Das Fähigkeitsselbstkonzept als Vorstellung über die Höhe der eigenen Fähigkeiten steht unmittelbar in Austausch mit einem Re-

ferenzrahmen (Dickhäuser, 2006): Je nach Bezugsgruppe und wahrgenommener Selbsteinschätzung werden Kontrast- („big fish little pond“: Erhöhung des Fähigkeitsselbstkonzept durch den Vergleich mit leistungsschwächeren Schülern) und Assimilationseffekte („basking in reflected glory“: Erhöhung des Fähigkeitsselbstkonzepts durch die Assoziation mit leistungsstärkeren Schülern) ausgelöst. Vor diesem Hintergrund vermittelt das Selbstkonzept den signifikanten Zusammenhang von Interesse und Lernleistung (Köller, Daniels, Schnabel & Baumert, 2000). Dieser Zusammenhang zeigt sich über alle Interessensdimensionen des RIASEC+N Modells und spiegelt sich vor allem in der Oberstufe mit kleinen und mittleren Effektgrößen wider (Höft et al., 2019). Die Längsschnittstudie von Köller, Trautwein, Lüdtke und Baumert (2006) mit 1.290 Schülern der gymnasialen Oberstufe bestätigt zum einen die positiven Effekte schulischer Selbstkonzepte ($b = 0.15$) und Interessen ($b = 0.07$) auf den Wissenszuwachs und belegt zum anderen empirisch die Kontrast- und Assimilationseffekte des Fähigkeitsselbstkonzepts.

Auch im außerschulischen Bildungsbereich hat die Interessensforschung zunehmend an Bedeutung gewonnen. In den Fächern Chemie und Physik lösen Schülerlaborbesuche bei Neunt- und Zehntklässlern situationales Interesse aus (Engeln, 2004). Zudem kann bei Jungen der neunten bis 13. Klassenstufe auch das dispositionale Fachinteresse kurzfristig beeinflusst werden (Pawek, 2009). Ein dreimaliger Besuch eines Schülerlabors ist ebenfalls als wiederkehrender Catch-Faktor anzusehen, da das Interesse der beteiligten Fünft- und Achtklässler nach fünf bis sechs Wochen zurück auf das Ausgangsniveau sinkt (Guderian, 2007). Langfristig konnte Brandt (2005) mit 494 Schülern der siebten und achten Klassenstufe lediglich ein noch vier Monate später gesteigertes Berufsinteresse nachweisen. Ausschlaggebend für größere und nachhaltigere Effekte ist die methodische Einbindung in das Curriculum sowie eine gezielte Vor- und Nachbereitung des Schülerlaborbesuchs (Scharfenberg, 2005; Guderian, 2007; Glowinski, 2007). Streller (2015) zeigte bei 378 Schülern der zehnten bis 13. Klassenstufe, dass sich durch ein begleitendes Onlineportal kurzfristig situationales und individuelles Interesse besser aufbaut im Vergleich zu einem Schülerlaborbesuch ohne Vor- und Nachbereitung.

(H1) Bei beiden Vergleichsgruppen steigt das chemiebezogene Fach- und Sachinteresse an.²

Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR orientiert sich an den theoretischen und empirischen Erkenntnissen der bisherigen Kapitel. Zusammenfassend bildet folgende theoretische Rahmung die Grundlage für die Ableitung der ersten Hypothese:

- Curricular verankerte Outdoor Education bewirkt ein gesteigertes Interesse am Lernen (Waite et al., 2015; Becker et al., 2017).
- Kontextorientierung hat einen positiven Einfluss auf das Interesse (Fechner, 2009; Kölbach & Sumfleth 2013; Parchmann & Kuhn, 2018).
- Catch-Faktoren, wie Gruppenarbeit, der Einsatz von digitalen Medien oder der Besuch eines außerschulischen Lernorts lösen aktuelles Interesse aus (Hidi & Renninger, 2006; Pawek, 2009; Blankenburg & Scheersoi, 2018).
- Hold-Faktoren, wie handlungsorientierte, problembasierte und forschend-experimentelle Aktivitäten wirken positiv auf die Entwicklung von individuellem Interesse (Hidi & Renninger, 2006; Potvin & Hasni, 2014; Blankenburg & Scheersoi, 2018).

Dabei knüpft CHEMIE PUR an die Forderung von Blankenburg und Scheersoi (2018) an, die Interessensentwicklung auch an anderen Lernorten, beispielsweise der naturnahen Schulumgebung zu prüfen.

So gilt es in der Zukunft zu prüfen, inwieweit bestehende Interessentheorien die Entwicklung des naturwissenschaftlichen Interesses an verschiedenen Lernorten, wie z. B. in Schülerlaboren, im Unterricht, (. . .), in Praktika, in Museen oder virtuell, zuverlässig vorhersagen und beschreiben können oder gegebenenfalls spezifiziert werden müssen (Blankenburg & Scheersoi, 2018, S: 256).

² Die Charakterisierung der Vergleichsgruppen wurde bereits in Kapitel 1 eingeführt, wird aber ausführlich in Kapitel 4 thematisiert.

2.4 Einstellung

Die Naturwissenschaften sind bedeutsam für das gesellschaftliche und wirtschaftliche Wohlergehen, jedoch herrscht in der Bevölkerung weitverbreitetes Unwissen über naturwissenschaftliche Sachverhalte und immer weniger Menschen entscheiden sich für einen naturwissenschaftlichen Beruf (Osborne et al., 2003). Deshalb stellt die Förderung von positiven Einstellungen zu Naturwissenschaften, Naturwissenschaftlern und Lernen in den Naturwissenschaften einen wichtigen Bereich von naturwissenschaftlichem Unterricht dar (ebd.):

On the one hand, school science is charged with educating the next generation in and about science – an education which essentially requires developing an understanding and appreciation of the explanatory hypotheses that science offers of the material world, how these came to be and why they matter. On the other hand, school science has a responsibility to educate the next generation of scientists (Tytler & Osborne, 2012, S: 597).

Vor diesem Hintergrund sind in den letzten Jahren zahlreiche empirische Untersuchungen realisiert worden (z. B. Sjøberg & Schreiner, 2010; Weißnigk, 2013; Pietsch & Barke, 2014; Krischer, 2015; Schiepe-Tiska et al., 2016; Spitzer, 2017). Der Ursprung der Einstellungsforschung geht auf sozialpsychologische Studien des frühen 20. Jahrhunderts zurück, aus deren Definitionen und Theorien Allport im Jahr 1935 ein zusammenhängendes Konstrukt entwickelt hat (Jones & Carter, 2010). Trotz aufbauender Arbeiten (vgl. Übersicht in ebd.) ist das Konzept einer Einstellung zu Naturwissenschaften nach wie vor schwer zu fassen (Osborne et al., 2003). Im Folgenden werden daher die unterschiedlichen Facetten des Einstellungskonstrukts weiter ausgeschärft.

Struktur und Entwicklung von Einstellungen

Das Konstrukt der Einstellung lässt sich mit dem Drei-Komponenten-Modell CAB (engl. cognitive, affective und behavioral) beschreiben (Maio, Haddock & Verplanken, 2018). Zunächst ist das Konstrukt der Einstellung mit affektiven Komponenten von den kognitiven Komponenten des Konstrukts der Überzeugung (engl. beliefs) abzugrenzen (Fishbein, 1967). Beide Begriffe sind im überarbeiteten soziokulturellen Modell der „Embedded Belief Systems“ vereint (Jones & Leagon, 2014). Weiterhin beeinflusst die konative Komponente des Konstrukts „Verhalten“ ebenfalls die Einstellung, wie beispielsweise aus der Selbstwahrnehmungstheorie hervorgeht (Gerrig & Zimbardo, 2015). Die

CAB Komponenten der Einstellung stehen zwar in wechselseitigem Austausch, können jedoch unterschiedlich ausgeprägt sein, sodass Urteile, Einstellungen und Verhaltensweisen nicht zwangsläufig identisch sind (Maio et al., 2018).

Im naturwissenschaftlichen Kontext trennt Gardner (1975) zwischen der Einstellung zu Naturwissenschaften und naturwissenschaftlicher Einstellung. Letzteres umfasst beispielsweise die CUDOS-Prinzipien von Merton (1973), dass naturwissenschaftliche Erkenntnisse der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden (communalism), nicht kontextspezifisch, sondern allgemeingültig sind (universalism), dass Wissenschaftler ihre Ergebnisse neutral bewerten (disinterestedness), neue Forschungsfragen bearbeiten (originality) und alle Behauptungen kritisch hinterfragen (scepticism). Die Einstellung zu Naturwissenschaften hingegen bedient Gefühle und Werte gegenüber wissenschaftlichen Unternehmen, naturwissenschaftlichem Unterricht oder dem Einfluss von Wissenschaft auf die Gesellschaft (Osborne et al., 2003). Für diesen affektiven Bereich der Einstellung zu Naturwissenschaften fasste Klopfer (1971) sechs Kategorien zusammen: (1) Ausprägung von positiven Einstellungen zu Naturwissenschaften und Naturwissenschaftlern, (2) Akzeptanz der Denkweise des Wegs der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, (3) Aneignung von naturwissenschaftlichen Einstellungen, (4) Freude an naturwissenschaftlichem Lernen, (5) Interesse an Naturwissenschaften und naturwissenschaftsbezogenen Aktivitäten und (6) Interesse an einem naturwissenschaftlichen Beruf oder naturwissenschaftlicher Arbeitstätigkeit. Hierbei wird deutlich, dass Einstellungen aus mehreren Subkonstrukten bestehen und nicht nur durch ein einheitliches Konstrukt abgedeckt werden kann (Osborne et al., 2003). Zur Erfassung der Einstellung zu Naturwissenschaften wurden beispielsweise Ängste, Nutzen, Selbstwertgefühl, Motivation, Freude, Einstellungen von Kollegen, Freunden oder Eltern, eigene Leistung, Befürchtungen von Scheitern, Art der Lernumgebung und wahrgenommene Kompetenz der Lehrperson in Bezug auf Naturwissenschaften herangezogen (Tytler & Osborne, 2012). Zusätzlich wird die Einstellung zu Naturwissenschaften im schulischen Kontext von der Einstellung zu Naturwissenschaften allgemein unterschieden (ebd.):

It is the perceptions of school science, and the feelings towards undertaking a further course of study, which are likely to be most significant in determining students' decisions about whether to proceed with further study of science beyond compulsory courses. Students' attitudes to science more generally can be quite different from their

attitudes to the science that they experience at school (Tytler & Osborne, 2012, S: 598).

Eine positive Einstellung zu Naturwissenschaften in der Schule führt allerdings nicht zwangsläufig zu dem erwarteten Verhalten (Potter & Wetherell, 1987), beispielsweise das Fach Chemie nach der Mittelstufe in der Kurswahl zu berücksichtigen, da dies möglicherweise im eigenen sozialen Umfeld keine Anerkennung findet (Tytler & Osborne, 2012). Zur theoretischen Rahmung von Einstellung und Verhalten gibt das Review von Heimlich und Ardoin (2008) einen Überblick, wobei im Folgenden zwei Theorien kurz skizziert werden. Die Theorie des überlegten Handelns verknüpft die Einstellung zu einem Objekt mit einer spezifischen Handlungsintension, die dann in Abhängigkeit der subjektiven Norm zu einem Verhalten führt (Ajzen & Fishbein, 1980). Aus diesen Zusammenhängen mündete die Theorie des geplanten Verhaltens (Jones & Carter, 2010). Ajzen (2005) hat die Theorie dahingehend erweitert, dass auch der Grad der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle berücksichtigt wird, beispielsweise wie die Hürden der Ausführung des geplanten Verhaltens eingeschätzt werden. Die theoretische Rahmung von Einstellung und Verhalten wird in Kapitel 2.5 nochmals aufgegriffen. Da eine Einstellung unmittelbar mit einem Verhalten verknüpft ist und gegebenenfalls zu einer Verhaltensänderung führen kann, ist es wichtig den Mechanismus von Einstellungsveränderungen nachvollziehen zu können (Heimlich & Ardoin, 2008). Nach Manstead (1994) basieren die Theorien zur Einstellungsänderung auf drei gemeinsamen Grundpfeilern:

1) *Direkter Kontakt zum Objekt der Einstellung*

Auf den ersten Punkt wurde bereits in Kapitel 2.1 und wird in Kapitel 2.5 eingegangen. Im Folgenden werden die anderen zwei Punkte mit passenden Theorien ausführlicher dargestellt.

2) *Persuasive Kommunikation*

Beim Persuasionsprozess unterscheidet das Elaboration-Likelihood-Modell eine zentrale Route und eine periphere Route der Beeinflussung (Bohner, Erb & Siebler, 2008). Während erstere durch high elaboration zum Beispiel im Bildungskontext mit sorgfältigem Abwägen von Argumenten gekennzeichnet ist, erfolgt die Beeinflussung durch low elaboration zum Beispiel in der Werbung ohne kritisches Nachdenken (Gerrig & Zimbardo, 2015). Entscheidend dabei sind die verschiedenen Einflüsse, denen ein Individuum bei der Einstellungsänderung ausgesetzt ist. Eine Quelle (source) produziert eine Information (message), die vom Publikum (audience) verarbeitet wird (Triandis, 1975). Diese Bereiche im Informationsweg

stehen wechselseitig in Beziehung und können eine Einstellung je nach Art der Quelle, der Information oder des Publikums unterschiedlich stark beeinflussen (ebd.). Dabei muss ein Charakteristikum nicht unbedingt große Relevanz für das Objekt der Einstellung aufweisen; beispielsweise hängt die Intensität der Einstellungsänderung von der Attraktivität der Quelle, vom Framing der Information oder vom aktuellen Gemütszustand des Publikums ab (Maio et al., 2018). „Zusammenfassend ist zu sagen: bei der Analyse von Einstellungsänderungsprozessen müssen wir berücksichtigen, *wer wem was wie und mit welchem Effekt sagt.*“ (Triandis, 1975, S: 219).

3) *Induzierte Verhaltensänderung durch Anreize*

Die Theorie der kognitiven Dissonanz dreht sich um einen inneren Konfliktzustand, der durch ein Verhalten ausgelöst wurde, welches im Widerspruch zu der eigenen Einstellung steht (Stone & Fernandez, 2008). Je größer die kognitive Dissonanz ist, desto größer ist die Motivation etwas gegen den unangenehmen Zustand zu unternehmen (Gerrig & Zimbardo, 2015). Zahlreiche Studien zeigen, dass Probanden ihr Verhalten deshalb nachträglich rechtfertigen, indem sie sich selbst überzeugen und dadurch ihre Einstellung ändern (Cooper, 2007). Neben diesen kognitiv-affektiven Anreizen könnten im einfachsten Fall auch finanzielle Anreize eine indirekte Einstellungsänderung hervorrufen (Manstead, 1994).

Die bisher beschriebenen psychologischen Theorien zu Einstellungsänderungen zeigen Parallelen zu fachdidaktischen Konzepten auf. In Kapitel 1 wurde bereits kurz die Theorie zu Schülervorstellungen skizziert. Vor diesem Hintergrund sind Unterrichtsansätze im Kompetenzbereich der Bewertung, wie „Choice²reflect“ (Jungkamp & Marohn, 2016; Barke et al., 2018) oder das ethische Urteilen und Bewerten (Menthe, 2006; Dittmer, Menthe, Gebhard & Höttecke, 2016) entstanden. Beide Konzepte ermöglichen eine Vorstellungsänderung, könnten aber auch maßgeblich eine Einstellungsänderung bewirken. Angelehnt an die Theorie zum Conceptual Change können Schülervorstellungen ebenfalls durch einen kognitiven Konflikt initiiert und beispielsweise durch den Einfluss des Kontexts, affektiven oder epistemischen Faktoren sowie die eigene Fähigkeit zum logischen Denken oder Argumentieren schrittweise verändert werden (Stark, 2003; Gropengießer & Marohn, 2018). Allerdings zeigt die Metaanalyse über 116 empirische Einzelstudien von Lin, Yen, Liang, Chiu & Guo (2016), dass trotz 30-jähriger Forschung kein Konsens darüber besteht, was eine Vorstellungsänderung charakterisiert und wie der Prozess exakt abläuft.

Forschung zu Einstellungen

In der Einstellungsforschung gibt es verschiedene Herangehensweisen die Einstellung zu Naturwissenschaften zu erfassen. Das Review von Blalock, Lichtenstein, Owen, Pruski, Marshall und Toepperwein (2008) bewertet 66 quantitative Messinstrumente, wovon die meisten lediglich in einer Studie eingesetzt und häufig nur unzureichend psychometrische Gütekriterien berichtet wurden. Neben klassischen Likert-Ratingskalen kommen auch sogenannte semantische Differenziale zum Einsatz (Jones & Carter, 2010). Das Verfahren, Einstellungen durch gegensätzliche Adjektivpaare zu messen, geht auf Osgood, Suci und Tannenbaum (1978) zurück. Im ersten Schritt ist es in der Einstellungsforschung zu Naturwissenschaften daher unabdingbar zu bewerten, welches theoretische Subkonstrukt mit welchem Instrument wie gemessen werden soll (Tytler & Osborne, 2012).

Aus dem Review von Osborne et al. (2003) geht hervor, dass Schüler Naturwissenschaften allgemein als interessant, nützlich, wichtig und relevant für ihr alltägliches Leben sowie als attraktives Berufsfeld einschätzen, aber ihre Einstellung gegenüber Naturwissenschaften in der Schule negativ belegt ist. Während in der Grundschule laut der TIMSS Studie eine positive Einstellung zum Sachunterricht vorherrscht (Steffensky, Kleickmann, Kasper & Köller, 2016), zieht sich ein abnehmender Trend der Einstellungen zu den Naturwissenschaften durch die verbleibende Schullaufbahn (Tytler & Osborne, 2012). Auffällig im internationalen Vergleich ist dabei, dass in entwickelten Industrienationen die Einstellung zu Naturwissenschaften schlechter ist als in weniger entwickelten Gesellschaften (Ogura, 2006; Sjøberg & Schreiner, 2010). Allerdings muss bei dieser Interpretation berücksichtigt werden, dass kulturspezifische Referenzgruppeneffekte zum Tragen kommen und die verwendeten Messmodelle nicht universell gültig sind (Seaton, Marsh & Craven, 2009). Qualitative Studien erklären die negative Einstellung zu Naturwissenschaften mit fehlender Relevanz, zu häufiger Wiederholung von ähnlichen Konzepten in unterschiedlichen Klassenstufen, fehlenden Diskussionsmöglichkeiten von naturwissenschaftlichen Implikationen, zu häufigem Abschreiben von Texten, zu vielen reproduzierenden Fachinhalten und damit verknüpfter zu hoher Prüfungsdichte (Osborne & Collins, 2001; Lyons, 2006; Au, 2007; Stuckey, Marks, Mamlok-Naaman, Hofstein & Eilks, 2012).

Neben all diesen Variablen hat jedoch das Geschlecht den größten Einfluss auf die Einstellung zu Naturwissenschaften (Gardner, 1975). Das Review von Brotman und Moore (2008) verdeutlicht mit 107 Studien die positivere Einstellung von Jungen gegenüber Naturwissenschaften als von Mädchen. Gleiches

zeigt sich auch in der internationalen Vergleichsstudie ROSE von Sjøberg und Schreiner (2010). Eine Erklärung des Phänomens bieten Studien zum Image der Naturwissenschaften (Kessels, Rau & Hannover, 2006). Das stereotype Bild von männlichen Naturwissenschaftlern führt im Abgleich mit dem Selbstbild bei weiblichen Jugendlichen zu einer Distanzierung von den Fächern Chemie und Physik (Weßnigk, 2013). Die Antworten bei der Frage nach berühmten Naturwissenschaftlern umfassen ausschließlich Namen wie Einstein oder Newton, was verdeutlicht, dass in den Naturwissenschaften weibliche Vorbilder vollkommen außer Acht gelassen werden (Osborne et al., 2003). Naturwissenschaftlicher Unterricht ist viel zu sehr damit beschäftigt über Theorien und Methoden zu sprechen als über die Namen von Wissenschaftlern, ihr Tätigkeitsgebiet oder Geschichten des wissenschaftlichen Alltags (ebd.). Zusätzlich werden die Fächer Chemie und Physik mit geringen Möglichkeiten zur Selbstbestimmung und -gestaltung sowie mit anspruchsvollen Inhalten verknüpft und das Erlernen der Konzepte und Prinzipien erweist sich häufig als langwierig und schwierig (Driver, Leach, Millar & Scott., 1996; Kessels et al., 2006; Zenner, 2012). Selbst Jugendliche der elften Klasse, die die Fächer mögen, ordnen ihnen das Attribut „schwierig“ zu (Kessels et al., 2006). Außerdem trägt das ungünstige Ertrags-Aufwandsverhältnis für gute Noten im Vergleich zu anderen Fächern dazu bei, dass das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten sinkt (Weßnigk, 2013). Dieses abschreckende Image und die damit verbundene geringere Wahl der Fächer in der Oberstufe beeinflusst ebenfalls die Einstellung zu Naturwissenschaften (Osborne et al., 2003).

Trotz zahlreicher Interventionsstudien, die Einstellungsänderungen bewirken, gibt es bisher noch wenige allgemeingültige Erkenntnisse darüber, wie und warum sich die Einstellung zu Naturwissenschaften verändert hat (Simpson, Koballa, Oliver & Crawley, 1994). Breakwell und Beardsell (1992) identifizierten beispielsweise außerschulische Aktivitäten mit Unterstützung der Eltern als eine wirksame Maßnahme. Bei 16- bis 18-Jährigen wirkt der Besuch eines Schülerlabors signifikant mit mittleren bis kleinen Effekten positiv auf die Einstellung zur Wissenschaft Chemie ($d = 0.43$) sowie auf die Einstellung zum Unterrichtsfach Chemie ($d = 0.28$) (Weßnigk & Euler, 2014). Diese Effekte betreffen beide Geschlechter gleichermaßen, nähern sich jedoch langfristig wieder dem Ausgangsniveau an (Weßnigk, 2013). In Bezug auf die Berufsorientierung erklärt die Einstellung zu Naturwissenschaften 28 % der Varianz – zusammen mit Interesse und Fähigkeitsselbstkonzept sogar 52 % (Weßnigk & Euler, 2014). Weitere zwei Prozent der Varianzaufklärung ermöglichen der

Einbezug des Geschlechts sowie die Teamzugehörigkeit in einer Kleingruppenarbeit (ebd.).

Kooperatives Arbeiten bewirkt zudem eine günstigere Einstellung zu den naturwissenschaftlichen Fächern (Berger & Walpuski, 2018). Schüler der zehnten Klasse bewerteten ihren Unterricht basierend auf einer dreijährigen Kooperationsform der partizipativen Aktionsforschung attraktiver, weniger langweilig und begründeten dies durch autonomeres Lernen und Arbeiten in Gruppen (Markic & Eilks, 2006). Tepner, Roeder und Melle (2009) erwarteten bei 16-Jährigen ebenfalls eine Einstellungsänderung zum Fach Chemie durch eine dreistündige Unterrichtseinheit mit der Methode des Gruppenpuzzles, allerdings ließ sich der positive Befund aus der Pilotierung nicht mehr replizieren.

Die Einstellung zur Wissenschaft Chemie hat sich in den letzten 40 Jahren gewandelt. In den 1980er Jahren wurde Chemie mit Begriffen wie gefährlich, bedrohlich und beängstigend assoziiert (Demuth & Gradert, 1988). Heilbronner und Wyss (1983) beschreiben in ihrem Artikel zwar extrem, aber durchaus eindrücklich das damalige Bild der Wissenschaft:

Im Gegensatz zur Physik und zur Mathematik, welche doch recht selten für Flugzeugkatastrophen und Brückeneinstürze beziehungsweise für gefälschte Buchhaltungen und Computerkriminalität gerdestehen müssen, wirft die Diskussion um „die Chemie“ (in Gänsefüßchen!) als allgemein akzeptierter Prügelknabe für Delikte von der Weinpanscherei bis hin zur Zerstörung der Umgebung weltweit ihre grünen Wellen. (. . .) So hat uns ein Chemielehrer der Oberstufe gestanden, er könne doch seinen Schülern keine Karriere als Industriechemiker empfehlen, wenn damit notwendigerweise eine soziale Diskriminierung verbunden sei. Diese unterschwellige Gleichsetzung des Industriechemikers mit dem Besitzer eines, wenn auch gewinnträchtigen Sexladens ist vielleicht extrem, aber vermutlich nicht untypisch (Heilbronner & Wyss, 1983, S: 69).

Zur Dokumentation der Einstellung zur Wissenschaft Chemie befassten sich Studien mehrfach damit Bilder auszuwerten, die durch die Aufforderung „Male dein Bild zur Chemie“ entstanden sind. Vor diesem Hintergrund fertigten elf- bis 15-jährige Schüler 151 Zeichnungen an, die zu etwa zwei Drittel als pessimistische Einschätzung zu interpretieren sind: 40 % der Bilder veranschaulichten die Zerstörung der Umwelt (Luft- und Wasserverschmutzung,

tote Vögel usw.), 15 % eine direkte Bedrohung des Individuums (z. B. Menschen eingehüllt in Giftwolken) und weitere 10 % zeigten Tierversuche (ebd.). 15 Jahre später wurde die Untersuchung mit 480 Schülern der sechsten bis neunten Klasse wiederholt (Barke & Hilbing, 2000). Ein Bild enthielt im Mittelwert 3,34 Motive, die den fünf Kategorien „Umweltschädigung“, „Tierversuche“, „Labor“, „Alltag und Leben“ sowie „Fachwissen“ zugeordnet wurden (ebd.). Die Auswertung zeigte, dass 51 % der Bilder mindestens ein negativ besetztes Motiv enthielt, was im Vergleich zu 1983 ein Rückgang von 14 % entspricht (ebd.). Allerdings waren auch in etwa 75 % der Bilder Motive zu finden, die eher eine positive Einstellung zu Chemie darstellten (Barke et al., 2018). 16,6 % der Mädchen und 35,6 % der Jungen malten Bilder mit ausschließlich negativen Motiven (Barke & Hilbing, 2000). Die Studie wurde abermals mit 320 Schülern der fünften bis zehnten Jahrgangsstufe wiederholt (Barke et al., 2018). Pietsch und Barke (2014) kamen zu dem Ergebnis, dass 44,7 % der Bilder mindestens ein negatives Motiv, 86,9 % mindestens ein positives Motiv, 4,8 % ausschließlich negative Motive und 38,0 % ausschließlich positive Motive beinhalten. Zwar zeigt die Entwicklung der letzten Jahrzehnte eine weniger negative Einstellung zur Wissenschaft Chemie, allerdings finden sich chemische Kontexte aus dem Alltag und der Lebenswelt nur vereinzelt in den Bildern wieder, da hauptsächlich Motive zu Experimenten (Laborgeräte, Chemikalien etc.) oder Gefahrenpotentialen (Radioaktivität, Gifte, Explosion etc.) gemalt wurden (ebd.). Eine ähnliche Entwicklung ist auch in der Draw-A-Scientist Metastudie über die letzten 50 Jahre festzustellen: Während in den 1960igern nur unter einem Prozent der befragten Grundschüler Wissenschaftlerinnen zeichneten, stieg dieser Anteil auf 28 % im Jahr 2016 (Miller, Nolla, Eagly & Uttal, 2018). Allerdings trugen die Wissenschaftler zu 50 % ein Laborkittel, zu 38 % eine Brille und hielten sich zu 78 % drinnen beziehungsweise in Laborräumen auf (ebd.).

Müller-Harbich, Wenck und Bader (1990a) stellten in ihrer Untersuchung mit 2226 Realschülern der zehnten Jahrgangsstufe fest, dass Probanden, die eine positive Einstellung zum Chemieunterricht haben, auch der Wissenschaft Chemie gegenüber aufgeschlossen sind. Weiterhin zeigte sich bei Jungen kein Zusammenhang zwischen der Einstellung zur Wissenschaft Chemie und der Einstellung zu Umweltproblemen, während Schülerinnen, mit einer positiven affektiven Haltung gegenüber Umweltproblemen eine negative Einstellung zur Wissenschaft Chemie aufwiesen und umgekehrt (ebd.): „Die bei den Mädchen beobachtete Einstellung entspricht der landläufigen Meinung: Wer

sich ökologisch engagiert, lehnt die Chemie ab oder wer Chemie gut findet, hat nichts für die Umwelt übrig.“ (Müller-Harbach et al., 1990a, S: 249).

In diesem Spannungsfeld der antagonistischen Einstellungen zu den Bereichen Chemie und Umwelt beziehungsweise Natur (vgl. Kapitel 1) entstanden in den letzten 30 Jahren ebenfalls mehrere Replikationsstudien. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Abbildung 4 aufgeführt.

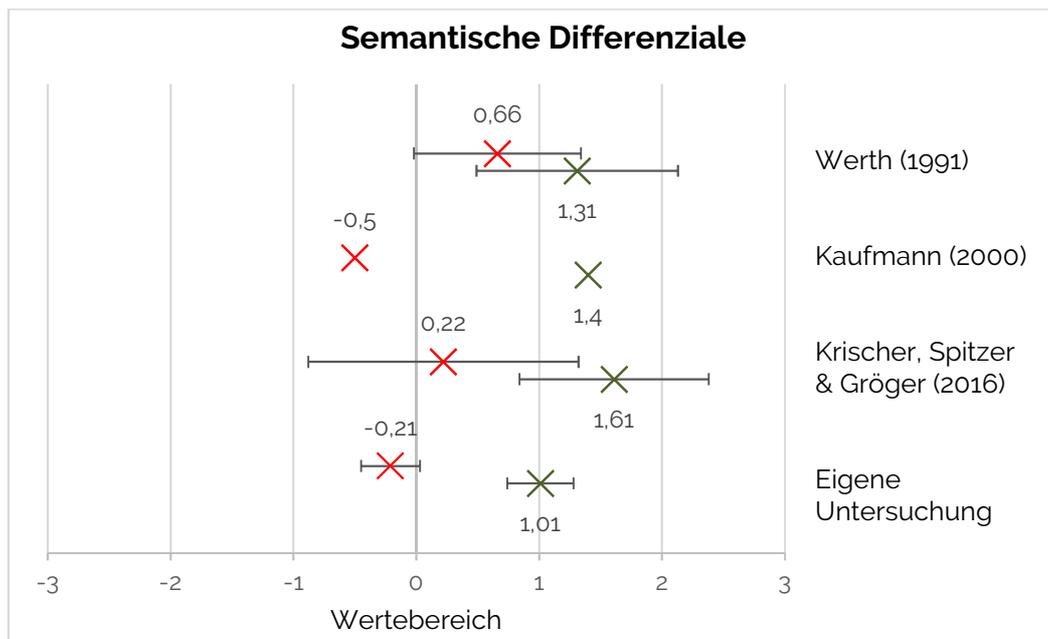


Abbildung 4: Semantische Differenziale zu den Bereichen Chemie links in Rot und Natur rechts in Grün. Die gemittelten Ergebnisse von oben nach unten gehen zurück auf Werth (1991), Kaufmann (2000) und Krischer, Spitzer und Gröger (2016). Unten sind die Ergebnisse der eigenen Untersuchung dargestellt, die allerdings erst in Kapitel 5.4 erläutert werden. Die Datenpunkte von Kaufmann (2000) wurden aufgrund von fehlenden Werten manuell eingetragen und haben keinen Anspruch auf eine exakte Genauigkeit.

Werth (1991) hat in seiner Studie 132 Chemiestudierende des ersten Semesters hinsichtlich ihrer Einstellung zu Chemie und Natur befragt. Bei dieser Stichprobe kann ein naturwissenschaftliches Interesse vorausgesetzt werden (Scharf, 1994), sodass die minimal positive Einstellung zur Wissenschaft Chemie im Vergleich zur Natur zu einer Differenz von lediglich 0,65 Punkten führte. Bei 356 fachfremden Studierenden des Grundschullehramts und der Wirtschaftswissenschaften zeigte Kaufmann (2000) eine deutlich größere Kluft von geschätzt zwei Punkten. In einer internationalen Vergleichsstudie befragten Krischer et al. (2016) 822 Schüler der achten Klasse aus Argentinien, Deutschland, Irland und den USA. Die antagonistische Einstellung zur Wis-

senschaft Chemie und Natur unterschied sich um 1.39 Punkte. Eine vergleichbare Differenz von 1.22 Punkten wird in der vorliegenden Arbeit anhand von 149 Schülern der Sekundarstufe II bestätigt. Diese in Abbildung 4 zusammengefassten Ergebnisse verdeutlichen die ausnahmslos positive Einstellung zur Natur in Abgrenzung zur negativen bis leicht positiven Einstellung zur Wissenschaft Chemie: „Die meisten Schüler gaben an, dass „natürlich“ und „chemisch“ einen Gegensatz bildeten, sich sogar ausschließen. Andererseits wüßten (!) sie ja, daß die meisten natürlichen Vorgänge auch chemische Vorgänge seien und umgekehrt.“ (Scharf & Werth, 1989, S: 64).

Diese antagonistische Sichtweise von Chemie und Natur kann durch inhaltliche und methodische Änderungen im Chemieunterricht bewusstgemacht werden (Kaufmann, 2000). Dabei ist zu beachten, dass Schülerurteile sich nicht nur durch fachliche Erkenntnisse verändern, sondern vor allem Gefühle und Überzeugungen eine wichtige Rolle spielen (Menthe, 2006). Die Studie von Pietsch und Barke (2014) zeigt Handlungsmöglichkeiten für den Chemieunterricht auf, wobei die Wissenschaft Chemie mehr mit alltäglichen und lebensweltlichen Kontexten verbunden werden sollte. Kaufmann (2000) schlägt vor, Inhalte zu thematisieren, die mit „Natur“ assoziiert werden und gleichzeitig „Chemie“ behandeln. Dies berücksichtigte Krischer (2015) bei der Gestaltung des Unterrichtskonzepts „...natürlich Chemie!“ und entwickelte Lerneinheiten, die die Natur als Forschungsgegenstand und die Chemie als Werkzeug zur Erklärung verwenden. Anhand von naturnahen Kontexten im Chemieunterricht könnte sich der positiven Einstellung zur Natur bedient werden und dadurch die Einstellung zu Chemie und Natur verändern.

Das Konstrukt der Einstellung zu Chemie und Natur lässt sich anhand der qualitativen Daten von 249 Schülern der Sekundarstufe I zur Definition der Begriffe Chemie und Natur konkretisieren (Krischer, 2015): Die häufigsten Nennungen zum Begriff Chemie umfassten Experimente (116-mal), chemische Reaktionen (74-mal), die Betrachtung, Untersuchung oder Lehre von Stoffen (63-mal) sowie Formeln oder ähnliches (41-mal). Die Definition von Natur ließ sich in die Kategorien von assoziativen Bezügen (165-mal), positive bis romantisierende Wertungen (64-mal), eine Abgrenzung zu Mensch und Kultur (63-mal) sowie ein umfassender Naturbegriff (57-mal) einteilen (ebd.).

(H2) Die Einstellung zu Chemie und Natur verbessert sich in der Experimentalgruppe.³

Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR knüpft an die theoretischen und empirischen Erkenntnisse der bisherigen Kapitel an. Zusammenfassend bildet folgende theoretische Rahmung die Grundlage für die Ableitung der zweiten Hypothese:

- Curricular verankerte Outdoor Education mit handlungs-, erlebnis- und schülerorientierten Aktivitäten begünstigt eine positivere Umwelteinstellung (Stern et al., 2014; Becker et al., 2017)
- Die Einstellung gegenüber Naturwissenschaften verbessert sich durch Lernen im Kontext (Bennett et al., 2007; Ültay & Çalik, 2012).
- Die Einstellung zur Wissenschaft Chemie und zum Unterrichtsfach wird durch kooperatives Arbeiten oder durch den Besuch eines außerschulischen Lernorts positiv beeinflusst (Markic & Eilks, 2006; Weßnigk, 2013).
- Die antagonistische Einstellung zu Chemie und Natur kann durch inhaltliche und methodische Änderungen im Chemieunterricht bewusstgemacht werden (Kaufmann, 2000; Krischer, 2015; Krischer et al., 2016).

CHEMIE PUR folgt dem Vorschlag von Krischer (2015), die Einstellungsveränderung in einer Kontrollgruppenstudie zu evaluieren.

Die aus der Forschung angenommenen positiven Wirkungen eines Unterrichts nach dem Konzept „...natürlich Chemie!“ sollten in einem nächsten Schritt in einer längerfristig angelegten begleitenden Studie erforscht werden.

Hierfür könnte man zwei Schülergruppen über einen längeren Zeitraum begleiten, die vergleichend partiell nach ...natürlich Chemie! und nach einem ähnlich ausgerichteten, nicht naturnahen Konzept (z.B. entsprechende Module von CHiK) unterrichtet werden. So könnte getestet werden, ob der Antagonismus zwischen Chemie und Natur eine Änderung erfährt, (. . .) und ob Naturverbundenheit ausgebildet werden kann (Krischer, 2015, S: 157-158).

³ Die Charakterisierung der Vergleichsgruppen wurde bereits in Kapitel 1 eingeführt, wird aber ausführlich in Kapitel 4 thematisiert.

2.5 Umweltkompetenz

Laut der Naturbewusstseinsstudie 2017 sind 68 % der 2.065 Befragten davon überzeugt, dass die Identität der Menschheit im Wesentlichen von der Natur bestimmt wird (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Bundesamt für Naturschutz, 2018). Sogar 79 % der Probanden halten die Art und Weise, wie auf der Erde mit der Natur umgegangen wird, für äußerst problematisch (ebd.). Auch 64 % der 6.041 Befragten der Umweltbewusstseinsstudie 2018 zählen Umwelt- und Klimaschutz zu den drängendsten Herausforderungen und Problemen unserer Gesellschaft (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Umweltbundesamt, 2019). Die überwältigende Mehrheit der Deutschen sind jedoch der Auffassung, dass die Bundesregierung (86 %) und die Industrie (92 %) nicht genug für den Umwelt- und Klimaschutz tut (ebd.). Besonders Jugendliche im Alter von 14 bis 22 Jahren, die der Gruppe der idealistischen Lebenswelt zugeordnet werden, kritisieren den Vorrang des Wirtschaftswachstums und die Konsumorientierung der Gesellschaft (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Bundesamt für Naturschutz, 2020). Der Ursprung dieser angestrebten Transformation hin zu mehr Nachhaltigkeit geht zurück auf Carl von Carlowitz, der mit seinem Buch über nachhaltige Forstwirtschaft 1713 diesen Begriff prägte (Pufé, 2017). Anstoß für die Diskussion um ökologische Krisen und damit auch für die Umweltbildung lieferte der Bericht von Meadows, Meadows, Zahn, und Milling (1972) zu den Grenzen des Wachstums. Parallel zur institutionellen Verankerung und begleitenden Forschung zur Umweltbildung (Gräsel, 2018) wurde im Brundtland-Bericht ein globales Leitbild für nachhaltige Entwicklung erarbeitet (Hauff, 1987). Daraus mündete die auf der Rio-Konferenz 1992 von der Weltgemeinschaft beschlossene Agenda 21, die wiederum 2015 durch die Agenda 2030 abgelöst wurde (Pufé, 2017). Diese globale Übereinkunft umfasst 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG), die dringenden Handlungsbedarf postulieren. Wie die Ergebnisse der 18. Shell Jugendstudie (Albert, Hurrelmann & Quenzel, 2019), aber auch die weltweiten Aktivitäten unter dem Namen Friday for Future zeigen, verstehen sich Kinder und Jugendliche als die Umweltakteure von morgen. Daher ist es im Sinne des vierten Ziels für nachhaltige Entwicklung „Bildung für alle“ (Martens & Obenland, 2017) umso wichtiger bereits in der schulischen Ausbildung die Umweltkompetenz der Lernenden auszubauen und zu fördern.

Bis 2030 sicherstellen, dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben, unter anderem durch Bildung für nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Lebensweisen, Menschenrechte, Geschlechtergleichstellung, eine Kultur des Friedens und der Gewaltlosigkeit, Weltbürgerschaft und die Wertschätzung kultureller Vielfalt und des Beitrags der Kultur zu nachhaltiger Entwicklung (Martens & Obenland, 2017, S: 55).

Struktur und Entwicklung der Umweltkompetenz

Im Bereich der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) gibt es unterschiedliche Strömungen, die mit dem Kompetenzbegriff arbeiten. Sowohl die Konstrukte der „action competence“ (Jensen & Schnack, 1997) als auch der Gestaltungskompetenz (Bormann & de Haan, 2008) geben eher eine generelle, reflektierte Orientierung im Gegensatz zu den Konstrukten der „environmental literacy“ (Roth, 1992) oder der Bewertungskompetenz (Eggert & Bögeholz, 2006), die präzise Facetten der Umweltkompetenz in einem messbaren Modell beschreiben. Das im nächsten Abschnitt beschriebene Umweltkompetenzmodell von Bogner und Kaiser (2012) basiert auf den Vorarbeiten von Gräsel (2000, zitiert nach Roczen, 2011), die Umweltkompetenz als Struktur von mehreren Konstrukten auffasst, aber motivationale Komponenten nicht berücksichtigt, und Corral-Verdugo (2002), der Umweltkompetenz als einzelnes Konstrukt operationalisiert, jedoch Umweltverhalten als Zielkomponente nicht in das Modell miteinbezieht.

Im daraus abgeleiteten Wirkungsgefüge der Umweltkompetenz wurden kognitive und affektive mit konativen Komponenten in Beziehung gesetzt und als Strukturgleichungsmodell empirisch bestätigt (Kaiser, Roczen & Bogner, 2008). Die kognitive Wissenskomponente gliedert sich in Umweltsystem-, Handlungs- und Wirksamkeitswissen (Kaiser & Fuhrer, 2003). Umweltsystemwissen bezieht sich beispielsweise auf Zusammenhänge in Ökosystemen und Ursachen von Umweltproblemen, Handlungswissen umfasst mögliche Handlungsoptionen sowie konkrete Handlungsausführungen und Wirksamkeitswissen betrifft die Kenntnis des Umweltschutzpotenzials verschiedener Verhaltensweisen (Roczen, Kaiser & Bogner, 2010). Die affektive Einstellungskomponente lässt sich in die Bereiche des Umweltbewusstseins und der Naturverbundenheit differenzieren (Bogner, 2018). Das Umweltbewusstsein mit den zwei Faktoren der Präferenz für Umweltschutz und Natur(aus)nutzung beschreibt die Ausprägung von ökozentrischem oder anthropozentrischem Denken (Bogner & Wiseman, 1999; Bogner & Wisemann, 2006). Davon lässt

sich die Einstellung gegenüber der Natur abgrenzen, die eine emotionale Bindung in Form von Naturverbundenheit ausdrückt (Zylstra, Knight, Esler & Grange, 2014). Wie in Abbildung 5 dargestellt, tragen alle bisher angesprochenen kognitiven und affektiven Komponenten zum konativen Umweltverhalten bei (Bogner & Kaiser, 2012). Dieses kann als selbstberichtete Verhaltensintension zu den sechs Domänen der Energieeinsparung, Mobilität und Transport, Abfallvermeidung, Konsum, Recycling und Sozialverhalten erfasst werden (Kaiser & Wilsion, 2004; Kaiser, Oerke & Bogner, 2007).

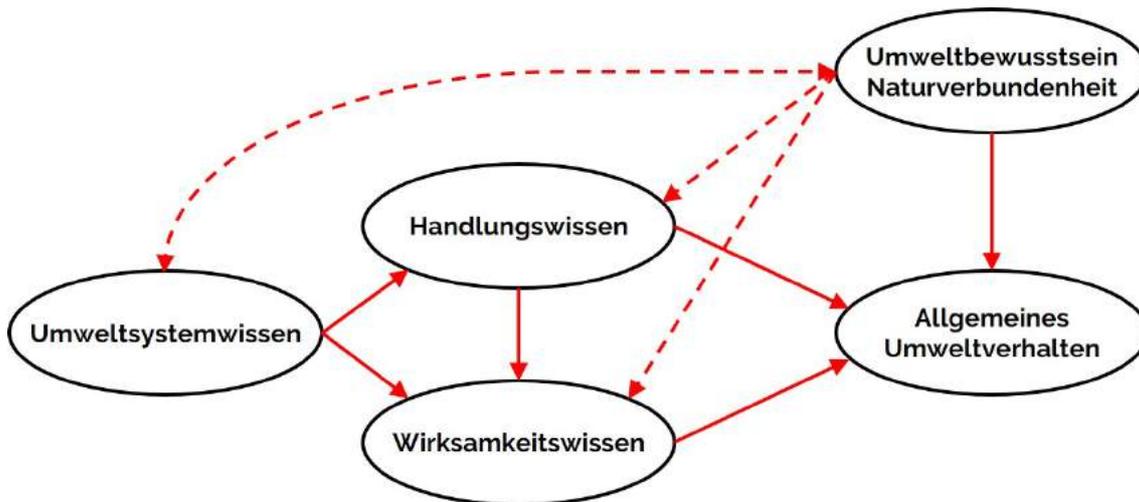


Abbildung 5: Wirkungsgefüge der Umweltkompetenz nach Kaiser et al. (2008) erweitert durch das Umweltbewusstsein nach Bogner (2018). Die durchgezogenen Pfeile beziehen sich auf empirisch signifikant bestätigte Effekte, während die gestrichelten Pfeile aus der Literatur entnommene Wirkbeziehungen darstellen.

Zur Analyse der Entwicklung von Umweltkompetenz wurde zunächst untersucht, in wie weit die Vermittlung von Umweltwissen eine Einstellungsänderung bewirkt, die letztendlich zu umweltbewussterem Handeln führen soll (Gräsel, 2018). Neben den Konstrukten zum Umweltwissen und zur Umwelteinstellung konnten trotz Berücksichtigung von zahlreichen weiteren Variablen, wie Werteorientierungen oder Selbstwirksamkeit lediglich mäßige Korrelationen identifiziert (Maloney & Ward, 1973) und damit nur zehn bis 20 % der Varianz des Umwelthandelns erklärt werden (Fuhrer, 1995). Die aufgedeckte Kluft zwischen Wissen, Einstellung und Verhalten sowie die methodischen Schwächen der Erfassung ökologischen Handelns durch Fragebogenitems, aber auch die teilweise datengesteuerten Forschungsarbeiten ohne zugrundeliegende theoretische Annahmen führten zu vermehrter Kritik an Umweltbildungsforschung (Gräsel, 2018). In anknüpfenden Forschungsarbeiten fokussierten sich Bogner und Kaiser (2012) neben Wissen zudem auf motivationale Komponenten, um allgemeines Umweltverhalten zu fördern. Hierfür

wurde das Konstrukt der Naturverbundenheit herangezogen, das sich allerdings nur bedingt trennscharf operationalisieren lässt (Roczen et al., 2010). Aus diesem Grund prüften Brügger, Kaiser und Roczen (2011) den statistischen Zusammenhang von fünf bestehenden Messinstrumenten zur Naturverbundenheit und entwickelten darauf aufbauend eine neue Skala. Mit dem vereinheitlichten Messinstrument konnte beispielsweise die Naturverbundenheit als der stärkste Prädiktor für umweltbewusstes Verhalten ($\beta = 0.48$) identifiziert werden (Mayer & Frantz, 2004; Roczen, 2011), was weiteres Potential im Bereich Umweltmanagement eröffnet (Restall & Conrad, 2015). Unter Berücksichtigung des Konstrukts der Naturverbundenheit kann im Gegensatz zu vorherigen Studien zusammen mit Handlungs- und Wirksamkeitswissen nun 26 % der Varianz von allgemeinem Umweltverhalten aufgeklärt werden (Roczen, 2011). In einer zusammenfassenden Metaanalyse von bestehenden Strukturgleichungsmodellen wurde weiterhin das Konstrukt der persönlichen moralischen Norm im Modell mitberücksichtigt, sodass 52 % der Varianz von umweltbewusstem Verhalten erklärt werden kann (Bamberg & Möser, 2007).

Forschung zu Umweltkompetenz

Für den Bereich der BNE kommt das Review von Gräsel, Bormann, Schütte, Templer, Fischbach und Asseburg (2012) über 70 Artikel zu dem Schluss, dass Forschungsprojekte bisher unzureichend mit bestehenden Konzepten, Modellen oder Theorien verknüpft werden und kaum empirisch belastbare Erkenntnisse beispielsweise aus Interventionsstudien vorliegen. Ein ähnlich kritisches Bild zeichnen Rieckmann (2016) sowie Rieß, Mischo und Waltner (2018), sodass im Folgenden noch keine Forschungsergebnisse zur Wirkung von BNE auf Facetten der Umweltkompetenz berichtet werden können. Zwar scheiterte der Versuch für PISA 2018 ein BNE spezifisches Messinstrument zu etablieren, dennoch bleibt zu hoffen, dass dies in zukünftigen Erhebungen gelingt (Sälzer & Roczen, 2018).

Für den Bereich der Umweltbildung haben Stern et al. (2014) in ihrer Metastudie die Wirkung von Interventionen auf kognitive, affektive und konative Zielvariablen der Umweltkompetenz analysiert. Ein Wissenszuwachs gelingt bei 82 %, ein positiver Einstellungswandel bei 37 % und eine selbstberichtete verbesserte Handlungsintensität bei 48 % sowie eine umweltbewusstere Verhaltensänderung bei 16 % der untersuchten Programme (ebd.). Gräsel (2000, zitiert nach Gräsel, 2018) deckte auf, dass das Umweltwissen in der Bevölkerung eher gering ist – insbesondere existieren unvollständige und fehlerhafte Vorstellungen über den Ursprung und die Folgen von Umweltrisiken. Bezüglich affektiver Variablen zeigte Liefländer (2012) in ihrer Interventionsstudie bei

264 Probanden der vierten und sechsten Klasse, dass ein viertägiges Umweltbildungsprojekt sich kurzfristig mit mittleren Effekten signifikant auf die Umwelteinstellung ($r = 0.32$ bis 0.46) auswirkt. Die Ausprägung des Konstrukts blieb einen Monat später jedoch nur bei den jüngeren Schülern auf dem Niveau nach der Intervention ($r = 0.26$ bis -0.30) (Liefländer & Bogner, 2014). Im Bereich der konativen Variablen ging Baur (2013) der Forschungsfrage nach, inwieweit das Einbeziehen von Schülern in Umweltschutzaktionen das Umwelthandeln beeinflussen kann. In seiner Interventionsstudie im Kontrollgruppendesign mit 337 Probanden der fünften Klasse wies er auch langfristig kleine bis mittlere Effekte ($d = 0.21$ bis 0.28) in der selbstberichteten Handlungsbereitschaft und zusätzlich im beobachteten Handeln beispielsweise bei der Trennung von Abfall nach (ebd.). Die Kinder in der Experimentalgruppe entsorgten unwissentlich speziell markierte Plastikverpackung nach einer mehrstündigen Unterrichtseinheit mit einer eigenverantwortlich geführten Werbekampagne zum Recycling häufiger im richtigen Mülleimer als Kinder der Kontrollgruppe, die zwar die gleiche Unterrichtseinheit besuchten, aber kein Projekt zu einer Umweltschutzaktion bearbeiteten (Baur & Haase, 2015).

Dieser Abschnitt fokussiert auf das Konstrukt der Naturverbundenheit, da diese Variable auch in der Hauptstudie schwerpunktmäßig untersucht wird. Die repräsentativen Naturbewusstseinsstudien von 2009 bis 2015 zeigen, dass Jugendliche und junge Erwachsene im Alter bis 29 Jahren eine geringere Naturverbundenheit aufweisen als ältere Gruppen ($\eta_p^2 = 0.1 - 0.3$) (Hoppe, Chokrai & Fritsche, 2019). Diese Probanden werden überwiegend dem expeditiven Milieu zugeordnet, das sich durch den Wunsch nach kreativer Selbstentfaltung und beruflichem Erfolg, aber auch einer geringen Naturverbundenheit sowie nur einer nachhaltigen Lebensweise auszeichnet, wenn dabei eigene Ansprüche nicht zurückgesteckt werden müssen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Bundesamt für Naturschutz, 2018). Zur Genese von Naturverbundenheit sind mehrere Faktoren notwendig: Naturverbundenheit kann sowohl direkt durch Naturkontakt als auch mediiert über den Genuss des Naturaufenthalts ausgebildet werden (Roczen, 2011). Ausschlaggebend für eine ausgeprägte Naturverbundenheit ist sowohl die Häufigkeit des gegenwärtigen Naturkontakts, aber auch die in der Natur verbrachte Zeit im Alter von sieben bis zwölf Jahren und im Besonderen die Begleitung des Naturkontakts von Familie oder Freunden (Chawla, 1998). Im Gegensatz zu den Studien von Hinds und Sparks (2007) sowie Pohl (2003), die einen positiveren Umgang mit der Natur sowie ein hohes Ausmaß an Naturerfahrungen und eine differenzierte Naturwahrnehmung mit der

Wohnlage in Verbindung brachten, zeigte Roczen (2011) aus psychologischer Sicht, dass ein ländlicher oder städtischer Wohnort keinen Einfluss auf die Naturverbundenheit hat. Eine Erklärung dafür liefert die Metastudie von Ives et al. (2017) über 475 Publikationen, die zu dem Schluss kommt, dass Naturverbundenheit bisher entweder auf individueller Ebene hinsichtlich psychologischer Gesichtspunkte oder ortsabhängig bezüglich spezifischer Erfahrungen und Gefühlen, aber selten multidisziplinär erfasst wird. Außerdem stellt das Review von Zylstra et al. (2014) ein Mangel an empirischen Studien zur Wirkung in der Praxis fest:

While valuable evaluative research on the effect of (semi-)structured experiences in nature exists (. . .), there appears to be a paucity of literature which (1) specifically targets the CWN [connection with nature] construct as part of an intervention or implementation strategy; (. . .) (3) has sufficient evidence as to whether CWN programs are achieving results (. . .) or (5) is based on longitudinal analysis. Empirical research and evidence-based criteria are needed to address these current shortfalls (Zylstra et al. 2014, S: 131-132).

Pasch und Möller (2015) verfolgen das Ziel in einer Interventionsstudie die Wirkung einer mehrfachen Teilnahme an einer Bienen-AG unter anderem auf die Naturverbundenheit von Schülern zu ermitteln, wobei aktuell noch keine publizierten Ergebnisse vorliegen. Die bereits beschriebene Studie von Liefländer (2012) förderte anhand von situiertem Lernen mit einer Wasserrallye im Freiland und affektivem Naturerleben eines Sees und Bachs kurzfristig mit kleinen bis mittleren Effekten die Naturverbundenheit ($r = -0.24$ bis -0.31). Im Follow Up-Test einen Monat nach der Intervention blieb die Naturverbundenheit jedoch nur bei den jüngeren Schülern konstant auf hohem Niveau ($r = -0.17$), während der Effekt bei den älteren Schülern langfristig nicht festgestellt werden konnte (Liefländer, Fröhlich, Bogner & Schultz, 2013). Dies deckt sich mit den Erkenntnissen von Olsson und Gericke (2016), die anhand einer Quasilängsschnittstudie mit 2.413 Schülern der sechsten, neunten und zwölften Klassenstufe mit der Adoleszenz einen Abfall im Nachhaltigkeitsbewusstsein feststellten, welches wiederum in Verbindung zur Naturverbundenheit steht.

Der Überblicksartikel von Bögeholz (2006) beschreibt zahlreiche empirische Studien aus Deutschland, die unterschiedliche Naturerfahrungen beispielsweise mit der Naturverbundenheit in Verbindung bringen. Schüler mit vielen Naturerfahrungen fühlen sich verbunden mit der Natur (Lude, 2001). Dabei

gelten naturwissenschaftliche, erkundende, ästhetische und ökologische Naturerfahrungen als besonders effektiv (Bögeholz, 1999, Leske & Bögeholz, 2008). Eine der wichtigsten pädagogischen Anforderungen ist es Schülern zu mehr Naturkontakt durch das Aufsuchen natürlicher Umgebungen anzuregen und diese Naturerfahrungen mit direkten Handlungsmöglichkeiten in authentischen Situationen zu verknüpfen (Lude, 2006). Für das Gelingen dieser innovativen Bildungskonzepte ist ein positiver Naturbezug auch bei (angehenden) Lehrpersonen von großer Bedeutung, da dessen Ausprägung unmittelbar mit der eigenen Kompetenzeinschätzung sowie der Wirksamkeitserwartung für Freilandarbeit zusammenhängt (Weusmann, 2013).

(H3) Die Naturverbundenheit nimmt in der Experimentalgruppe zu.⁴

Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR basiert auf den theoretischen und empirischen Erkenntnissen der bisherigen Kapitel. Zusammenfassend bildet folgende theoretische Rahmung die Grundlage für die Ableitung der dritten Hypothese:

- Der gegenwärtige, aber auch kindliche Kontakt zur Natur, besonders in Begleitung sowie der Genuss des Naturaufenthaltes sind die wesentlichen Faktoren zur Entwicklung von Naturverbundenheit (Chawla, 1998; Roczen, 2011)
- Mehrtägige Umweltbildungsprogramme mit handlungsorientierten Aktivitäten können die Naturverbundenheit verändern (Liefländer, 2012; Stern et al., 2014)
- Naturwissenschaftliche, erkundende, ästhetische und ökologische Naturerfahrungen in authentischen Situationen führen zu einer ausgeprägten Naturverbundenheit (Bögeholz, 2006; Lude, 2006)

CHEMIE PUR geht dem Hinweis von Roczen (2011) nach, die Entwicklung der Naturverbundenheit anhand von Aktivitäten im Freiland längsschnittlich zu analysieren.

As next step, longitudinal studies that monitor the development of connection with nature over a longer period of time, are needed. In our view, intervention studies that use enjoyable experiences in and effects of nature, would be particularly suitable for that purpose (Roczen, 2011, S: 50).

⁴ Die Charakterisierung der Vergleichsgruppen wurde bereits in Kapitel 1 eingeführt, wird aber ausführlich in Kapitel 4 thematisiert.

3 Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR

Mit CHEMIE PUR wird ein innovatives und neues Konzept für den Chemieunterricht entwickelt (Logo vgl. Abbildung 6). Die Kernidee des Unterrichtskonzepts besteht darin, ausgewählte Chemiestunden in die Natur zu verlegen. Im Freiland werden so mit direkt vor Ort gewonnenen Stoffen Umweltprozesse experimentell erarbeitet. Dadurch können die von Lernenden häufig als abstrakt und komplex empfundene Inhalte des Chemieunterrichts mit alltäglichen und naturnahen Phänomenen in Einklang gebracht werden (Borrows, 2004).

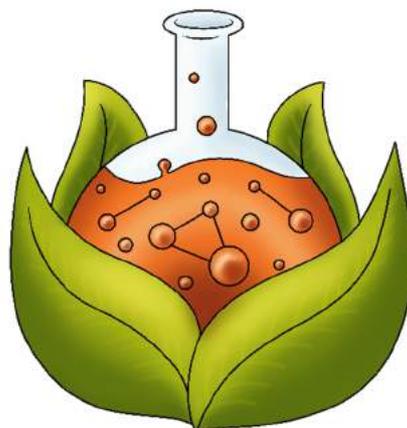


Abbildung 6: CHEMIE PUR Logo.

Als Ausgangspunkt für die Lerneinheiten in der Natur steht mit dem Freilandmobil ein Holz-Zirkuswagen zur Verfügung, der aufwändig restauriert und zu einem mobilen Umwelt-Freiland-Schülerlabor umgebaut wurde (Logo vgl. Abbildung 7). Hier erhalten Jugendliche die Möglichkeit, in einer authentischen Lernumgebung umwelt- und naturbezogene Themen zu erfahren und experimentell zu erarbeiten. Dies motiviert und befähigt sie zu einer reflexiven Auseinandersetzung mit drängenden sozialen, ökonomischen und ökologischen Fragen zur zukünftigen Gestaltung ihrer Umwelt nach dem Motto „nur was man kennt, schätzt man; nur was man schätzt, schützt man auch“ (vgl. Knauer & Brandt, 1995).



Abbildung 7: Freilandmobil Logo.

Die CHEMIE PUR Lerneinheiten richten sich an Lernende der Sekundarstufe II. Die Konzeption der Lerneinheiten basiert auf aktuellen und empirischen Erkenntnissen der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik und orientiert sich an folgenden Kriterien (Engl & Risch, 2015):

(1) *Experimente außerhalb des Klassenzimmers („Die Natur als Labor“)*

Dieses Kriterium zielt auf die Lernumgebung im Freiland ab. Die theoretischen und empirischen Grundlagen zu Outdoor Education sind bereits in Kapitel 2.1 erörtert worden.

(2) *Reaktionen von Naturstoffen mit möglichst wenig Laborgeräten und -chemikalien*

Dieses Kriterium befasst sich mit den Rahmenbedingungen der Experimente⁵. Schülerexperimente im Chemieunterricht sollten beispielsweise an vorhandene Kenntnisse anschließen, für die Altersstufe geeignet sein, kein Sicherheitsrisiko darstellen, an die Gegebenheiten angepasst und technisch durchführbar sein (Reiners & Saborowski, 2017). Um die Gegebenheiten zu berücksichtigen, im Freiland mit Naturstoffen zu experimentieren, müssen neben den Aspekten wie zeitlicher Umfang, Sicherheit und Kosten insbesondere der Umweltschutz und die Passung sowie mögliche Reduzierung der Materialien beachtet werden (Bader & Lühken, 2018). Generell sollten Schülerexperimentierphasen sorgsam geplant werden, weil diese häufig mit mehr Hoffnungen als Erfüllungen verbunden sind (Wirth, Thillmann, Künsting, Fischer & Leutner, 2008). Beispielsweise verhindert das triviale kochbuchartige Abarbeiten einer Versuchsvorschrift die nötige Einsicht zur Reflexion, Deutung und Interpretation der Beobachtung (Melle et al., 2004a). Zur kognitiven Aktivierung und Befriedigung des Autonomieerlebens wurden vereinzelt unvollständige Versuchsanweisungen eingesetzt, bei denen das Experiment als Forscherauftrag selbst geplant werden musste (Deci & Ryan, 2002; Di Fuccia & Ralle, 2009). Gemäß der Cognitive Load Theory kann dadurch die lernbezogene kognitive Belastung (germane cognitive load) in den gewünschten lernförderlichen Bereich gelenkt werden (Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998). Zudem sollte die intrinsische und extrinsische kognitive Belastung auf einem niedrigen Niveau liegen, damit das Arbeitsgedächtnis möglichst viele Ressourcen für den Wissenserwerb frei hat (Artino, 2008). Bei Schülerexperimenten stellt die Vernetzung von Theorie und Praxis einen komplexen Sachverhalt dar, sodass vom beobachtbaren Effekt der Durchführung nur selten auf die fachliche Erklärung rückgeschlossen wird (Lunetta, Hofstein & Clough, 2007). Dieser intrinsischen kognitiven Belastung (intrinsic cognitive load) kann entgegengewirkt werden, wenn die Experimentiersituation entsprechend vor- und nachbereitet wird (Gerjets, Scheiter & Catrambone, 2004; De Jong, 2010). Extrinsische kognitive Belastung (extraneous cognitive

⁵ In der vorliegenden Arbeit wird keine Unterscheidung zwischen Versuchen als Medien im Unterricht und Experimenten als Methode naturwissenschaftlichen Handelns getroffen (Bleichroth, Dahncke, Jung, Kuhn, Merzyn & Weltner, 1999).

load) kann von der Gestaltung der Versuchsskripte ausgehen, beispielsweise durch mangelnde Verständlichkeit der Texte, die mit einer Textoberflächenanalyse aufgedeckt werden kann (Kulgemeyer & Staraschek, 2014). Die Konzeption der Experimente erfolgte unter Berücksichtigung aller angesprochenen Punkte. Als Indikator der allgemeinen kognitiven Belastung wurde die Selbsteinschätzung der Aufgabenschwierigkeit herangezogen (Leppink, Paas, Van der Vleuten, Van Gog & Van Merriënboer, 2013).

(3) *Umweltprozesse, die am konkreten Anschauungsobjekt erklärt werden*

Dieses Kriterium bedient naturnahe Kontexte. Die theoretischen und empirischen Grundlagen zu Lernen im Kontext sind bereits in Kapitel 2.2 erörtert worden.

(4) *Inhaltliche Orientierung an den Basiskonzepten des Chemieunterrichts*

Im Zuge der Kompetenzorientierung wurde der Wechsel von Input- zur Outputorientierung vollzogen. Dadurch soll unter anderem eine naturwissenschaftliche Grundbildung gewährleistet, prozessorientiertes Wissen zur Anwendung theoretischer Zusammenhänge in Problemlösesituationen aufgebaut und die Bedeutung der Disziplin der Chemie für die Gesellschaft dargestellt werden (Melle, Parchmann & Sumfleth, 2004b). Dazu gliedert sich das Unterrichtsfach Chemie in den inhaltsbezogenen Kompetenzbereich des Fachwissens sowie in die prozessbezogenen Kompetenzbereiche der Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung (Kultusministerkonferenz, 2004). Das Fachwissen wird im Rahmen der einheitlichen Abituranforderungen bundesweit in die Basiskonzepte Stoff-Teilchen, Struktur-Eigenschaft, Donator-Akzeptor, Energie und Gleichgewicht unterteilt (ebd.). Neben der Orientierung an den Basiskonzepten werden die Inhalte der CHEMIE PUR Lerneinheiten zusätzlich auf den rheinland-pfälzischen Lehrplan der Sekundarstufe II abgestimmt (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz, 1998).

(5) *Einsatz digitaler Medien*

Kinder und Jugendliche im Alter zwischen zwölf und 19 Jahren verbringen viel Zeit in der virtuellen Welt sozialer Netzwerke: sie sind täglich (Mo – Fr) 214 Minuten online und nutzen am häufigsten WhatsApp mit dem Smartphone (Rathgeb & Behrens, 2018). Diese Entwicklung hin zu einer verstärkt elektronischen Kommunikation sollte nicht ignoriert, sondern explizit im schulischen Unterricht sinnvoll mitgestaltet werden, beispielsweise um Jugendliche für naturwissenschaftliche Phänomene im Freiland zu motivieren. Durch passgenaue digitale Lernmodule oder Apps können reale Naturbegegnungen unterstützt und mit einer gut geplanten Verzahnung

entdeckendes und selbst gesteuertes Lernen in der Natur gefördert werden (Unterbrunner, 2014). Einsatzmöglichkeiten umfassen beispielsweise Bestimmungshilfen für Pflanzen und Tiere, die Identifikation von Vogelstimmen, GPS-basierte Orientierung im Gelände oder die digitale Messwerterfassung und -auswertung von Umweltparametern (Lindner, 2014). Ein kreativer Ansatz für den Chemieunterricht stellt das Projekt Chemtracking dar, welches als Geocache mit mehreren Stationen im Wald über QR-Codes Informationen zu Chemie in der Natur bietet und mit Experimenten im Schulunterricht verbindet (Spitzer & Gröger, 2014; Spitzer & Lembens, 2017). Vergleichbare Ansätze sind auch von Hock (2015) und Borrows (2004) entwickelt worden. Im Rahmen der CHEMIE PUR Lerneinheiten wurde eine interaktive Umweltrallye konzipiert, die das Prinzip der GPS-geleiteten Stationsarbeit aufgreift, mit digitalen Elementen erweitert (z. B. Bestimmungsschlüssel, Lernaufgaben, Animationen) und mit vor Ort durchführbaren Versuchen verknüpft.

Die Umsetzung des didaktischen Konzepts als mehrstündige Unterrichtseinheit wird im Folgenden konkretisiert. Dabei werden die Rahmenbedingungen der Unterrichtskonzepte „Chemie fürs Leben“ (Flint, 2014) und „Chemie im Kontext“ (Parchmann, Ralle & Di Fuccia, 2008) berücksichtigt. CHEMIE PUR durchläuft in einer Lerneinheit drei Phasen:

(1) Einführung zur Kontextualisierung und Erläuterung der fachlichen Hintergründe

Am Beispiel der Lerneinheit „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ wird die Einführung exemplarisch vorgestellt. Zunächst wird mit dem Slogan „Sommer, Sonne, Sonnenbrand“ ein für Schüler bedeutsamer Kontext geschaffen, der im Anschluss nach dem Motto „Sonne(n) mit Verstand“ auf den Nutzen und die Gefahren der Sonnenstrahlung übertragen wird. Dabei werden im Unterrichtsgespräch Sonnenschutzmechanismen sowohl beim Menschen als auch bei Pflanzen thematisiert. Abschließend werden die durchzuführenden Experimente anhand des Donator-Akzeptor-Basiskonzepts strukturiert. Außerdem werden auf Gefahrenquellen oder andere Besonderheiten der Versuche hingewiesen. Auch wenn die Lernumgebung nicht den Räumlichkeiten eines Chemielabors entspricht, gelten nach wie vor die gleichen Regularien. Generell ist auf einen sorgsamen Umgang mit den Materialien und Chemikalien zu achten. Wie im Chemieunterricht üblich, wird während dem Experimentieren beispielsweise eine Schutzbrille getragen und es darf nichts gegessen und getrunken werden. Bei manchen Versuchen wird mit reizenden, ätzenden, leicht

(2) *Eigenverantwortliches Experimentieren mit Naturstoffen im Freiland*

Für die Durchführung der Lerneinheiten erhalten Kleingruppen von zwei bis fünf Lernenden einen Koffer mit Laborgeräten, einem Reagenziensatz an Chemikalien, einem GPS Gerät und einem Tablet PC. Auf dem Tablet-PC befindet sich ein vorbereitetes Lernmodul, welches Hintergrundinformationen zum Sachverhalt bietet, Arbeitsaufträge mit Versuchsvorschriften darstellt, GPS-Koordinaten der Standorte der jeweiligen Naturmaterialien auflistet und Ergebnisse der Experimente sowie Erkenntnisse der ablaufenden Umweltprozesse durch begleitende Lernaufgaben abprüft. Dadurch identifizieren die Lernenden beispielsweise mit einer Bestimmungshilfe eine Pflanze, erhalten Informationen zu den Inhaltsstoffen und übertragen ihre Eigenschaften auf eine ökologische Funktion. So werden in der naturnahen Lernumgebung unterschiedliche Naturstoffe extrahiert und deren Eigenschaften experimentell untersucht. Die Besonderheit dieses Unterrichtskonzepts liegt im tatsächlichen Einbezug der Natur (z. B. Boden, Pflanzen, Gewässer, Sonnenlicht). Deshalb wird auf kultivierte Pflanzen oder industriell hergestellte Naturstoffe verzichtet, um authentisch naturnahes Lernen im Freiland zu verwirklichen. Zusätzlich werden Naturmaterialien eingesetzt, deren aufbereitete Naturstoffe als Edukte für fortführende Experimente genutzt werden. Im Unterschied zu anderen Ansätzen (vgl. Molisch & Dobat, 1979; Schwedt, 2007; Steinecke et al., 2007), erfolgt nicht nur der Nachweis spezifischer Inhaltsstoffe, sondern auch eine Initiierung fortführender chemischer Reaktionen. Da die meisten Versuche mit aus der Natur entnommenen Materialien durchgeführt werden, haben die chemischen Reaktionen eher einen qualitativen Charakter. Beispielsweise erscheint die Nachweisreaktion von Calcium-Ionen in einer Bodenlösung mit dem Extrakt des Sauerampfers grünlich und trüb, während mit Reinstoffen ein weißer Niederschlag zu erwarten wäre. Außerdem wird bei den Versuchsbeschreibungen darauf verzichtet, exakte Mengenangaben vorzuschreiben, da die extrahierten Naturstoffe standort-, tages- und jahreszeitenabhängig in unterschiedlichen Konzentrationen vorkommen.

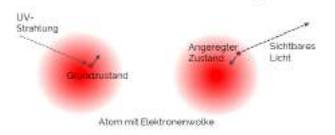
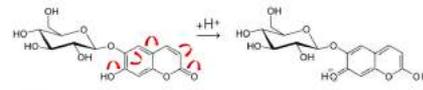
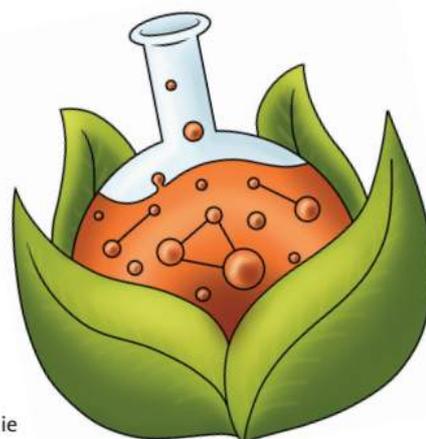
		<p>SONNENSCHUTZ IM MODELLEXPERIMENT</p>			<p>ABSORPTION UND EMISSION WECHSELSPIEL DER ROSSKASTANIE</p>
<p>Cyanotypie</p> <p>Reflexion als Sonnenschutz</p> <p>Absorption als Sonnenschutz</p> <p>Faszination Fluoreszenz</p> <p>pH-Wert Abhängigkeit</p>	<p>Nachweis der UV-Absorption von Aesculin</p> <ul style="list-style-type: none"> Roskastanien-Extrakt ist UV-aktiv Aesculin als Fluoreszenzfarbstoff mit ausgedehntem π-Elektronensystem Absorbiert nicht wie bei anderen Farbstoffen üblich sichtbares Licht sondern im kurzwelligen UV-Bereich 	<p>Cyanotypie</p> <p>Reflexion als Sonnenschutz</p> <p>Absorption als Sonnenschutz</p> <p>Faszination Fluoreszenz</p> <p>pH-Wert Abhängigkeit</p>	<p>Nachweis der Fluoreszenzerscheinung</p>   <p><small>https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ef/Aesculin.jpg/300px-Aesculin.jpg</small></p>		
		<p>SÄURE-BASE-REAKTION MIT ROSSKASTANIEN-EXTRAKT</p>			<p>ALEXANDER ENGL PROF. DR. BJÖRN RISCH</p>
<p>Cyanotypie</p> <p>Reflexion als Sonnenschutz</p> <p>Absorption als Sonnenschutz</p> <p>Faszination Fluoreszenz</p> <p>pH-Wert Abhängigkeit</p>	<p>Fluoreszenz löschen & wiederherstellen</p> <p>Protonierung durch Säure</p>  	<p>Vielen Dank für die finanzielle Unterstützung!</p>  			

Abbildung 9: Abschließende Folien zur Nachbesprechung der Lerneinheit „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“.

Die Philosophie von CHEMIE PUR wird nachfolgend mittels fünf bereits erschienen Veröffentlichungen veranschaulicht. Die Darstellung des Eigenanteils der Publikationen ist im Anhang einsehbar. Zunächst wird in das zuvor beschriebene Unterrichtskonzept mit einem Überblicksartikel eingeführt (Engl & Risch, 2019). Anschließend werden in die fachlichen Hintergründe der vier Lerneinheiten „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ (Engl & Risch, 2014), „Ätherischen Ölen auf der Spur“ (Engl, Schmelzer & Risch, 2018), „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ (Engl & Risch, 2016a) und „Farbenpracht im Freiland“ (Engl & Risch, 2016b) dargelegt sowie die Inhalte der Artikel zusammengefasst.

Chemiedidaktik

Die Natur als Labor – Chemieunterricht im Freiland



„Natur statt Chemie“, „Chemiefreies Leben“, „Stark ohne Chemie“, die Liste an diesen aus der Werbung entnommenen Slogans ließe sich beliebig erweitern. Doch Chemie kommt überall vor, erst recht in der Natur.

Konsumgüter werden häufig mit Slogans beworben, die sie gezielt von Chemie abgrenzen sollen. Doch selbst wenn Putzmittel, Medikamente, Kosmetika oder Lebensmittel keine synthetischen Chemikalien aufweisen, sind dennoch chemische Inhaltsstoffe für die gewünschte Wirkung verantwortlich.

Dass solche Werbesprüche die Gesellschaft beeinflussen, zeigen beispielsweise Ergebnisse der Rose-Studie (The Relevance of Science Education). Hierbei gaben unter 15-jährigen Deutschen circa 65 Prozent der befragten Mädchen und 50 Prozent der Jungen an, dass sie die schädlichen Auswirkungen der Na-

turwissenschaften gravierender einstufen als deren Nutzen.¹⁾

Im Gegensatz dazu gibt es in der Gesellschaft oft romantisierte Vorstellungen von der Natur. Der Jugendreport Natur betitelte dieses Phänomen als Bambi-Syndrom: Jugendliche halten Natur grundsätzlich für harmonisch und schön, aber auch für bedroht und hilfsbedürftig.²⁾

In der öffentlichen Meinung sind Chemie und Natur demnach Gegensätze. Dass Chemie als Naturwissenschaft die Natur beschreibt, um deren Stoffe und Stoffumwandlungen zu erklären, ist Laien selten bewusst. Doch Chemie gibt es insbesondere in der Natur. An diesem Punkt setzt das Unterrichtskonzept „Chemie Pur – Unterrichten in der Natur“ an.

Oberstufe und berücksichtigen die Rahmenbedingungen von „Chemie im Kontext“,³⁾ sie zeigen also die Rolle der Chemie für die Lebenswelt der Schüler. Chemie Pur orientiert sich an folgenden Kriterien:

- Experimente außerhalb des Klassenzimmers (Natur als Labor),
- Reaktionen von Naturstoffen mit möglichst wenig Laborgeräten und -chemikalien,
- Umweltprozesse am Anschauungsobjekt,
- inhaltliche Orientierung an den Basiskonzepten des Unterrichtsfachs Chemie,
- Einsatz digitaler Medien.

Innerhalb einer Lerneinheit gibt es drei Phasen: Erläuterung der fachlichen Hintergründe, eigenverantwortliches Experimentieren im Freiland und Deutung der Ergebnisse.

Grafik: Jasmin Hirtl

QUERGELESEN

- » Das Unterrichtskonzept Chemie Pur nutzt Substanzen aus der Umwelt als Experimentiermaterial. Der Unterricht findet im Freien statt.
- » Bei der Lerneinheit „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ analysieren Schüler qualitativ Bestandteile des Bodens, etwa Calcium- und Eisenionen, und zwar mit Inhaltsstoffen aus Sauerampfer, Kirschlorbeer, Mädesüß oder Hagebutte.
- » Nach den Unterrichtsstunden in der Natur nehmen die Schüler der Sekundarstufe II Chemie und Natur stärker als Einheit wahr.

Das Unterrichtskonzept

Die Idee des Unterrichtskonzepts Chemie Pur besteht darin, Chemiestunden in die Natur zu verlegen. Die Schüler sollen dabei mit Stoffen, die sie direkt vor Ort gewinnen, Umweltprozesse experimentell erarbeiten. Dies bringt die von Lernenden häufig als abstrakt empfundenen Inhalte des Chemieunterrichts mit naturnahen Phänomenen in Einklang. Die Chemie-Pur-Lerneinheiten richten sich an die

Ablauf einer Chemie-Pur-Lerneinheit

Die erste Phase soll den Schülern den Kontext klar machen, also welchen Hintergrund und welche Bedeutung die Experimente in der Lebenswelt der Schüler haben. Die Lehrer erläutern das notwendige Fachwissen, weisen auf Gefahrenquellen oder andere Besonderheiten der Versuche



Abb. 1. Zwei Schülerinnen identifizieren den Kirschlorbeerstrauch anhand einer Bestimmungshilfe auf dem PC. Fotos: Alexander Engl

hin, etwa wie Chemikalien aufzubewahren und zu entsorgen sind.

In der zweiten Phase erhalten Kleingruppen von zwei bis fünf Lernenden einen Koffer mit Laborgeräten (Abbildung 1), einem Reagenziensatz, einem GPS-Gerät und einem Tablet-PC. Auf dem Tablet-PC befindet sich ein vorbereitetes Lernmodul mit Hintergrundinformationen sowie Arbeitsaufträgen mit Versuchsvorschriften. Zudem listet es die GPS-Koordinaten der Standorte der jeweiligen Naturmaterialien und prüft mit Lernaufgaben die Ergebnisse der Experimente sowie Erkenntnisse über die Umweltprozesse.

Die Besonderheit dieses Unterrichtskonzepts liegt darin, dass es zum Beispiel Boden, Pflanzen, Gewässer und Sonnenlicht einbezieht. Deshalb verzichtet es bewusst auf kultivierte Pflanzen oder industriell hergestellte Naturstoffe. Zusätzlich werden Naturmaterialien eingesetzt, deren aufbereitete Inhaltsstoffe als Edukte für weitere Experimente dienen.

Anders als bei anderen Ansätzen⁴⁾ weisen die Schüler nicht nur Inhaltsstoffe nach, sondern nutzen sie auch, um weitere chemische Reaktionen einzuleiten. Die Fachdidaktik unterscheidet dabei explizit zwischen Stoff- und Teilchenebene.

Da die meisten Materialien für

die Versuche der Natur entnommen werden, haben die Experimente eher qualitativen Charakter. Außerdem nennen die Versuchsbeschreibungen keine exakten Mengenangaben, da die extrahierten Naturstoffe standort-, tages- und jahreszeitabhängig in unterschiedlichen Konzentrationen vorkommen.

Gemeinsam mit den Schülern fasst der Lehrer schließlich die Ergebnisse zusammen und ordnet die Deutungen in Basiskonzepte der Chemie ein, wie sie für die gymnasiale Oberstufe vorgegeben sind. Abschließend übertragen die Schüler die Erkenntnisse auf konkrete Umweltprozesse.



Abb. 3. Eine Schülergruppe untersucht Oxalsäure aus den Blättern des Sauerampfers.

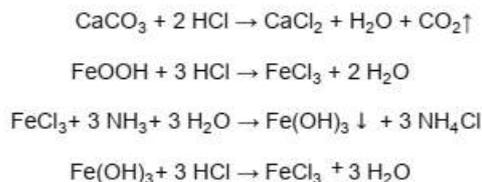


Abb. 2. Reaktionen beim pH-abhängigen Trennverfahren für Bodenproben.

Bodenanalyse mit organischen Säuren

Bodenkundliche Themen eignen sich hervorragend dazu, Lernenden naturwissenschaftliche Phänomene und Zusammenhänge anhand von Experimenten zu veranschaulichen. Denn das Ökosystem Boden bildet Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und andere Bodenorganismen. Zudem erhalten Schüler die Möglichkeit, selbst aktiv zu werden.

Die Lerneinheit „Bodenanalyse mit organischen Säuren“⁵⁾ zeigt das Donator-Akzeptor-Basiskonzept am Beispiel einer qualitativen

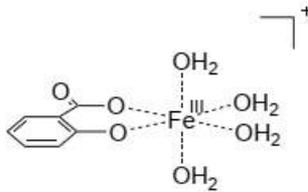


Abb. 4. Salicylatoeisen(III)-Komplex; er entsteht, wenn der wässrige Extrakt der Mädesüßblüten mit Eisen(III)-ionen-haltiger Lösung versetzt wird.

Untersuchung der anorganischen Bestandteile des Bodens. Die Experimente thematisieren dabei Säure-Base-Reaktionen, Fällungsreaktionen, Komplexbildungsreaktionen und Redoxreaktionen und zeigen ein praktisches Anwendungsbeispiel. Dazu dienen Eisen- und Calciumkationen sowie das Carbonation. Eisen- und Calciumionen spielen im Stoffwechsel von Pflanzen eine wichtige Rolle, Carbonationen fungieren als pH-Puffer im Boden.⁶⁾

Die Stationen: Boden, Blätter, Früchte

An der ersten Station der Lerneinheit entnehmen die Schüler eine Bodenprobe. Die darin enthaltenen Ionen schließen sie mit einem pH-

abhängigen Trennverfahren auf (Abbildung 2, S. 19).⁷⁾

Mit dem Extrakt aus Sauerampferblättern fällen die Schüler an der zweiten Station Calciumionen aus der Bodenlösung als Calciumoxalat (Abbildung 3, S. 19).

An den Stationen drei und vier weisen die Schüler Eisenionen in der Bodenprobe nach: Mit dem Extrakt aus Mädesüßblüten bildet sich der Salicylatoeisen(III)-Komplex (Abbildung 4),⁸⁾ der Eisen durch seine braune bis violette Farbe anzeigt. Da Mädesüß nur im Juni und Juli blüht und nur auf Feuchtwiesen und an Gewässersäumen wächst, ist eine verdünnte Salicylsäurelösung eine Alternative.

Mit dem Extrakt von Blättern des Kirschchlorbeers (Station vier) bildet sich Berliner Blau. Kirschchlorbeer enthält Prunasin, das durch wässrige Extraktion hydrolytisch gespalten wird und Blausäure freisetzt.⁹⁾

Mit Hagebuttenextrakt entfärben die Schüler an der fünften Station die Lösungen mit den positiven Eisennachweisen wieder, da die Ascorbinsäuremoleküle aus den Früchten die Eisenionen reduzieren.

Abbildung 5 zeigt alle Lösungen der Lerneinheit nebeneinander.

Weitere Einheiten mit Lavendel, Rosskastanien oder Brombeeren

Drei weitere Chemie-Pur-Einheiten sind bisher veröffentlicht: „Ätherischen Ölen auf der Spur“,¹⁰⁾ „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“¹¹⁾ und „Farbenpracht im Freiland“.¹²⁾

In der Einheit über ätherische Öle bauen die Schüler zunächst eine freilandtaugliche Wasserdampfdstillationsapparatur, mit der sie aus getrockneten Lavendelblüten das Öl gewinnen. Mit dem Öl untersuchen die Schüler dessen Stoffeigenschaften, beispielsweise dessen Löslichkeit oder Flüchtigkeit.

Die Lerneinheit über Sonnenschutz thematisiert die positiven und negativen Auswirkungen von UV-Strahlung auf Menschen und Natur. Dabei betrachten die Schüler unter anderem die Fluoreszenz von Rosskastanienextrakt.

„Farbenpracht im Freiland“ greift pflanzliche Farbstoffe auf und gliedert sie nach ihrer molekularen Struktur, dem Vorkommen in unterschiedlichen Organen und der damit verbundenen ökologischen Funktion.

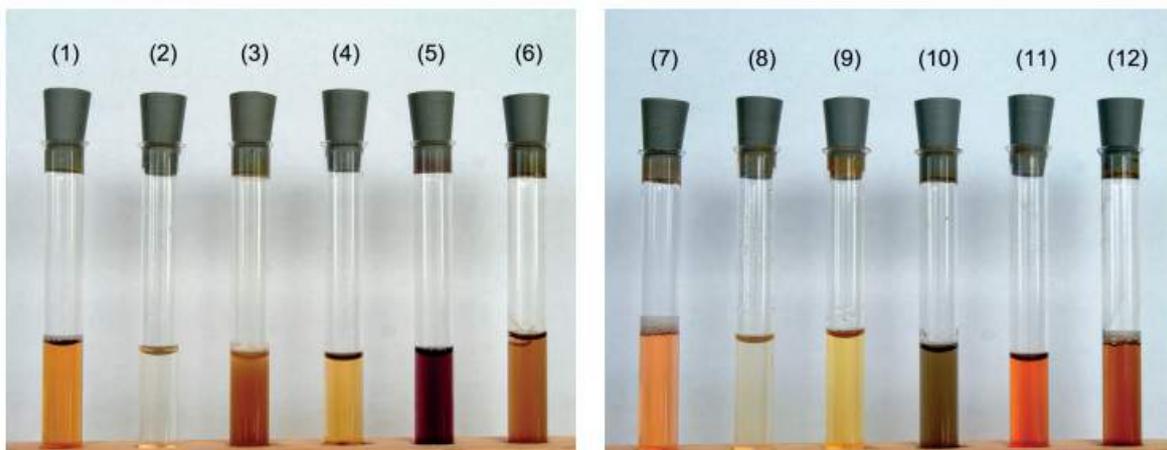


Abb. 5. Edukte und Produkte der Nachweisreaktionen der Stationen Sauerampfer, Mädesüß, Lorbeer- und Hagebutte: (1) Sauerampferextrakt, (2) Calciumionen-haltige Bodenlösung, (3) Calciumoxalat als Produkt von (1) und (2), (4) Eisenionen-haltige Bodenlösung, (5) Reaktionsprodukt von (4) und Salicylsäurelösung, (6) Reaktionsprodukt von (5) und Hagebuttenextrakt (11), (7) Kirschchlorbeerextrakt, (8) Eisen(II)-lösung, (9) Eisen(III)-lösung, (10) Berliner Blau als Produkt von (7) bis (9), (11) Hagebuttenextrakt, (12) Reaktionsprodukt von (10) und (11).

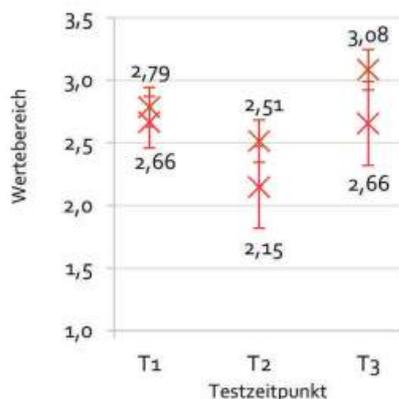


Abb. 6. Gemittelte Einstellung von Schülern zu Chemie und Natur (Standardabweichung als Fehlerbalken) vor der Durchführung (T₁), nach der Durchführung (T₂) und nach einer zwei-monatigen Sommerpause (T₃); Experimentalgruppe mit 85 Probanden (Braun) und Kontrollgruppe mit 64 Probanden (Rot); je höher der Wert, desto stärker nehmen die Befragten Chemie und Natur als Einheit wahr.

Jugendliche und ihre Einstellung

Eine empirische Untersuchung zu Chemie Pur stellte eine übergeordnete Forschungsfrage: Wie wirkt sich das Unterrichtskonzept auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülern der Sekundarstufe II aus?¹³⁾ Dies beantwortet eine quantitative Evaluationsstudie im Kontrollgruppendesign.

An der Studie beteiligten sich 191 Jugendliche aus 13 Grund- und Leistungskursen der Jahrgangsstufen elf und zwölf von drei städtischen allgemeinbildenden Gymnasien. Sie waren im Schnitt 17 Jahre alt; 49 Prozent waren Mädchen. Die Schüler der Kontrollgruppe wurden in den Räumen der Universität in Landau unterrichtet, während sich die Experimentalgruppe mit den Chemie-Pur-Lerneinheiten im naturnahen Umfeld am Campus bewegte.

Der zeitliche Umfang der Studie betrug für alle Schüler fünf Doppelstunden. Vor und nach der Studie wurden sie schriftlich befragt. Die Probanden mussten sich dabei unter anderem auf einer vierstufigen Skala (von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft zu“ (4)) zu Fragen wie „In der Natur fühle ich mich umgeben von Chemie“ oder „In der Natur ist kaum Chemie zu finden“ positionieren. Die Schüler der Experimentalgruppe nahmen nach den Chemie-Pur-Lerneinheiten Chemie und Natur stärker als Einheit wahr als die Schüler der Kontrollgruppe. Diese Einstellungsver-

änderung ist klein, aber signifikant (Abbildung 6).

Dieses Ergebnis passt zu den Befunden einer aktuellen Metastudie, die eine verbesserte Umwelteinstellung durch Outdoor-Education-Programme, die im Lehrplan verankert wurden, identifiziert hat.¹⁴⁾ Chemieunterricht sollte daher das Potenzial der lokalen Schulumgebung nutzen, nach dem Motto des britischen Chemiedidaktikers Peter Borrows, der seit Jahren die Idee verfolgt, den Chemieunterricht nach draußen zu verlegen: „Put down your test tube and take to the streets!“¹⁵⁾

- 1) S. Sjøberg, C. Schreiner, The ROSE project. An overview and key findings, University of Oslo, Oslo, 2010
- 2) R. Brämer, Natur obskur. Wie Jugendliche heute Natur erfahren, Oekom Verlag, München, 2006
- 3) I. Parchmann, B. Ralle, D. Di Fuccia, Entwicklung und Struktur der Unterrichtskonzeption Chemie im Kontext, in Chemie im Kontext. Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts [Hrsg.: R. Demuth, C. Gräsel, I. Parchmann, B. Ralle], Waxmann, Münster, 2008
- 4) G. Schwedt, Chemie für alle Jahreszeiten. Einfache Experimente mit pflanzlichen Naturstoffen, Wiley-VCH, Weinheim, 2007
- 5) A. Engl, B. Risch, Naturwiss. Unterr. Chem., 2014, 144, 34–37
- 6) W. Amelung, H.-P. Blume, H. Fleige et al., Lehrbuch der Bodenkunde, Springer, Berlin, Heidelberg, 2018
- 7) U. Bartel, W. Knabe, Chem. Unserer Zeit, 1990, 24, 131–134
- 8) J. Mitchell-Koch, K. Reid, M. Meyerhoff, J. Chem. Educ., 2008, 85, 1658–1659
- 9) H. H. Pickel, B. Lutz, Prax. Naturwiss., Chem. Sch., 1993, 42, 30–35
- 10) A. Engl, A. Schmelzer, B. Risch, CHEMKON, 2018, 25, 7–15
- 11) A. Engl, B. Risch, Green Teacher, 2016, 109, 39–42

- 12) A. Engl, B. Risch, Prax. Naturwiss., Chem. Sch., 2016, 65, 45–49
- 13) A. Engl, B. Risch, Chemie Pur – Unterrichten in der Natur: Ein Konzept zur Änderung der Einstellung im Bereich „Chemie und Natur“, in Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017 [Hrsg.: C. Maurer], Universität Regensburg, Regensburg, 2018
- 14) C. Becker, G. Lauterbach, S. Spengler, U. Dettweiler, F. Mees, Int. J. Environ. Res. Public Health 2017, 14, 1–20
- 15) P. Borrows, Sch. Sci. Rev., 2006, 87, 23–31; www.gettingpractical.org.uk/documents/SSRChemistryOutdoors_000.pdf

Wir bedanken uns für die Förderung des Projekts durch den Fonds der Chemischen Industrie im Programm „Chemiedidaktik“ und beim Land Rheinland-Pfalz für die Unterstützung durch das Hochschulprogramm „Wissen schafft Zukunft“.

Alexander Engl ist seit dem Jahr 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Chemiedidaktik an der Universität in Landau. Für seine Promotion hat er das Unterrichtskonzept „Chemie Pur – Unterrichten in der Natur“ entwickelt sowie evaluiert und arbeitet in den Projekten „Transfer virtueller Labore in den schulischen Unterricht“ sowie „Reallabor Queichland“ mit. Engl hat Biologie und Chemie für das Lehramt an Gymnasien studiert. engl@uni-landau.de



Björn Risch ist seit dem Jahr 2010 Professor für Chemiedidaktik an der Universität Koblenz-Landau. Er befasst sich unter anderem mit Lernprozessen in Lehr-Lern-Laboren, Modellexperimenten für Umweltprozesse, Chemieunterricht in der Natur, Bildung für nachhaltige Entwicklung im naturwissenschaftlichen Unterricht sowie in der Lehrerbildung. Risch promovierte im Jahr 2006 an der Universität Bielefeld bei Gisela Lück. risch@uni-landau.de



3.1 Bodenanalyse mit Organischen Säuren

Das Ökosystem Boden bildet die Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und andere Bodenorganismen. Sowohl im Kohlenstoff- als auch im Wasserkreislauf übernimmt er wichtige Regelungsfunktionen und ist Filter-, Puffer-, Speicher- und Transformationssystem (Amelung et al. 2018). Die Störung dieser Prozesse führt zu Problemen wie Bodendegradation, Wasserknappheit oder Freisetzung von Klimagasen (ebd.). Darum ist Boden, als nicht vermehrbares Gut, besonders kostbar und die Sensibilisierung der Bevölkerung für einen nachhaltigen Umgang erstrebenswert (Vereinte Nationen, 2015). Bodenkundliche Themen eignen sie sich hervorragend dafür, Schülern aktiv, experimentell und anschaulich zahlreiche naturwissenschaftliche Phänomene und Zusammenhänge zugänglich zu machen. Der Bezug zum rheinland-pfälzischen Lehrplan der Sekundarstufe II im Fach Chemie ist mit dem Pflichtbaustein „Analytik in Anwendungen“ gewährleistet (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz, 1998). Wie in der nachfolgend vorgestellten CHEMIE PUR Lerneinheit „Bodenanalyse mit Organischen Säuren“ (Engl & Risch, 2014) lässt sich das Donator-Akzeptor-Basiskonzept am Beispiel einer qualitativen Untersuchung der anorganischen Bestandteile des Bodens erarbeiten (Kultusministerkonferenz, 2004).

Die in der Natur durchführbaren Experimente thematisieren die Reaktionsarten „Säure-Base-Reaktion“, „Fällungsreaktion“, „Komplexbildungsreaktion“ und „Redoxreaktion“ theoretisch und zeigen ein praktisches Anwendungsbeispiel auf. Dazu dienen die Kationen Eisen und Calcium sowie das Carbonat-Anion. Eisen- und Calcium-Ionen sind Nährelemente, die im Stoffwechsel von Pflanzen eine wichtige Rolle spielen und Carbonat-Ionen fungieren als pH-Puffer im Boden (Amelung et al., 2018). An der ersten Station der CHEMIE PUR Lerneinheit wird eine Bodenprobe gesammelt und die darin enthaltenen Ionen mittels pH-Wert abhängiger Trennungsvorgängen aufgeschlossen (Bartels & Knabe, 1990). Die Calcium-Ionen haltige Bodenlösung wird an der zweiten Station mit aus Sauerampfer extrahierter Oxalsäure ausgefällt. Die dritte und vierte Station dient dem Nachweis der Eisen-Ionen als Komplexbildungsreaktion. Hier wird die Eisen-Ionen haltige Bodenlösung mit einer Salicylsäure-Lösung oder einem Extrakt aus Kirschlorbeer versetzt. Beispielsweise entsteht aus den Eisen-Ionen und den im Kirschlorbeerextrakt enthaltenen Blausäure-Molekülen der Berliner Blau Komplex (Pickel & Lutz, 1993). An der

fünften Station werden die farbigen Reaktionsprodukte der positiven Eisennachweise mit einem Extrakt aus Hagebutten entfärbt. Dabei reagieren die Ascorbinsäure-Moleküle des Hagebuttenextrakts in einer Redoxreaktion.

CHEMIE PUR: Unterrichten im Freiland mit Naturstoffen

Eine interaktiv experimentelle Bodenrallye

„Ganz natürlich, also ohne Chemie“ – Dieser scheinbare Antagonismus ist in den Köpfen der Öffentlichkeit fest verankert [1–3]. Dabei findet Chemie überall statt, insbesondere in der Natur [4]! Zur Veranschaulichung dieser Aussage verlegt das Projekt CHEMIE PUR Teile des Chemieunterrichts nach draußen ins Freiland. Denn Naturerfahrungen bedingen die Genese von umweltbewusster Einstellung und wirken positiv auf die physische und psychische Gesundheit, ebenso wie auf die soziale Entwicklung [5, 6]. Das Konzept CHEMIE PUR orientiert sich dabei an folgenden Kriterien:

- (1) Experimente außerhalb des Klassenzimmers,
- (2) Reaktionen von Naturstoffen mit möglichst wenig Laborgeräten und -chemikalien,
- (3) Umweltprozesse, die am konkreten Anschauungsobjekt erklärt werden,
- (4) Inhaltliche Orientierung an den Basiskonzepten,
- (5) Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht.

Am Campus Landau der Universität Koblenz-Landau stellt ein Zirkuswagen, der aufwendig restauriert und zu einem mobilen Schülerlabor („Freilandmobil“) umfunktioniert wurde, den Ausgangspunkt für die Projekte rund um CHEMIE PUR dar (Abb. 1). Hier erhalten Jugendliche die Möglichkeit, in einer authentischen Lernumgebung umwelt- und naturbezogene Themen zu erfahren und experimentell zu erarbeiten. Dabei spielt der Aspekt der Nachhaltigkeit immer eine zentrale Rolle. CHEMIE PUR durchläuft in der Regel drei Phasen:

- (1) Einführung mit Problemstellung und Materialienausgabe inklusive Arbeitsauftrag,
- (2) Eigenverantwortliches Experimentieren in Kleingruppen,
- (3) Abschlussbesprechung mit Deutung der Experimente anhand der Naturstoffe, Einordnung in die Basiskonzepte und Diskussion der Umweltprozesse.

Die CHEMIE PUR-Lerneinheiten richten sich an Schülerinnen und

Schüler der Oberstufe, die im Freiland mehrere Stationen mithilfe von GPS-Koordinaten ansteuern und dort in Kleingruppen (2–4 Schülerinnen und Schüler) mit Naturmaterialien experimentieren. Dafür bekommt jede Gruppe eine Box mit Laborgeräten, einem Reagenziensatz an Chemikalien, einem Tablet-PC und einem GPS-Gerät. Auf dem Tablet-PC befindet sich ein vorbereitetes Lernmodul, das Hintergrundinformationen zum Sachverhalt bietet, Arbeitsaufträge mit Versuchsvorschriften darstellt und Ergebnisse der Experimente sowie Erkenntnisse der ablaufenden Umweltprozesse durch begleitende Lernaufgaben abprüft. So erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler nach der Eingabe und Prüfung der Lösung beispielsweise weitere Versuchsvorschriften oder die GPS-Koordinaten zur nächsten Station.

CHEMIE PUR-Lerneinheit

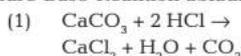
Die Philosophie von CHEMIE PUR wird nachfolgend an der erprobten interaktiv-experimentellen Bodenrallye-Lerneinheit „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ vorgestellt. Da die meisten Versuche mit aus der Natur entnommenen Materialien durchgeführt werden, haben die chemischen Reaktionen eher einen qualitativen Charakter. Außerdem wird bei den Versuchsbeschreibungen darauf verzichtet, exakte Mengenangaben vorzuschreiben, da die extrahierten Naturstoffe in unterschiedlichen Konzentrationen vorkommen.

Die Rallye ist in vier Stationen organisiert, die jeweils per GPS-Gerät durch eine zu erarbeitende GPS-Koor-

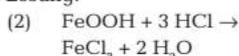


1 | Mobiles Umwelt-Schülerlabor „Freilandmobil“

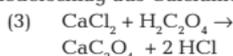
dinate aufgesucht werden. Die Gruppen erhalten am Startpunkt die GPS-Koordinate der ersten Station, die sie in das GPS-Gerät eingeben. Am Zielort wird eine eisen- und kalkhaltige Bodenprobe entnommen. Nach der Bearbeitung einer Aufgabe zum Thema „Ökosystem Boden“ liefert das Lernmodul die Versuchsvorschrift zur Extraktion der zu untersuchenden Ionen (**Versuch 1**). Die kalkhaltige Bodenprobe schäumt nach Zugabe von Salzsäure auf, wobei folgende Säure-Base-Reaktion abläuft:



Außerdem verändert die Zunahme der Hydronium-Ionen-Konzentration das Puffergleichgewicht im Boden, sodass Eisen-Ionen ab einem pH-Wert von etwa 3,8 aufgeschloßen werden [7]. Dabei gehen die Eisen(III)-Ionen – zuvor beispielsweise fest gebunden als Oxid im Goethit – in Lösung:



Die Schülerinnen und Schüler bewahren die Bodenlösungen für weitere Experimente auf und begeben sich zur zweiten Station. Das GPS-Gerät leitet die Kleingruppe zu einer Wiese auf der Sauerampfer (*Rumex acetosa*) wächst. Wurde die korrekte Pflanze bestimmt, gibt das Lernmodul Informationen zu den Inhaltsstoffen. Oxalsäure kommt in vielen Arten der Sauerkleegewächse aber auch in Nutzpflanzen, wie Rhabarber, Spinat oder Mangold vor [8]. Mittels Versuchsvorschrift wird Oxalsäure aus den Blättern extrahiert und mit der zuvor aufgearbeiteten Bodenlösung zur Reaktion gebracht (**Versuch 2**). Bei der ablaufenden Fällungsreaktion bildet sich ein schwer löslicher Niederschlag aus Calciumoxalat:



Auch Eisen(III)-Ionen in der Bodenlösung lassen sich durch eine organische Säure nachweisen (**Versuch 3**). In einer Komplexbildungsreaktion mit Salicylsäure-Molekülen entsteht bei pH = 5,5 ein Salicylatoeisen(III)-Komplex. Das Reaktionsprodukt ist an einer intensiv violett gefärbten Lösung erkennbar [9]:

Säure-Base-Reaktionen mit Bodenproben

Material

Mörser und Pistill, großer Löffel, Trichter, Becherglas (50 ml), Glasstab, Mikrospatel, 2 mittlere Reagenzgläser mit Stopfen, 2 Faltenfilter, pH-Papier, kalk- und eisenhaltige Bodenprobe

Chemikalien

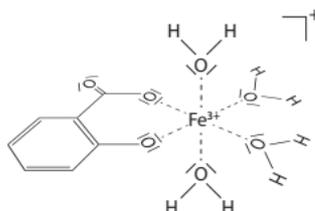
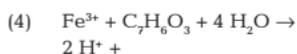
Salzsäure 5%ig (⚠), Natronlauge 5%ig (⚠), Ammoniumchlorid (⚠), Aqua dest.

Sicherheitshinweise: Beim Umgang mit Säuren und Laugen ist eine Schutzbrille zu tragen.

Durchführung

- Die gesammelte Bodenprobe wird zerkleinert, zwei Löffel der Probe in einen Faltenfilter überführt und mit reichlich Salzsäure eluiert bis das Schäumen nachläßt. Das Filtrat wird im Becherglas aufgefangen und mit zwei Mikrospateln Ammoniumchlorid gepuffert.
- Mit Natronlauge wird ein pH-Wert zwischen acht und neun eingestellt, wobei sich ein bräunlicher Niederschlag absetzt. Die Suspension wird über einem mittleren Reagenzglas erneut filtriert (Trichter vorher mit Aqua dest. durchspülen). In der klaren, farblosen Lösung befinden sich Calcium-Ionen.
- Der abgetrennte Niederschlag wird mit dem Mikrospatel vom Faltenfilter abgekratzt und im zweiten mittleren Reagenzglas tropfenweise mit Salzsäure aufgelöst. In dieser klaren, gelblichen Lösung sind Eisen-Ionen enthalten.

Entsorgung: Die beiden Bodenlösungen werden für weitere Versuche aufbewahrt.



Im Lernmodul erscheint die Versuchsvorschrift und zusätzliche Informationen zum Nachweisreagenz: Salicylsäure wurde historisch als Arzneimittel verwendet und kann aus dem Naturstoff Salicin durch saure Hydrolyse und anschließender Oxidation gewonnen werden. Das Glucosid Salicin kommt beispielsweise in mehreren Weidenarten (*Salix purpurea*, *Salix alba* u. a.) in der Borke oder im Echten Mädesüß (*Filipendula ulmaria*) in den Blüten vor und läßt sich durch Kochen mit Wasser extrahieren [4, 10]. Falls dieser Prozess für die zur Verfügung stehende Zeit zu umfangreich ist, wird – wie

im beschriebenen Versuch – mit der Reinsubstanz Salicylsäure gearbeitet.

An der dritten Station befinden sich Ziersträucher der Lorbeerkirsche (*Prunus laurocerasus*). Die Schülerinnen und Schüler identifizieren mit der Bestimmungshilfe im Lernmodul den Strauch und lernen eine weitere Möglichkeit kennen, wie sich Eisen-Ionen mit Naturstoffen nachweisen lassen. Lorbeerkirsche und andere Rosengewächse, wie beispielsweise der Kulturapfel (*Malus domestica*) oder die Mandel (*Prunus dulcis*), enthalten häufig cyanogene Glycoside, die in den Blättern als Fraßschutz und in den Samen als Keimungshemmer fungieren [11]. Werden die pflanzlichen Zellen in Anwesenheit von Wasser zerstört, tritt eine enzymatisch katalysierte Hydrolyse ein. Dabei entstehen die entsprechenden Aglycon-Moleküle und Glucose-Moleküle. Die Aglycon-Moleküle wiederum zerfallen in Benzaldehyd-Moleküle und Blausäure-Moleküle, die beide für den charakteristischen Bittermandelöl-Geruch beim Extrahieren verantwortlich sind [11]. Da

Fällungsreaktion mit Sauerampfer

Material

Schere, Mörser und Pistill, Trichter, Becherglas 50 ml, mittleres Reagenzglas mit Stopfen, 2 Pipetten mit Hütchen, kleines Reagenzglas mit Stopfen, Faltenfilter, Blätter des Sauerampfers

Chemikalien

Aqua dest., calciumionenhaltige Bodenlösung aus **Versuch 1**

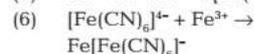
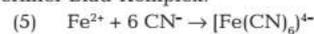
Sicherheitshinweise: keine

Durchführung

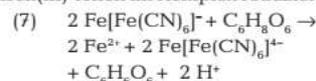
- Drei Blätter des Sauerampfers werden klein geschnitten, mit Aqua dest. bedeckt und anschließend gemörsert. Das grünliche Extrakt wird filtriert und in einem mittleren Reagenzglas aufgefangen.
- Eine Pipette Sauerampfer-Extrakt wird in ein kleines Reagenzglas überführt und tropfenweise mit der calciumionenhaltigen Bodenlösung versetzt, wobei ein weißer Niederschlag entsteht.

Entsorgung: Das Sauerampfer-Extrakt und der Niederschlag können zurück in die Umwelt gegeben werden.

Moleküle und den Eisen-Ionen der Berliner-Blau-Komplex:



Die GPS-Koordinate der nächsten Station wird durch eine Transferaufgabe zur Giftigkeit von Cyaniden für den Menschen erarbeitet. An der vierten Station wird Ascorbinsäure aus den Früchten der Hundsrose (*Rosa canina*) extrahiert. Das Lernmodul zeigt die Bedeutung von Ascorbinsäure für Lebewesen auf, die Eigenschaft als Antioxidans wird mit einem Experiment veranschaulicht. Die aus den Hagebutten gewonnene Ascorbinsäure wird mit Berliner Blau umgesetzt (**Versuch 5**). In der ablaufenden Redoxreaktion wirkt Ascorbinsäure als Reduktionsmittel, wobei Berliner Blau reduziert wird und die Farbe verschwindet. Das Ascorbinsäure-Molekül wird zum Dehydroascorbinsäure-Molekül oxidiert und die Eisen(III)-Ionen im Komplex reduziert:



Das Hagebutten-Extrakt kann außerdem als Reduktionsmittel für die Entfärbung der violetten Lösung aus **Versuch 3** eingesetzt werden. Dabei reagiert das Ascorbinsäure-Molekül mit dem Salicylatoeisen(III)-Komplex, wobei die Eisen(III)-Ionen wie bei der Reaktion mit Berliner Blau zu Eisen(II)-Ionen reduziert werden. Aus den Ergebnissen der vier Stationen ermitteln die Schülerinnen und Schüler eine Koordinate, die sie zurück zum Ausgangspunkt führt. In der Abschlussbesprechung werden die Lernziele überprüft und die Deutungen zusammengefasst. Dabei erarbeiten die Schülerinnen und Schüler die Unterschiede der Reaktionsarten und diskutieren ihre Anwendung in der Natur.

Komplexbildungsreaktion mit Salicylsäure

Material

3 Pipetten mit Hütchen, 3 kleine Reagenzgläser mit Stopfen, Mikrospatel, Glasstab, pH-Papier

Chemikalien

Salicylsäure (⚠️ ⚠️), Aqua dest., eisenionenhaltige Bodenlösung aus **Versuch 1** (⚠️ ⚠️), ggf. Natronlauge 5%ig (⚠️)

Sicherheitshinweise: Beim Umgang mit Säuren und Laugen ist eine Schutzbrille zu tragen.

Durchführung

- In einem kleinen Reagenzglas wird eine Mikrospatelspitze Salicylsäure mit Aqua dest. aufgelöst.
- Eine Pipette eisenionenhaltige Bodenlösung wird in ein weiteres kleines Reagenzglas pipettiert und tropfenweise mit der Salicylsäure-Lösung vermengt. Falls die Mischung keine violette Färbung annimmt, muss mit Natronlauge ein pH-Wert zwischen fünf und sechs eingestellt werden.

Entsorgung: Die violette Lösung wird für weitere Versuche aufbewahrt. Die Salicylsäure-Lösung kann zurück in die Umwelt gegeben werden.

Blausäure nur in Spuren im Extrakt vorhanden ist, können Schülerinnen und Schüler bedenkenlos mit Lorbeer-Extrakt experimentieren. Wird das Lorbeer-Extrakt mit der nachzuweisenden Eisensalz-Lösung versetzt, ist je nach Mischungsver-

hältnis der beteiligten Stoffe eine blass grüne bis intensiv blau-grüne Färbung erkennbar, die sich je nach Konzentration als Niederschlag absetzt (**Versuch 4**). Bei dieser Komplexbildungsreaktion entstehen aus den Cyanid-Ionen der Blausäure-

CHEMIE PUR in der fachdidaktischen Forschung

Das Projekt CHEMIE PUR orientiert sich am Paradigma der fachdidaktischen Entwicklungsforschung [12]. CHEMIE PUR ist sowohl konzept-

tionell mit starkem Bezug zur Unterrichtspraxis, als auch empirisch grundlagenorientiert ausgerichtet.

Dazu ist eine Interventionsstudie im Kontrollgruppendesign in Vorbereitung, die der Forschungsfrage nachgeht, wie sich Chemieunterricht im Freiland auf das Image des Fachs und auf die Naturverbundenheit von Schülerinnen und Schülern auswirkt.

Alexander Engl und Björn Risch

Danksagung

Wir bedanken uns für die Förderung des Projekts durch den Fond der chemischen Industrie (FCI) im Programm „Chemiedidaktik“.

Literatur

- [1] Kaufmann, H.: Chemieunterricht und das Problem der antagonistischen Sicht von „Natur“ und „Chemie“. Lit Verlag, Münster 2000
- [2] Kräger, C.: Natürlichkeit und Chemie – ein Gegensatz in der öffentlichen Wahrnehmung?. In: Janich, P. & Rüchardt, C. (Hrsg.): Natürlich, technisch, chemisch: Verhältnisse zur Natur am Beispiel der Chemie. Gruyter Verlag, Berlin 1996
- [3] Spitzer, P.; Gröger, M.: Chemie in naturnaher Umgebung und naturbezogenen Kontexten schon im Sachunterricht. In: Bernholt, S. (Hrsg.): Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen. IPN, Kiel 2013
- [4] Schwedt, G.: Chemie für alle Jahreszeiten. Einfache Experimente mit pflanzlichen Naturstoffen. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2007
- [5] Gebhard, U.: Kind und Natur. Die Bedeutung der Natur für die psychologische Entwicklung. Springer Verlag, Wiesbaden 2013
- [6] Bucher, A.: Was Kinder glücklich macht? Eine glückspsychologischen Studie des ZDF. In: Schächter, M. (Hrsg.): Wunschlos glücklich? Konzepte und Rahmenbedingungen einer glücklichen Kindheit. Nomos Verlag, Baden-Baden 2009
- [7] Bartels, U.; Knabe, W.: Das Experiment: Der Eisentest im Waldboden. In: ChiuZ 3(1990) Nr. 24, S. 131–134
- [8] Fabricius, V.; Ríacanova, P.; Sommer, K.: Warum soll man ab Juni keinen Rharbarber mehr essen? Anregungen für einen zeitgemäßen Chemieunterricht rund um die Oxalsäure. In PdN-Chemie 7(1999) Nr. 48; S. 12–16
- [9] Mitchell-Koch, J.; Reid, K.; Meyerhoff, M.: Salicylate Detection by Complexation with Iron(III) and Optical Absorbance Spectroscopy. An Undergraduate Quantitative Analysis Experiment. In: Journal of Chemical Education 85(2008) 12, S. 1658–1659
- [10] Schmidkunz-Eggler, D.: Von der Weidenrinde zum modernen Arzneimittel. In: UC 11(2000) Nr. 57, S. 36–40
- [11] Pickel, H. H.; Lutz, B.: Bitterer Kern in süßer Schale – Warum keimen Steinobstsaamen im Boden nicht sofort aus? In: PdN-Ch 6(1993), Nr. 42, S. 30–35
- [12] Prediger, S.; Link, M.; Hinz, R.; Hußmann, S.; Ralle, B.; Thiele, J.: Lehr-Lernprozesse initiieren und erforschen – Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. In: MNU 8(2012) Nr. 65, S. 452–457

Komplexbildungsreaktion mit Lorbeerkirsche

Material

Schere, Mörser und Pistill, Trichter, Becherglas 50 ml, Glasstab, mittleres Reagenzglas mit Stopfen, 2 Pipetten mit Hütchen, 2 kleine Reagenzgläser mit Stopfen, Faltenfilter, Blätter der Lorbeerkirsche (alternativ: Früchte der Lorbeerkirsche)

Chemikalien

Aqua dest., Eisen(II)sulfat-Lösung 0,5 molar (⚠), Eisen(III)chlorid-Lösung 0,3 molar (⚠, ⚡), eisenionenhaltige Bodenlösung aus **Versuch 1** (⚠, ⚡)

Sicherheitshinweise: Beim Umgang mit Säuren und Laugen ist eine Schutzbrille zu tragen. Als Reaktionsprodukt entstehen in diesem Versuch Spuren von Blausäure. Trotz der Giftigkeit und Umweltgefährlichkeit des Reinstoffes „Cyanwasserstoff“ können auch Schülerinnen und Schüler bedenkenlos mit dem Lorbeerkirsch-Extrakt experimentieren. Wie im Chemieunterricht üblich, darf nichts gegessen und getrunken werden.

Durchführung

- a) Drei Blätter der Lorbeerkirsche werden klein geschnitten, mit Aqua dest. bedeckt und anschließend gemörsert. Das grünliche Extrakt wird filtriert und im mittleren Reagenzglas aufgefangen.
- b) Eine Pipette des Lorbeerkirsch-Extrakts wird in ein kleines Reagenzglas gegeben und nacheinander tropfenweise (5–10 Tropfen) mit der Eisen(II)sulfat-Lösung und der Eisen(III)chlorid-Lösung vermischt. Eine Pipette Lorbeerkirsch-Extrakt wird in ein weiteres kleines Reagenzglas gegeben und mit einer Pipette eisenionenhaltiger Bodenlösungen versetzt. Je nach Mischungsverhältnis der beteiligten Stoffe ist eine blass grüne bis intensiv blau-grüne Färbung erkennbar, die sich je nach Konzentration als Niederschlag absetzt.

Entsorgung: Die eisenionenhaltige Bodenlösung wird neutralisiert und zurück in die Umwelt gegeben. Die restlichen Lösungen werden für weitere Versuche aufbewahrt.

Redoxreaktion mit Hagebutten

Material

Mörser und Pistill, Trichter, Becherglas 50 ml, mittleres Reagenzglas mit Stopfen, Pipette mit Hütchen, Faltenfilter, Früchte der Hundsrose (alternativ: Hagebutten aus der Apotheke; Hagebuttenschalen als Tee z. B. aus einem Reformhaus)

Chemikalien

Aqua dest., Produktlösungen aus **Versuch 4** und violette Lösung aus **Versuch 3**

Sicherheitshinweise: keine

Durchführung

- a) Drei Hagebutten werden mit Aqua dest. bedeckt und gemörsert. Das rötliche Extrakt wird filtriert und in einem mittleren Reagenzglas aufgefangen.
- b) Zu den Produkten aus **Versuch 4** wird tropfenweise Hagebutten-Extrakt pipettiert, wobei sich die Färbungen auflösen. Falls keine Farbveränderung sichtbar ist, müssen die Produkte mit Aqua dest. verdünnt werden. (Tipp: Auch mit der violetten Lösung aus **Versuch 3** ist eine Entfärbung erkennbar.)

Entsorgung: Alle verbleibenden Lösungen werden zurück in die Umwelt gegeben.

3.2 Ätherischen Ölen auf der Spur

Ätherische Öle sind flüchtige, intensiv riechende und brennbare Stoffgemische aus lipophilen Substanzen, die eine ölartige Konsistenz besitzen (Bartel & Beschorner, 2015). Die Gemeinsamkeit aller ätherischen Inhaltsstoffe ist ihre Flüchtigkeit und damit verbunden ihre geringe molekulare Masse, aber nicht die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Stoffgruppe (Schmidkunz-Eggler, 2000). Ätherische Öle sind in Pflanzen zu finden, die anatomisch differenzierte Gebilde zur Ölspeicherung besitzen (Pfannekuche, 2000). Sie fungieren als Lockstoff bei der Bestäubung, finden aber auch in einem weiten Spektrum unseres alltäglichen Lebens, zum Beispiel in Lebensmitteln oder Kosmetik, Verwendung (Kleindienst-John, 2012; Malle & Schmickl, 2014). Die Gewinnung ätherischer Öle erfolgt über die aufwändige Wasserdampfdestillation im Labor (Münzinger, 1994; Möller, 2005). Bauern in der Provence destillieren Lavendelöl nach handwerklicher Tradition direkt am Ort der Ernte. Um dieses Prinzip aufzugreifen, wurde eine freilandtaugliche Wasserdampfdestillationsapparatur mit handelsüblichen Materialien entwickelt. So kann Chemieunterricht dort durchgeführt werden, wo Naturwissenschaft ihren Ursprung hat – nämlich in der Natur (Minssen, 1994). Der rheinland-pfälzische Chemielehrplan der Sekundarstufe II siedelt das Thema Ätherische Öle im Wahlbaustein „Lebensmittelchemie“ und in der Integrationsphase zur Wiederholung von Kohlenwasserstoffen an (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz, 1998). Die nachfolgend vorgestellte CHEMIE PUR Lerneinheit „Ätherischen Ölen auf der Spur“ (Engl et al., 2018) vertieft das Struktur-Eigenschaft-Basiskonzept anhand charakteristischer Stoffeigenschaften, welche auf Teilchenebene durch die chemische Struktur erklärt werden (Kultusministerkonferenz, 2004).

Zunächst wird eine Wasserdampfdestillationsapparatur gebaut, mit der aus getrockneten Lavendelblüten ätherisches Öl gewonnen wird. Zur Überprüfung der Löslichkeit wird Öl mit dem ethanolischen Extrakt eines grünen Blattes vermischt, wobei das Prinzip „Gleiches löst sich in Gleichem“ angewandt wird. Mit der Fettfleckprobe kann die Flüchtigkeit des ätherischen Öls veranschaulicht und im Vergleich zu Sonnenblumenöl und anderen Ölen bewertet werden. Oxidierbare funktionelle Gruppen der Verbindungen im Stoffgemisch eines ätherischen Öls werden durch eine Redoxreaktion mit Permanganat-Ionen als Braunstein nachgewiesen. Anknüpfend an die bisherigen Stoffeigenschaften kann das Thema mit dem Bereich „Ätherische Öle als Aerosole“ erweitert werden, um die Strahlungs- und Temperaturregulation von

Pflanzen oder die Wolkenbildung über Nadelwäldern zu erklären (Ammermann, Kaminski, Deiters & Pietzner, 2012).

CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: Ätherischen Ölen auf der Spur

Alexander Engl,^{*[a]} Alexandra Schmelzer^{^[b]} und Björn Risch^{*[a]}

Zusammenfassung: Chemieunterricht muss nicht zwangsläufig auf den Klassenraum beschränkt sein. Die natürliche Umgebung der Schulen stellt einen gut zu erreichenden außerschulischen Lernort dar. Hier können naturnahe Kontexte in den Chemieunterricht integriert werden, um zum einen ein Bewusstsein für Naturphänomene und -prozesse zu entwickeln und zum anderen das Fach- und Sachinteresse zu steigern. Das Projekt „CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“ setzt genau an diesem Punkt an. Das Konzept wurde entwickelt, um Jugendliche verstärkt für die Natur und die dort ablaufenden Prozesse zu sensibilisieren. Die Philosophie von CHEMIE PUR wird im Rahmen des Artikels vorgestellt, anhand der erprobten Lerneinheit „Ätherischen Ölen auf der Spur“ konkretisiert und mit ausgewählten Forschungsergebnissen flankiert. Die Lerneinheit fokussiert den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung und orientiert sich inhaltlich am Basiskonzept „Struktur-Eigenschafts-Beziehungen“ des Fachs Chemie der Sekundarstufe II.

Stichworte: Freiland · Ätherische Öle · Unterrichtskonzept

NATURAL CHEMISTRY – Outdoors! On the Scent of Essential Oils

Abstract: Chemistry lessons are not necessarily restricted to the classroom. The natural environment around the school is a place of learning within easy reach. Natural settings can be integrated into chemistry classes to develop an awareness of natural phenomena and natural processes, and they can help to promote an interest in the subject matter. This is the approach that the “NATURAL CHEMISTRY – Outdoors!” project focuses on. The concept was developed for students to better connect with the natural world, and to build a bridge between chemistry classes and everyday natural phenomena. Our NATURAL CHEMISTRY philosophy is illustrated in the multi-part activity „On the Scent of Essential Oils“ and supported by selected research results. The outdoor unit focuses on competences in knowledge acquisition and is based on the “structure-property-relationship” concept that is taught in chemistry classes for senior high school students.

Keywords: Outdoor Activity · Essential Oils · Teaching Concept

1. Ausgangslage

Der Jugendreport Natur 2016 zeigt, dass 47% der befragten Jugendlichen ihre Freizeit am liebsten draußen im Grünen verbringen [1]. Diese positive Einstellung zur Natur sollte sich das Fach Chemie zu Nutze machen, um noch gezielter alltägliche und lebensweltliche Phänomene in den Unterricht integrieren zu können. Alltagsorientierung findet sich in Unterrichtskonzepten wie Chemie im Kontext wieder. Ein lebensweltlicher Kontext zeigt die Bedeutung der Wissenschaft Chemie für das tägliche Leben auf. Daran werden chemische Fachinhalte erarbeitet und auf zugrundeliegende Basiskonzepte der naturwissenschaftlichen Bildungsstandards übertragen. Ziel von Chemie im Kontext ist es, situiertes Wissen zu vermitteln und gleichzeitig das Interesse am Schulfach zu unterstützen [2]. Allerdings ist Kontextualisierung nicht per se interessensfördernd. Bei dispositionalem, individuellem Interesse wird im Bereich der Unterrichtsforschung zwischen Fach- und Sachinteresse unterschieden. Dem Aufbau von individuellem Interesse geht eine Entwicklung von aktuellem, situationalem

Interesse voraus. Dabei lösen catch-Faktoren, wie beispielsweise der Einsatz von digitalen Medien oder der Methode der Gruppenarbeit, kurzfristig Interesse an einem Gegenstand aus [3]. Diese Person-Gegenstand-Beziehung wird durch hold-Faktoren, wie beispielsweise ein Bezug zur Lebenswelt oder die aktive Teilhabe am Lernprozess, aufrechterhalten, bis durch Verinnerlichung und Identifikation individuelles Interesse entsteht [3].

Chemieunterricht muss nicht zwangsläufig auf den Klassenraum beschränkt sein. Es herrscht breiter Konsens bezüglich des vielfältigen pädagogisch-didaktischen Nutzens von Besuchen außerschulischer Lernorte. Gröger, Janssen, Spitzer und Wurm geben einen Einblick über Chemieunterricht draußen und präsentieren mit ihrem Freilandlabor FLEX eine spezifisch vorbereitete Lernumgebung [4]. Einen weniger spezifischen, gut zu erreichenden außerschulischen Lernort stellt die natürliche Umgebung der Schulen dar. Hier können ebenfalls naturnahe Kontexte in den Chemieunterricht integriert werden, um zum einen ein Bewusstsein für Naturphänomene und -prozesse zu entwickeln und zum anderen das Fach- und Sachinteresse zu steigern. Durch diese inhaltlichen und methodischen Änderungen kann die antagonistische Sichtweise zwischen Chemie und Natur vor Augen geführt werden [5]. Dabei ist zu beachten, dass Urteile von Schülerinnen und Schülern sich nicht nur durch fachliche Erkenntnisse verändern, sondern auch Gefühle und Überzeugungen eine wichtige Rolle spielen [6]. Der Kontakt zur Natur im Chemieunterricht und der Genuss des Naturaufenthaltes sind die wesentlichen Faktoren zur Ausbildung von Naturverbundenheit [7]. Dadurch könnte sich die Einstellung im Bereich „Chemie und

[a] A. Engl, B. Risch
Universität Koblenz-Landau, Campus Landau
Fortstrasse 7
76829 Landau
* E-Mail: engl@uni-landau.de
risch@uni-landau.de

[b] A. Schmelzer
Breslauerstraße 1F
66121 Saarbrücken
* E-Mail: alexayasm@aol.com

Natur“ verändern. Dass dies besonders gut mit handlungs- und erlebnisorientierten Aktivitäten direkt im Freiland gelingen kann, zeigt eine Meta-Studie von Stern, Powell & Hill [8]. Genau an diesem Punkt setzt das Projekt CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur an. Das Konzept wurde für den Chemieunterricht entwickelt, um Jugendliche für die Natur und die dort ablaufenden Prozesse zu sensibilisieren und gleichzeitig die Akzeptanz und das Verständnis für Chemie nachhaltig zu stärken.

2. Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur

Die Kernidee des Unterrichtskonzepts CHEMIE PUR besteht darin, ausgewählte Chemiestunden in die Natur zu verlegen. Im Freiland werden mit direkt vor Ort gewonnenen Stoffen Umweltprozesse experimentell erarbeitet. Ziel ist es, die von Schülerinnen und Schülern häufig als abstrakt und komplex empfundenen Inhalte des Chemieunterrichts mit alltäglichen und naturnahen Phänomenen in Einklang zu bringen. Als Ausgangspunkt für die Lerneinheiten in der Natur steht mit dem „Freilandmobil“ ein Zirkuswagen zur Verfügung, der zu einem mobilen Umwelt-Freiland-Schülerlabor umgebaut wurde (Abb. 1). Hier erhalten Jugendliche die Möglichkeit, in einer authentischen Lernumgebung umwelt- und naturbezogene Themen zu erfahren und experimentell zu erarbeiten.



Abb. 1: CHEMIE PUR Logo im Vordergrund links, Freilandmobil Logo im Hintergrund. Ein Holz-Zirkuswagen wurde als mobiles Umwelt-Freiland-Schülerlabor umgebaut und dient als Ausgangspunkt für CHEMIE PUR.

Die CHEMIE PUR Lerneinheiten richten sich an Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe II und orientieren sich an folgenden Kriterien: (1) Experimente außerhalb des Klassenzimmers („Die Natur ist mein Labor“), (2) Reaktionen von Naturstoffen mit möglichst wenig Laborgeräten und -chemikalien, (3) Umweltprozesse, die am konkreten Anschauungsobjekt erklärt werden, (4) Inhaltliche Orientierung an den Basis Konzepten und (5) Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht.

Bisher sind neben der nachfolgend vorgestellten Lerneinheit drei weitere CHEMIE PUR Lerneinheiten entwickelt worden: „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ [9], „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ [10] und „Farbenpracht im Freiland“ [11]. Für die Durchführung der Lerneinheiten erhalten Kleingruppen von zwei bis vier Schülerinnen und Schülern einen Koffer mit Laborgeräten, einem Reagenziensatz an Chemikalien, einem GPS-Gerät und einem Tablet-

PC, über den die Versuchsvorschriften und zugehörigen GPS-Koordinaten der Standorte der jeweiligen Naturmaterialien abrufbar sind. So werden in der naturnahen Schulumgebung unterschiedliche Naturstoffe extrahiert und deren Eigenschaften experimentell untersucht. Im Unterschied zu anderen Ansätzen, liegt die Besonderheit dieses Unterrichtskonzepts im tatsächlichen Einbezug der Natur (z. B. Boden, Pflanzen, Gewässer, Sonnenlicht). Deshalb wird bewusst auf kultivierte Pflanzen oder industriell hergestellte Naturstoffe verzichtet, um authentisch naturnahes Lernen im Freiland zu verwirklichen. Zusätzlich werden Naturmaterialien eingesetzt, deren aufbereitete Naturstoffe als Edukte für fortführende Experimente genutzt werden. Das heißt, es erfolgt nicht nur der Nachweis spezifischer Inhaltsstoffe, sondern auch eine Initiierung chemischer Reaktionen.

Die Philosophie von CHEMIE PUR wird nachfolgend anhand der erprobten Lerneinheit „Ätherischen Ölen auf der Spur“ vorgestellt. Die Lerneinheit ist schwerpunktmäßig dem Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung zugewiesen und orientiert sich inhaltlich am Basiskonzept „Struktur-Eigenschaft“ des Fachs Chemie der Sekundarstufe II. Damit kann ein Betrag zu folgenden Teilkompetenzen der einheitlichen Prüfungsanforderungen im Fach Chemie geleistet werden: (1) Die Lernenden können selbstständig chemische Experimente planen, durchführen, beobachten, beschreiben und auswerten. (2) Die Lernenden interpretieren chemische Reaktionen auf Teilchenebene. (3) Die Lernenden erkennen den Zusammenhang zwischen Struktur, Eigenschaften und Verwendung der Stoffe. (4) Die Lernenden erkennen und nutzen Möglichkei-



Alexander Engl hat die Fächer Biologie und Chemie auf gymnasiales Lehramt (Master of Education) studiert und ist seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Chemiedidaktik an der Universität in Landau. Im Rahmen seiner Promotion geht er der Forschungsfrage nach, inwieweit sich das Unterrichtskonzept „CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“ auf das chemiebezogene Fach- und Sachinteresse, die Einstellung zu Chemie und Natur sowie auf die Naturverbundenheit von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II auswirkt.



Alexandra Schmelzer studierte von 2009 bis 2015 an der Universität Koblenz-Landau (Campus Landau) das Lehramt an Gymnasien für die Fächer Chemie und Biologie. Sie hat ihre Masterarbeit im Projekt CHEMIE PUR zum Thema „Entwicklung und Evaluation einer freilandtauglichen Wasserdampfdestillationsapparatur für das Experimentieren mit Naturstoffen“ angefertigt. Von 2015 bis 2016 war sie wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Chemiedidaktik. 2017 absolvierte sie den Vorbereitungsdienst am Studienseminar Daun.



Björn Risch ist seit 2010 Professor für Chemiedidaktik an der Universität Koblenz-Landau. Seine Forschungsschwerpunkte sind die fachdidaktische Entwicklungsforschung, die Analyse von Lernprozessen im Rahmen von Schülerlaboren, das Verständlichmachen von Umweltprozessen durch Modellexperimente, das Aufzeigen von Möglichkeiten des Unterrichtens von Chemie in der Natur und die Implementierung von Bildung für nachhaltige Entwicklung in den naturwissenschaftlichen Unterricht sowie in die Lehrerbildung.

ten der vertikalen Vernetzung innerhalb der Chemie sowie der horizontalen Vernetzung mit anderen Unterrichtsfächern. (5) Die Lernenden strukturieren erworbenes Wissen über Stoffe und chemische Reaktionen auf der Grundlage der fach-eigenen Basiskonzepte.

Daran anschließend werden ausgewählte Forschungsergebnisse zu der mit Schülerinnen und Schülern durchgeführten Lerneinheit präsentiert.

3. CHEMIE PUR Lerneinheit „Ätherischen Ölen auf der Spur“

Ätherische Öle sind flüchtige, intensiv riechende und meist brennbare Stoffgemische aus verschiedenen lipophilen Substanzen, die eine öllartige Konsistenz besitzen [12,13]. Die Internationale Organisation für Standardisierung (ISO) definiert ätherische Öle als Produkte, die durch Wasserdampfdestillation von Pflanzenteilen sowie durch Auspressen der Fruchtschale von Citrus-Arten gewonnen werden [12,13]. Die Gemeinsamkeit aller ätherischen Inhaltsstoffe ist ihre Flüchtigkeit und damit verbunden ihre geringe molekulare Masse, aber nicht die Zugehörigkeit zu einer bestimmten chemischen Stoffgruppe [12].

Auf Teilchenebene lassen sich die Hauptkomponenten bezüglich ihres biosynthetischen Ursprungs in vier Gruppen einteilen: (1) die Polyketide, (2) die Terpene, (3) die Phenylpropan-derivate und (4) die heterocyclischen Verbindungen [14,15]. Beispielsweise erfolgt die Biosynthese der Terpene über den Mevalonatweg, bei dem ein Isopren-Derivat als vorläufiges Zwischenprodukt entsteht (vgl. Abb. 2). Eine Vielfalt an fach-systematischen Stoffgruppen sind in den Verbindungen vertreten (vgl. Abb. 2): Alkane, Alkene, Alkine, Aromaten, Epoxide, Alkohole, Ether, Aldehyde, Ketone, Carbonsäuren, Ester und Lactone [12,14,16]. Über 500 verschiedene Verbindungen sind als Bestandteile ätherischer Öle bekannt [12] und bis zu 450 Einzelkomponenten wurden bereits als komplexes Gemisch in einem ätherischen Öl nachgewiesen [13]. Allerdings ist meist ein Inhaltsstoff mengenmäßig so stark vertreten, dass dieser die Charakteristik des Öls prägt [12,13].

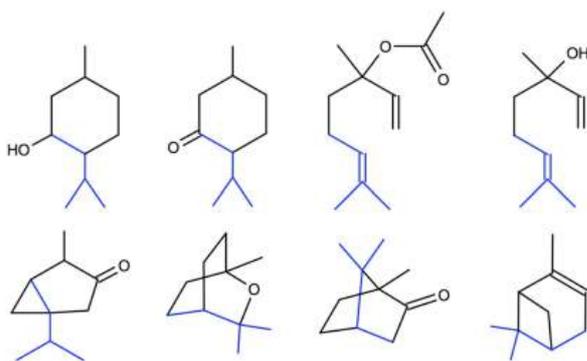


Abb. 2: Ausgewählte Monoterpene mit blau markiertem Isopren Grundbaustein von links oben nach rechts unten: Menthol, Menthon, Linalylacetat, Linalool, Thujon, 1,8-Cineol, Campher, Pinen

Ätherische Öle sind in Pflanzen zu finden, die anatomisch differenzierte Gebilde zur Ölspeicherung besitzen (z. B. schizogene und lysigene Ölbehälter, Öliodblasten oder Drüsenhaare und -schuppen) [12,13,14]. Pflanzenfamilien, deren Vertreter häufig ätherische Öle produzieren, sind beispielsweise Doldenblütler (Apiaceae), Korbblütler (Asteraceae), Kiefernge-

wächse (Pinaceae) oder Lippenblütler (Lamiaceae) [15,17]. Zu den bekannten Vertretern der Lippenblütler gehören zum Beispiel Pfefferminz, Lavendel, Salbei und Rosmarin [13], die im Folgenden als Ausgangsmaterial für die Wasserdampfdestillation empfohlen werden.

Pfefferminzöl wird aus den Blättern der Pfefferminze *Mentha x piperita* gewonnen. Die Ausbeute beträgt circa 0,5–4% [15]. Die Hauptbestandteile sind zu 30–55% Menthol und 14–32% Menthon (vgl. Abb. 2) [15,16]. In geringeren Anteilen von unter 1% finden sich über 100 weitere Komponenten [15]. Je nach Pfefferminzart nimmt das Öl eine farblose, gelbliche oder grüngelbe Farbe an.

Lavendelöl wird aus den Blüten oder Blütenständen des Echten Lavendels *Lavandula angustifolia* gewonnen. Die Ausbeuten des ätherischen Öls schwanken zwischen 1–3% [15]. Die Hauptinhaltsstoffe sind mit mindestens 35% Linalylacetat und mit 20–50% Linalool (vgl. Abb. 2) [15,16]. Insgesamt wurden etwa 250 weitere Stoffe im ätherischen Lavendelöl nachgewiesen, deren Anteile unter 5% betragen [15].

Salbeiöl wird aus den oberirdischen Teilen des Echten Salbeis *Salvia officinalis* gewonnen. Die besten Ausbeuten mit etwa 2,5% werden mit an der Luft getrockneten Blättern erzielt [15]. Salbeiöl weist 35–60% Thujon, circa 15% 1,8-Cineol und rund 15% Campher auf (vgl. Abb. 2) [15,16].

Rosmarinöl wird aus den Blättern und Zweigen des Rosmarins *Rosmarinus officinalis* mit einer Ausbeute von 1–2,5% gewonnen [15]. Die Hauptkomponenten des ätherischen Öls setzen sich aus etwa 15–30% 1,8-Cineol, 10–25% Campher und 10–25% Pinen zusammen (vgl. Abb. 2) [15,16].

Ätherische Öle fungieren als Lockstoff bei der Bestäubung, als Schutz vor Fressfeinden und Krankheitsregenern, als Hemmstoff für die Samenkeimung konkurrierender Gewächse oder als Dunstglocke zur Strahlungs- und Temperaturregulierung [13,14,15,18,19]. Sie finden in einem weiten Spektrum unseres alltäglichen Lebens Verwendung: in der Medizin als natürliche Heilmittel, in der Kosmetikbranche als pflegende oder entspannende Wirkstoffe sowie in der Lebensmittelindustrie zur Aromatisierung von Speisen und Getränken [12,14,16,19,20].

Die Gewinnung ätherischer Öle erfolgt auch im Chemieunterricht vorwiegend über die Wasserdampfdestillation. Ätherische Öle werden mithilfe klassischer Glasapparaturen und vereinfachten Destillationsapparaturen aus zahlreichen Naturprodukten gewonnen [16,17,19,20]. Jedoch weisen die in Schulen üblicherweise durchgeführten Wasserdampfdestillationen eine Reihe von Nachteilen auf. Sie sind apparativ aufwendig, entsprechend teuer und setzen durch die Verwendung empfindlicher Glasgeräte die räumlichen Arbeitsbedingungen eines Labors voraus. Vereinfachte Versuchsaufbauten, wie die Destillationsapparatur nach Meyendorf oder die kupferne Alembik-Destille [16,17,20] sind nur bedingt geeignet, da kein kontinuierliches Destillationsverfahren ermöglicht wird [19]. Außerdem sind deren Kühlungssysteme zur Kondensation der Dämpfe zu schwach, wodurch die Ölausbeuten niedrig ausfallen [19].

Das Thema Ätherische Öle bietet die Möglichkeit mit Schülerinnen und Schülern genau dort Chemieunterricht durchzuführen, wo die Naturwissenschaft ihren Ursprung hat – nämlich in der Natur [21]. Eine Vielzahl natürlicher Duftstoffe wird aus pflanzlichen Rohstoffen isoliert, die in Heil- und Kräutergärten teilweise auch in unserer heimischen Natur zu finden sind. Hier ergibt sich die Gelegenheit, den Chemieunterricht in eine naturbezogene, authentische Lernumgebung zu verlagern und zugleich an handwerkliche Traditionen der Parfümindustrie anzuknüpfen [21]. Minssen hat das Prinzip der französischen Bauern in der Provence aufgegriffen, die den Ort der Destillation an den Ort der Ernte verlegen [21].

Er hat die Idee einer transportablen Destille übernommen und für den Chemieunterricht im Freien optimiert. Die Apparatur von Minssen wurde mit Ersatzmaterialien nachgebaut und erprobt [21]. Die Konstruktion erwies sich als einfach, jedoch fiel die Ölausbeute gering aus. Das Destillat ist während der vorgeschlagenen Destillationsart von Minssen von heißen Wasserdampf umgeben, wodurch sich das gewonnene ätherische Öl wieder verflüchtigt. Hieraus resultiert eine geringe Ölausbeute [20]. Sowohl Möller als auch Malle und Schmickl beschreiben zahlreiche eigenkonstruierte Apparaturen zur Gewinnung von ätherischen Ölen im Hobbybereich [17,20]. Diese Ideen wurden aufgegriffen und zu einer neuen freilandtauglichen Wasserdampfdestillationsapparatur weiterentwickelt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die experimentell ermittelte Ausbeute anhand der eigenentwickelten Destillation im Vergleich zu Literaturwerten mit herkömmlichen Apparaturen. Der optimale Erntezeitraum der Pflanzen für eine möglichst hohe Ausbeute ist ebenfalls angegeben. Die Pflanzen können an einem geeigneten Standort von den Schülerinnen und Schülern selbst geerntet, luftgetrocknet und mitgebracht oder in einem Reformhaus gekauft werden. Ersteres wäre im Sinne eines authentischen naturnahen Lernens wünschenswerter. Alle Hauptbestandteile der aufgeführten ätherischen Öle weisen GHS-Piktogramme auf. Besonders 1,8-Cineol, Campher und Pinen sind als Gefahrstoffe eingestuft. Jedoch kann in geringer Konzentration und Menge bedenkenlos mit ätherischen Ölen experimentiert werden. Wie im Chemieunterricht üblich, darf nichts gegessen und getrunken werden und es ist auf einen sorgsamen Umgang beim Experimentieren zu achten.

3.1 Bau einer freilandtauglichen Wasserdampfdestillationsapparatur

Die Wasserdampfdestillation im Freien stellt an die eingesetzte Apparatur spezielle Ansprüche. Die drei größten Herausforderungen sind Sicherheitsmaßstäbe (z. B. Stand- und Feuerfestigkeit der Apparatur), Witterungsverhältnisse (vor allem bei Wind) und die Durchführbarkeit (z. B. Kühlung, apparatives Handling, Ausbeute, Zeit). Im Folgenden werden die Bestandteile und Besonderheiten der Apparatur beschrieben (Abb. 3). Eine Bauanleitung als Power-Point-Präsentation befindet sich in der Online-Ergänzung. Die Konstruktion der Apparatur kann von Schülerinnen und Schülern in Kleingruppen innerhalb von einer Doppelstunde selbst durchgeführt werden. Anschließend sollten die geklebten Stellen mindestens acht Stunden trocknen. Die benötigten Materialien kosten etwa 15 € pro Apparatur und sind handelsüblich in einem Baumarkt zu erwerben.



Abb. 3: Freilandtaugliche Wasserdampfdestillationsapparatur aus einer Café-Dose mit Windschutz und Kühlung.

(1) Metalldose mit Sieb

Eine metallische Café-Dose fungiert als Destillationsgefäß. Links und rechts werden Gummistopfen als Halterung mit Hochtemperatursilikon befestigt. Der durchbohrte Gummistopfen wird im Deckel mit Hochtemperatursilikon und der Deckel der Café-Dose mit Gummiband für eine höhere Ausbeute abgedichtet. In die Dose wird ein korbformig gebogenes Sieb gesteckt, das als Abstandshalter zum wasserbedeckten Boden dient. Dadurch kommt das Pflanzenmaterial nicht direkt in Kontakt mit dem eingefüllten Wasser, ist aber kontinuierlich von Wasserdampf umgeben.

(2) Dreifußwindschutz

Der Dreifußwindschutz aus einer Blechfarbdose ermöglicht auch bei Wind die Nutzung eines Gaskartuschenbrenners. Der Kartuschenbrenner kann über die seitliche Öffnung der Blechdose reguliert werden. Drei nach unten spitze Nägel sorgen bei unebenem Terrain für eine ausreichende Standfestigkeit. Die notwendige Luftzufuhr wird durch den Abstand über Schrauben mit dem Dosendeckel gewährleistet. Der Deckel dient außerdem als Aufstellfläche für die eigentliche Destillationsapparatur.

Tab. 1: Auswahl an ätherischen Ölen, deren Hauptinhaltsstoffe, Ausbeuten, Dichte und Erntezeiträume [13, 15, 20].

Ätherisches Öl mit Hauptbestandteilen	Ausbeute mit Freilandapparatur	Dichte und Ausbeute laut Literatur	Optimaler Erntezeitraum
Pfefferminzöl Menthol, Menthon	50 g luftgetrocknete Blätter: 1 mL (1,8%)	0,91 g/mL 0,5–4%	Juni, Juli und August
Lavendelöl Linalylacetat, Linalool	30 g luftgetrocknete Blüten: 0,5 mL (1,5%)	0,88 g/mL 1–3%	August und September
Salbeiöl Thujon, 1,8-Cineol, Campher	40 g luftgetrocknete Blätter: 0,5 mL (1,2%)	0,92 g/mL 2,5%	Juni, Juli und August
Rosmarinöl 1,8-Cineol, Campher, Pinen	83 g luftgetrocknete Blätter: 1 mL (1,1%)	0,91 g/mL 1–2,5%	Mai, Juni, Juli und August

(3) Schlauch und Messkolben

Der Gummischlauch leitet den Wasserdampf und das gewonnene ätherische Öl in die Kühlvorrichtung. Das gebogene Glasrohr am Ende des Schlauchs wird in einen Messkolben gesteckt. Um das Glasrohr wurde ein Drahtgeflecht mit Sekundenkleber befestigt, damit beim Befüllen der Kühlvorrichtung kein Eis in den Messkolben fällt. Außerdem gewährleistet das Drahtgeflecht genug Abstand des Glasrohres zum Messkolbenboden, sodass während der Wasserdampfdestillation das Destillat ungehindert abtropfen kann. Der Messkolben stellt mit dem langen Kolbenhals und der kleinen Öffnung ein praktikables Auffanggefäß dar und ermöglicht bei der Kondensation eine hohe Ausbeute durch geringen Verlust von Gasvolumina. Dieser wird mit drei Markierungen versehen: (1) EIS, (2) AUF und (3) ENDE. Die erste Markierung befindet sich oben an der Öffnung des Messkolbens und zeigt an, bis wohin Eis eingefüllt wird (EIS). Die zweite Beschriftung wird so gewählt, dass das ätherische Öl mit einer langgezogenen Pasteur-Pipette auf der Oberfläche abgesaugt werden kann. Hierzu muss mit Wasser bis zur zweiten Markierung aufgefüllt werden (AUF). Die dritte Markierung begrenzt das zu erwartende Volumen des Destillats und kann als zeitliches Ende der Destillation herangezogen werden (ENDE). Ein weiteres Sieb wird um den Kolbenhals gestülpt, damit das Eis in der Kühlvorrichtung oberhalb zurückgehalten wird und so während des Versuchs der Flüssigkeitsstand im Messkolben beobachtet werden kann.

(4) Kühlung mit Korkringvierfuß

Der Boden einer Plastikflasche wird abgeschnitten und umgedreht als Kühlvorrichtung genutzt. Auf das Flaschengewinde wird ein Trinkverschluss geschraubt, der als Ablasshahn für zu warmes Kühlwasser verwendet werden kann. Die Kühlvorrichtung wird durch einen Vierfußkorkring standfest gehalten. Dazu werden in einen Korkring gleichmäßig vier große Nägel gesteckt. Für eine hohe Ausbeute wird als Kühlung eine Eiswasser-Kochsalz-Mischung hergestellt.

3.2 Versuche

Die folgenden Versuche sind in drei Schwerpunkte gegliedert, für die jeweils eine Doppelstunde genutzt werden kann. Der erste Teil behandelt die Gewinnung von ätherischen Ölen aus Pflanzenmaterial. Hier stehen der Aufbau und die apparative Handhabung im Vordergrund. Die Dauer der Destillation ist auf 45 Minuten angesetzt, kann jedoch auf 15 Minuten reduziert werden. Dies führt zu einem Destillationsprodukt mit wesentlich geringerer Öl-Ausbeute, die jedoch trotzdem für weitere Versuche genügt. Im Fokus der Versuche (2) bis einschließlich (4) liegen charakteristische Eigenschaften der gewonnenen ätherischen Öle. Der Forschungsauftrag zu Versuch (3) ermöglicht eine offene Herangehensweise zur Bearbeitung der Fragestellung. Der letzte Schwerpunkt thematisiert den Einfluss von ätherischen Ölen als Aerosole auf das globale Klima. Die Modellexperimente eignen sich als Vertiefung und sind im Klassenraum durchzuführen.

(1) Gewinnung von ätherischen Ölen aus Pflanzenmaterial

Material: 40 g luftgetrocknetes Pflanzenmaterial (z. B. Pfefferminz-, Salbei- oder Rosmarinblätter oder Lavendelblüten), Papiertücher, Styroporbox mit Eis, Feuerzeug, Kartuschenbrenner, Messzylinder (250 mL), Messkolben (100 mL) mit Sieb und Stopfen, Metalldose mit Sieb, Dreifußwindschutz, Schlauch mit Glasrohr und Drahtgeflecht, Plastikflasche mit Korkringvierfuß, gegebenenfalls Mörser mit Pistill

Chemikalien: Kochsalz, entmineralisiertes Wasser

Sicherheitshinweise: Bevor die Destillation begonnen wird, muss auf eine ausreichende Standfestigkeit der Apparatur geachtet werden. Beim Umgang mit kochenden Flüssigkeiten ist eine Schutzbrille zu tragen. Heißer Wasserdampf kann aus der Metalldose entweichen und Verbrennungen verursachen.

Durchführung:

Eine Animation zum Aufbau der Wasserdampfdestillationsapparatur mit den Bezeichnungen der Gerätschaften ist in der Online-Ergänzung einzusehen.

- Fülle 120 mL entmineralisiertes Wasser in die Metalldose. Das Sieb in der Metalldose darf dabei nicht vollständig mit Wasser bedeckt sein. Lege das Sieb mit Papiertüchern aus und streue das zuvor mit der Hand zerbröselte Pflanzenmaterial darüber (bei Lavendelblüten empfiehlt sich ein leichtes Zerstoßen mit Mörser und Pistill, vgl. Abb. 4). Verschließe die Metalldose und setze sie auf den Dreifußwindschutz.
- Lege den Messkolben mit Sieb in die umgedrehte Plastikflasche und stecke das lange gebogene Ende des Glasrohres bis zum Drahtgeflecht in den Messkolben. Stelle eine Eiswasser-Kochsalz-Mischung her, indem abwechselnd Eis und Kochsalz (circa 3/4 eines Rollrandglases) in die Plastikflasche gegeben wird. Schütte rund 300 mL Wasser darüber und fülle anschließend mit Eis bis zur Markierung (EIS) auf. Das Sieb um den Messkolben dient als Begrenzung für das Eis, sodass der untere Bereich beobachtet werden kann.
- Entzünde den Kartuschenbrenner, stelle ihn unter den Dreifußwindschutz und erhitze die Metalldose mit rauschender Flamme (Luft- und Gaszufuhr vollständig öffnen!) für circa bis 45 Minuten oder bis das Destillat die untere Markierung (ENDE) erreicht hat. Während der Destillation sollte kein Dampf aus dem Messkolben entweichen. Kühlt die Eiswasser-Kochsalz-Mischung nicht ausreichend, kann über den Trinkverschluss der Plastikflasche das zu warme Wasser langsam abgelassen werden.
- Fülle den Messkolben mit dem Destillat mit Hilfe einer Pipette bis zur mittleren Markierung (AUF) mit entmineralisiertem Wasser auf. Lasse das entmineralisierte Wasser vorsichtig am Glasrand herunterlaufen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Ölphase nicht weiter vermischt wird.

Entsorgung: Das extrahierte Pflanzenmaterial verbleibt in der Metalldose. Die Eiswasser-Kochsalz-Mischung wird in die Umwelt gegeben. Das gewonnene Destillat wird für weitere Versuche aufbewahrt.

Deutung:

In Pfefferminze, Lavendel, Salbei und Rosmarin sind ätherische Öle enthalten, die durch eine Wasserdampfdestillation schonend extrahiert werden können [17]. Dabei wird Wasserdampf über das zerkleinerte Pflanzenmaterial geleitet und bringt die zuvor luftgetrockneten Zellwände der pflanzlichen Zellen zum Quellen. Dadurch öffnen, erweitern und füllen sich feine Spalten mit Wasser. Über diese Wasserkapillaren diffundieren die Ölbestandteile aus den ölführenden Strukturen der Pflanze heraus [17]. Wasserdampf führt als Träger das ätherische Öl in Form von kleinen Tröpfchen mit sich, die bei einer Temperatur von unter 100 °C in die Gasphase übergehen [14]. Der Siedepunkt von ätherischen Ölen als Reinstoff ohne Wasserzusatz liegt hingegen bei über 100 °C [14]. Eine Destillation bei höheren Temperaturen hätte negative Folgen für viele hitzeempfindliche Bestandteile und das Aroma des ätherischen Öls. Die Destillation unterhalb des eigentlichen Siedepunkts der ätherischen Öle begründet sich durch den additiven Dampfdruck der zwei nicht ineinander mischbaren Flüssigkeiten [14]. Stoffe beginnen zu siedern, sobald der Dampfdruck dem umgebenden Luftdruck entspricht. Der erhöhte

Dampfdruck von Wasser und ätherischem Öl bewirkt folglich eine Siedepunktniedrigung [14]. Das gasförmige Öl-Wasser-Gemisch wird anschließend über das Glasrohr in den Messkolben geleitet, wo es schließlich abkühlt und kondensiert. Im Messkolben sammelt sich das Destillat, welches aus dem oberen ätherischen Öl und der unteren wässrigen Phase besteht. Aufgrund von Dichteunterschieden trennen sich die leichteren ätherischen Öle von der schwereren wässrigen Phase ab.



Abb. 4: Extraktion von ätherischem Öl aus Lavendelblüten. Der Schüler rechts filmt das Experiment für wissenschaftliche Begleituntersuchungen.

(2) Gleiches löst sich in Gleichem!

Material: Grünes Blatt, Sand, Mörser mit Pistill, Trichter, kleines Reagenzglas, großes Reagenzglas, 2 Pipetten, Faltenfilter, Abfallbehälter

Chemikalien: Ätherisches Öl und wässrige Phase aus Versuch 1, Ethanol (⚠, ⚡)

Sicherheitshinweise: Ethanol ist leicht entzündlich und muss vor Hitze, Funken und offenen Flammen ferngehalten werden.

Durchführung:

- Ein grünes Blatt wird zerkleinert, mit Ethanol bedeckt und anschließend kräftig mit Sand gemörsert. Das dabei entstandene grünliche Extrakt wird in ein großes Reagenzglas mit Trichter und Faltenfilter abfiltriert.
- Ein Teil des gewonnenen Destillats (ätherisches Öl und wässrige Phase) wird mit einer Pipette in ein kleines Reagenzglas überführt. Anschließend werden fünf Tropfen des abfiltrierten Blattextrakts in das Reagenzglas mit dem Destillat getropft.

Entsorgung: Der Faltenfilter und alle Lösungen werden, außer dem gewonnenen Destillat aus Versuch 1, im Abfallbehälter gesammelt.

Deutung:

Der grüne Blattfarbstoff der Blätter heißt Chlorophyll. Chlorophyll weist hohe Anteile an unpolaren Strukturen auf und ist in unpolaren Lösungsmitteln löslich. Dabei kommt der Merksatz „Gleiches löst sich in Gleichem“ zur Anwendung. Mithilfe von Chlorophyll kann die lipophile, unpolare Phase des gewonnenen Destillats grün eingefärbt werden. Bei der Extraktion werden die löslichen Pflanzeninhaltsstoffe aus den zuvor mechanisch zerstörten pflanzlichen Zellen freigesetzt. Ethanol als Lösungsmittel ist aufgrund seiner polaren und unpolaren Struktur fähig sowohl hydrophile als auch lipophile Stoffe zu lösen. Die lipophilen Chlorophyllmoleküle lösen sich in der ätherischen Ölphase, während die hydrophilen Bestandteile des ethanolischen Extrakts die wässrige Phase des Destillats milchig-weiß trüben [16].

(3) Die Fettfleckprobe: Ätherischen Ölen auf der Spur

Forscherauftrag: Ätherische Öle unterscheiden sich von fetten Ölen, wie beispielsweise Sonnenblumenöl, durch ihre Flüchtigkeit. Aufgrund der aufwendigen Gewinnung von ätherischen Ölen werden Produkte häufig mit synthetischen Ersatzstoffen präpariert, die für den charakteristischen Geruch verantwortlich sind [12,17]. Finde mit Hilfe der Fettfleckprobe selbst heraus, ob das gekaufte ätherische Öl tatsächlich das beinhaltet, was es verspricht!

Material: 3 Pipetten, Rundfilter, Bleistift, Abfallbehälter

Chemikalien: Gekauftes naturidentisches oder künstliches ätherisches Öl, Sonnenblumenöl, gewonnenes ätherisches Öl aus Versuch 1

Durchführung: (für die Gruppen nicht sichtbar)

- Gib mit Hilfe der Pipetten jeweils einen Tropfen Sonnenblumenöl, einen Tropfen des gekauften ätherischen Öls und einen Tropfen des gewonnenen ätherischen Öls (möglichst ohne wässrige Phase!) auf das Filterpapier.
- Umrande die Flecken auf dem Filterpapier und beschrifte sie. Halte das Filterpapier direkt nach dem Auftragen der Öle und nochmals nach zehn Minuten gegen das Licht.

Entsorgung: Das Filterpapier wird im Abfallbehälter gesammelt. Das gewonnene Destillat aus Versuch 1 wird für weitere Versuche aufbewahrt.

Deutung:

Das Sonnenblumenöl hinterlässt auf dem Filterpapier einen transparenten Fettfleck [13]. Das gewonnene ätherische Öl verflüchtigt sich nach maximal 24 Stunden rückstandslos, nach zehn Minuten ist jedoch ein Unterschied erkennbar [13]. Beim gekauften ätherischen Öl ist ein Fettfleck sichtbar, der nur teilweise verdunstet. Das Filterpapier erscheint weiß und undurchsichtig, weil an den Cellulose-Molekülen des Papiers einfallendes Licht reflektiert wird. Flüssigkeiten, wie Wasser oder Öl, können Papier transparent erscheinen lassen (Abb. 5). Die optischen Eigenschaften werden dabei so verän-



Abb. 5: Die Fettfleckprobe – Ätherischen Ölen auf der Spur als Forscherauftrag. Ein Vergleich von gekauftem und frisch destilliertem ätherischen Öl sowie Sonnenblumenöl.

dert, dass Licht nicht mehr reflektiert wird, sondern das Papier durchdringen kann. Ätherische Öle sind komplexe Gemische flüchtiger Kohlenwasserstoffe mit geringen molekularen Massen, die weniger Energie für den Wechsel des Aggregatzustands benötigen als fette Öle. Bei der Verdunstung hinterlassen sie keinen Fettfleck auf dem Filterpapier [12]. Fette Öle, wie zum Beispiel Sonnenblumenöl, setzen sich aus Gemischen von Fettsäuren zusammen. Viele pflanzliche Öle sind durch den hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren bei Raumtemperatur flüssig. Diese Fettsäuren weisen größere molekulare Massen und eine geringere Flüchtigkeit als ätherische Öle auf. Der Übergang in die Gasphase erfordert mehr Energie, wodurch fette Öle als Fettfleck auf dem Filterpapier zurückbleiben. Der Fettfleck des gekauften ätherischen Öls ist auf den Zusatz von synthetischen Ersatzstoffen zurückzuführen, die häufig größere molekulare Massen aufweisen und dadurch nicht oder weniger flüchtig sind im Vergleich zu natürlichen ätherischen Ölen. Diese Öle müssen dann als naturidentische oder künstliche Öle ausgewiesen werden.

(4) Redoxreaktion mit Ätherischen Ölen

Material: Kleines Reagenzglas, Pipette, Abfallbehälter

Chemikalien: Ätherisches Öl aus Versuch 1, 0,5% ige Kaliumpermanganat-Lösung (⚠)

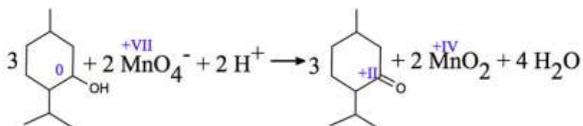
Durchführung:

- Befülle ein Drittel des kleinen Reagenzglases mit der Kaliumpermanganat-Lösung.
- Überschichte diese mit wenigen Tropfen des gewonnenen ätherischen Öls.

Entsorgung: Alle Lösungen werden im Abfallbehälter gesammelt.

Deutung:

Viele funktionelle Gruppen der Inhaltsstoffe eines ätherischen Öls sind durch eine Redoxreaktion mit Luftsauerstoff oxidierbar [12]. Im Versuch wurde das Oxidationsmittel Kaliumpermanganat genutzt (Abb. 6). Nach dem Zutropfen des ätherischen Öls entfärbt sich die violette Lösung, und ein brauner Niederschlag fällt aus. Dabei findet eine Redoxreaktion zwischen den Bestandteilen des ätherischen Öls und Kaliumpermanganat statt. Am Beispiel des Pfefferminzöls wird Menthol zu Menthon oxidiert und das Permanganat-Ion zu Braunstein reduziert:



(5) Ätherische Öle als Aerosole

Die Lerneinheit kann mit fortführenden Modellversuchen erweitert werden. Die Experimente sind jedoch auf den Klassenraum begrenzt. Alle notwendigen Versuchsvorschriften sind von Ammermann, Kaminski, Deiters und Pietzner veröffentlicht [22]. Im Folgenden werden lediglich die relevanten Versuchsschritte angegeben und der Bezug zu den ätherischen Ölen hergestellt.

Durchführung:

- Stelle ein Ozon-Sauerstoff-Gasgemisch mit einem Hofmann'schen Zersetzungsapparat her.
- Vermenge das Ozon-Sauerstoff-Gasgemisch aus Versuchsschritt a) mit selbst hergestelltem oder gekauftem ätherischem Öl, sodass sich ein Aerosol bildet.
- Miss mit einem Luxmeter die Änderung der Beleuchtungsstärke durch das Aerosol aus Versuchsschritt b).



Abb. 6: Nachweis der oxidierbaren Inhaltsstoffe des ätherischen Öls mit Kaliumpermanganat-Lösung. Nach dem Zutropfen des ätherischen Öls entfärbt sich die violette Lösung und ein brauner Niederschlag fällt aus.

- Miss mit einem Thermometer die Änderung der Temperatur durch das Aerosol aus Versuchsschritt b).
- Vermenge das Aerosol aus Versuchsschritt b) mit Wasserdampf so, dass sich eine Wolke bildet. Untersuche wie in Versuchsschritt c) die Änderung der Beleuchtungsstärke durch die Wolke.

Deutung:

Aerosole sind kolloide Gemische aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen in einer Gasphase. Sekundäre Aerosole entstehen im Gegensatz zu primären Aerosolen durch eine chemische Reaktion [22]. Im durchgeführten Experiment werden die Inhaltsstoffe des ätherischen Öls durch die Zugabe des Ozon-Sauerstoff-Gasgemischs oxidiert. Der Dampfdruck der oxidierten Produkte ist geringer als der Dampfdruck des ätherischen Öls, sodass aus der Gasphase Partikel kondensieren oder erstarren [18]. Dadurch entsteht ein natürliches sekundäres organisches Aerosol, das durch die Rayleigh-Streuung sichtbar wird (Versuchsschritt b) [22]. Pflanzen mit ätherischen Ölen bilden so im Hochsommer eine umgebende Dunstglocke, die zur Strahlungs- und Temperaturregulation (Versuchsschritt c und d) [18] und somit als Transpirationsschutz fungiert. Diese Dunstglocke ist im größeren Maßstab namensgebend für die Blue-Mountains nahe Sydney – Australien: Die Eukalyptus-Wälder geben bei starker Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen große Mengen ätherische Öle ab, die zur Partikelbildung beitragen und als blauer Dunst erscheinen. Auch die Entstehung von Wolken wird durch Aerosole beeinflusst, indem die Partikel als Kondensationskeime bei Wasserdampfübersättigung fungieren. Dadurch ist die aerosolinduzierte Wolkenbildung beispielsweise über (Nadel-)Wäldern zu erklären, die große Mengen ätherische Öle absondern (Versuchsschritt e) [22].

4. CHEMIE PUR in der fachdidaktischen Forschung

CHEMIE PUR orientiert sich am Paradigma der fachdidaktischen Entwicklungsforschung. Ziel dieser unterrichtsnahen Vorgehensweise ist es die oft beklagte Lücke zwischen Theorie und Praxis zu schließen. CHEMIE PUR ist sowohl konzeptionell mit starkem Bezug zur Unterrichtspraxis, als auch empirisch grundlagenorientiert ausgerichtet. Hierbei wird der Forschungsfrage nachgegangen, wie sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR auf das Fach- und Sachinteresse sowie auf die Naturverbundenheit und Einstellung zu Chemie und Natur von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II auswirkt. An einer Evaluationsstudie mit Kontrollgruppendesign nahmen 191 Probanden aus 13 Grund- und Leistungskursen der Klassenstufe elf und zwölf teil. Als Intervention wurden im Zeitraum von drei Monaten in der Experimentalgruppe fünf Doppelstunden mit Naturmaterialien im Freiland durchgeführt, während die Kontrollgruppe fünf Doppelstunden mit Alltagsmaterialien in den Räumlichkeiten an der Universität bearbeitete. Die Inhalte der Doppelstunden orientierten sich an zugrundeliegenden Basiskonzepten der Bildungsstandards im Fach Chemie, sodass sich lediglich der genutzte Kontext unterschied. Während in der Experimentalgruppe beispielsweise die hier vorgestellte Lerneinheit durchgeführt wurde, destillierten die Probanden in der Kontrollgruppe Rotwein und untersuchten die Stoffeigenschaften des Destillats (Alkohol-Nachweis, Oxidierbarkeit, Brennbarkeit) und des Rotweinsumpfs (Tannin-Nachweis, pH-Wert abhängige Farbveränderung).

Folgende Hypothesen wurden geprüft: (H1) Bei beiden Vergleichsgruppen steigt das chemiebezogene Sach- und Fachinteresse. (H2) Die antagonistische Einstellung zu Chemie und Natur nimmt in der Experimentalgruppe ab. (H3) Die Naturverbundenheit nimmt in der Experimentalgruppe zu. Die Datenerhebung erfolgte mittels Fragebögen zum Pre-, Post- und Follow Up Messzeitpunkt. Als abhängige Variablen wurden das chemiebezogene Sach- und Fachinteresse, die Einstellung zur Wissenschaft Chemie und Natur sowie die Naturverbundenheit erfasst. Als Kovariablen dienten das chemiebezogene Fähigkeitsselbstkonzept und Fachwissen sowie demografische Daten und Schulnoten. Die Ergebnisse der Hypothesenüberprüfung werden aktuell für Veröffentlichungen aufbereitet. Im Folgenden werden die Ergebnisse der interventionsbegleitenden Evaluation der beschriebenen Lerneinheit „Ätherischen Ölen auf der Spur“ vorgestellt.

Die CHEMIE PUR Lerneinheit wurde im Rahmen einer Masterarbeit konzipiert und mit drei Probanden präpilotiert. Dabei wurde das Versuchsskript mittels Lautem Denken auf Verständlichkeit getestet und die Durchführbarkeit durch Videoanalysen überprüft. Die Ergebnisse der Präpilotierung deckten Verständnisschwierigkeiten im Skript (z.B. ungenaue Mengenangaben) und Probleme bei der Durchführung der Lerneinheit auf. Kritisch hierbei war die mangelnde Standfestigkeit der Apparatur, der geringe Windschutz und die ungenügende Luftzufuhr für den Kartuschenbrenner.

Nach einer anschließenden Überarbeitung wurde die Lerneinheit mit 27 Probanden aus einem Leistungskurs der Klassenstufe elf und einem Grundkurs der Klassenstufe zwölf im Fach Chemie erprobt und die Messinstrumente für die empirische Untersuchung pilotiert. Die Ergebnisse der Pilotierung zeigten Optimierungspotenzial hinsichtlich der eingesetzten Fragebögen mit Items zur kognitiven Belastung und zum aktuellen, situationalen Interesse. Während für die Ermittlung der kognitiven Belastung fortan ein zweites Item eingesetzt werden sollte, wurde für die Messung des aktuellen, situationalen In-

teresses Formulierungen der Items konkretisiert oder Items aufgrund von unzureichenden Gütekriterien (z.B. Trennschärfe $r_{tt} < 0.3$, Schwierigkeit nach Dahl $d > 80$) aussortiert.

In der Hauptstudie wurde die Lerneinheit von 58 Probanden aus vier Chemie Grundkursen der Klassenstufe elf und zwölf durchgeführt (Alter: $M=17$ Jahre, $SD=0.9$; $\varnothing=62\%$, $n_{\varnothing}=36$). Die Datenerhebung der begleitenden Evaluation erfolgte mittels Kurzfragebögen im Anschluss an die CHEMIE PUR Lerneinheit. Als Qualitätsmerkmal der Lerneinheit wurde die kognitive Belastung mit zwei Items [23,24] und das aktuelle, situationale Interesse mit fünf Items [25,26,27] erfasst. Die angepasste Interessensskala mit einer größeren Stichprobe von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II (918 Fragebögen) lieferte nach einer konfirmatorischen Faktorenanalyse zufriedenstellende Werte ($\chi^2(5)=9.99$, $p=.08$; CFI & TLI = 0.99; RSMA = .03, $p=.77$; SRMR = .02). Auch die zugehörige Itemanalyse zeigte Werte im akzeptablen Bereich ($r_{tt} \geq 0.56$; Schwierigkeit nach Dahl $66 > d < 77$; Cronbach's $\alpha = .77$). Die siebenstufigen Items zur kognitiven Belastung lauteten: (1) Bei der Bearbeitung der Lerneinheit war meine geistige Denk-Anstrengung insgesamt (2) Wie leicht oder schwer war das Lernmaterial insgesamt zu verstehen? Die vierstufigen Interessensitems waren wie folgt formuliert: (1) Das Thema heute war für mich wichtig, da ich einen Einblick bekommen habe, wo Chemie in der Natur vorkommt. (2) Bei der Lerneinheit mochte ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt. (3) Ich finde es schade, dass die Lerneinheit jetzt vorbei ist. (4) Ich würde gerne mehr über die Experimente lernen, die wir in der Natur durchgeführt haben. (5) Beim Experimentieren habe ich interessante Anregungen erhalten. Negativ formulierte Items wurden umgepolt und anschließend zu einem Skalennittelwert aggregiert. Die über 58 Probanden gemittelte kognitive Belastung für die Lerneinheit liegt im angemessenen Bereich ($M=3.34$, $SD=0.9$; $Med=3.5$; $Min=1.5$, $Max=5.5$). Die Lerneinheit wird außerdem als interessant eingestuft ($M=3.0$, $SD=0.5$; $Med=3.0$; $Min=1.8$, $Max=4.0$). Sowohl die kognitive Belastung (CL) als auch das aktuelle, situationale Interesse (AI) unterscheidet sich nicht signifikant in Bezug auf das Geschlecht (CL: $t(56)=0.72$, $p>.05$; AI: $t(56)=1.63$, $p>.05$), das Alter (CL: $\beta=0.03$; $R^2=-0.02$; $t(56)=0.24$, $p>.05$; $F(1, 56)=0.06$, $p>.05$; AI: $\beta=-0.01$; $R^2=-0.02$; $t(56)=-0.08$, $p>.05$; $F(1, 56)=0.01$, $p>.05$) oder im Vergleich zur Einheit zum Thema Destillation von Rotwein in der Kontrollgruppe (CL: $t(125)=0.11$, $p>.05$; AI: $t(125)=0.16$, $p>.05$).

Sowohl die oben dargestellten Ergebnisse als auch die Rückmeldungen der beteiligten Lehrpersonen zeigen, dass sich die Lerneinheit „Ätherischen Ölen auf der Spur“ für den Einsatz im Chemieunterricht der Sekundarstufe II eignet. Auf Grundlage der mehrfachen Durchführung und Optimierung kann die CHEMIE PUR Lerneinheit als praxistauglich angesehen werden. Empirisch belegbar ist zudem, dass die Lerneinheit unabhängig vom Geschlecht oder Alter zu keiner Unter- oder Überforderung der Schülerinnen und Schülern führt und zusätzlich aktuelles, situationales Interesse auslöst.

5. Dank

Wir bedanken uns für die Förderung des Projekts durch den Fonds der chemischen Industrie (FCI) im Programm „Chemiedidaktik“ und beim Land Rheinland-Pfalz für die Unterstützung durch das Hochschulprogramm „Wissen schafft Zukunft“.

Literatur

- [1] Brämer, R., Knoll, H., Schild, H.-J. (2016). Natur Nebensache? 7. Jugendreport Natur 2016. Erste Ergebnisse. Universität Köln, Köln.
- [2] Demuth, R., Gräsel, C., Parchmann, I., Ralle, B. (2008). Chemie im Kontext. Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts. Waxmann Verlag, Münster.
- [3] Krapp, A. (2002). Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction* **12**, 383–409.
- [4] Brovelli, D., Fuchs, K., von Niederhäusern, R., Rempfler, A. (Hrsg.) (2012). Kompetenzentwicklung an Außerschulischen Lernorten. Lit Verlag, Münster, 11 ff.
- [5] Krischer, D. (2015). „...natürlich Chemie!“ Chemieunterricht in naturnaher Umgebung und naturbezogenen Kontexten. Ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufen I und II. Universität Siegen, Siegen.
- [6] Angrick, M., Kümmerer, K., Meinzer, L. (Hrsg.) (2006). Nachhaltige Chemie. Erfahrungen und Perspektiven. Metropolis Verlag, Marburg, 115 ff.
- [7] Roczen, N. (2011). Environmental competence. The interplay between connection with nature and environmental knowledge in promoting ecological behavior. Eindhofen University of Technology, Eindhofen.
- [8] Stern, M., Powell, R., Hill, D. (2014). Environmental education program evaluation in the new millennium: what do we measure and what have we learned?. *Environmental Education Research* **5**, 581–611.
- [9] Engl, A., Risch, B. (2014). CHEMIE PUR – Experimentieren im Freiland mit Naturstoffen. Eine interaktiv experimentelle Bodenrallye. *NiU Chemie* **6**, 34–37.
- [10] Engl, A., Risch, B. (2016). NATURAL CHEMISTRY – Outdoors!. *Green Teacher* **2**, 39–42.
- [11] Engl, A., Risch, B. (2016). CHEMIE PUR: Farbenpracht im Freiland – Eine Lerneinheit zu Naturfarbstoffen. *PdN CidS* **8**, 45–49.
- [12] Schmidkunz-Eggler, D. (2000). Ätherische Öle – mehr als nur Duftstoffe. *NiU Chemie* **1**, 25–28.
- [13] Bartel, R., Beschorner, M. (2015). Ätherische Öle. Physikalische Handexperimente für den Unterricht. *PdN BidS* **7**, 33–38.
- [14] Pfannekuche, A. (2000). Einsatzmöglichkeiten der Mikrodestillation zur Gewinnung und Fraktionierung kleiner Mengen ätherischer Öle. Universitätsbibliothek Hamburg, Hamburg.
- [15] Dingermann, T., Hiller, K., Schneider, G., Zündorf, I. (2004). *Schneider Arzneidrogen*. Springer Verlag, Heidelberg.
- [16] Kleindienst-John, I. (2012). *Hydrolate. Sanfte Heilkräfte aus Pflanzenwasser*. Freya Verlag GmbH, Linz.
- [17] Möller, K. (2005). *Destillatio. Destillen & Destillieren*. Books on Demand GmbH, Norderstedt.
- [18] Hoffmann, T., Klockow, D. (1998). Atmosphärenchemie biogener Kohlenwasserstoffe. *Ciuz* **4**, 182–191.
- [19] Münzinger, W. (1994). Duftstoffe in der Schule. *NiU Chemie* **2**, 19–27.
- [20] Malle, B., Schmickl, H. (2014). *Ätherische Öle selbst herstellen*. Die Werkstatt GmbH, Göttingen.
- [21] Minssen, M. (1994). Destillation im Freien. *NiU Chemie* **2**, 32–33.
- [22] Ammermann, S., Kaminski, L., Deiters, D., Pietzner, V. (2012). Aerosole – auch ein Klimafaktor. *NiU Chemie* **3**, 32–39.
- [23] Paas, F. G. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive-Load Approach. *Journal of Educational Psychology* **4**, 429–434.
- [24] Kalyuga, S., Chandler, P., Sweller, J. (1999). Managing Splitattention and Redundancy in Multimedia Instruction. *Applied Cognitive Psychology* **4**, 351–371.
- [25] Rheinberg, F., Vollmeyer, R., Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica* **2**, 57–66.
- [26] Fechner, S. (2009). Effects of context-oriented learning on student interest and achievement in chemistry education. Logos Verlag, Berlin.
- [27] Pawek, C. (2009). Schülerlabore als interesselördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe. Universitätsbibliothek Kiel, Kiel.

Eingegangen am 10. Februar 2017

Angenommen am 28. Juni 2017

Online veröffentlicht am 16. Januar 2018

Online-Ergänzung

CHEMIE PUR –
Unterrichten in der Natur



ÄTHERISCHEN ÖLEN
AUF DER SPUR

Online Ergänzung

Materialien

- Leere Kaffeedose (1 L)
- Küchensieb (Ø 20 cm)
- Durchbohrter Stopfen (Ø 2 cm)
- 2 Stopfen (Ø 2 cm)
- Gummiabdichtungsband
- Hochtemperatursilikon
- Blechschere, Schere und Lineal
- Einmal-Gummihandschuhe
- Hammer und Nagel



Abb 1 Abb 2

Arbeitsschritte

- (1) Dichte den Deckel einer metallischen Kaffeedose von innen mit Gummiband ab (Abb. 1). Schneide das Gummiband mit einer Schere auf die entsprechende Länge, sodass im inneren des Deckels ein geschlossener Gummiring gelegt werden kann (Abb. 2).
- (2) Schneide mit der Blechschere ein Loch (Ø 2 cm) in die Mitte des Deckels (Abb. 3). Schläge als Hilfestellung zunächst mit Hammer und Nagel ein Loch in den Deckel und vergrößere dieses anschließend mit der Blechschere.



Abb 3

Materialien

- Leere Farbdose (2,5 L)
- 3 Sechskantschrauben (6x80 mm) mit durchgehendem Gewinde
- 9 Muttern und 12 Zahnscheiben
- Kantenschutzband
- Lochband
- Gummischlauch (Ø 6 mm)
- 3 Nägel (6x220 mm)
- Hochtemperatursilikon
- Lineal, Blechschere und Hammer
- Einmal-Gummihandschuhe

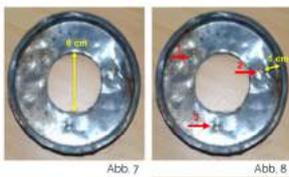


Abb 7 Abb 8

Arbeitsschritte

- (1) Schneide mit der Blechschere ein Loch (Ø 6 cm) in die Mitte des Deckels der Farbdose (Abb. 7).
- (2) Durchstoße den Deckel mit dem Nagel an drei gleichmäßig verteilten Stellen etwa ein Zentimeter vom Rand entfernt (Abb. 8).
- (3) Nutze den durchlöchernten Deckel als Schablone und durchstoße die Unterseite des Bodens der Farbdose an den gleichen drei Stellen (Abb. 9).



Abb 9



Abb 13 Abb 14 Abb 15

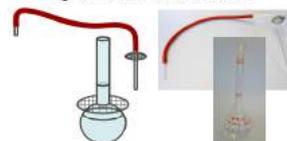
Arbeitsschritte

- (8) Schneide das Lochband in drei etwa zehn Zentimeter lange Streifen. Drücke das Lochband über die Nägel an die Innenwand der Dose, um eine passende Biegung zu erhalten (vgl. Querschnitt Abb. 13).
- (9) Fixiere das gebogene Lochband an der Oberseite der Innenwand um die drei Nägel mit Hochtemperatursilikon (Abb. 14). Nutze Einmal-Gummihandschuhe, um das Lochband mit dem Silikon festzudrücken.
- (10) Befestige den Deckel im Abstand von vier Zentimetern auf dem Boden der Farbdose mithilfe von drei Sechskantschrauben. Fixiere dazu jeweils drei Muttern mit vier Zahnscheiben von der Deckel- und Bodeninnen- und -außenseite auf jeder Sechskantschraube (Abb. 15).

(1) Metalldose mit Sieb



(3) Schlauch und Messkolben



(2) Dreifußwindschutz



(4) Kühlung mit Korkringverfuß



Abb 4 Abb 5 Abb 6

Arbeitsschritte

- (3) Stecke den durchbohrten Stopfen in das Loch und dichte die Hohlräume zwischen Loch und Stopfen sowohl außen als auch innen mit Hochtemperatursilikon ab (Abb. 4). Ziehe dazu die Einmal-Gummihandschuhe an und verteile das Silikon mit den Fingern.
- (4) Befestige zwei Gummistopfen als Halterung mit Hochtemperatursilikon an der Außenseite der Metalldose (Abb. 5).
- (5) Trenne das Stahlnetz mit der Blechschere vom Küchensieb ab. Drücke eine Mulde in das Sieb und lege es als Abstandshalter zum Boden in die Metalldose (Abb. 6).



Abb 10 Abb 11 Abb 12

Arbeitsschritte

- (4) Schneide ein Loch (Ø 6 cm) in die Mitte des Bodens (Abb. 10). Hämmere die drei Nägel in gleichmäßigen Abständen ein Zentimeter von Rand entfernt durch die Unterseite des Bodens (Abb. 10).
- (5) Schneide mit der Blechschere ein Loch (Größe und Position abhängig von dem eingesetzten Kartuschenbrenner) in die Seitenwand der Farbdose und kleide die Schnittstellen mit Kantenschutzband aus (Abb. 11). Schneide das Kantenschutzband mit der Blechschere dazu auf die passende Länge.
- (6) Fixiere die drei Nägel auf der Innenseite des Bodens mit drei kurzen Gummischlauchstücken (Abb. 12).

- Materialien**
- 2 Glasrohre (5 cm, 30 cm)
 - Gasbrenner
 - Gummischlauch (40 cm)
 - Drahtgeflecht (Ø 3 cm)
 - Nagel, Blechschere
 - Sieb (Ø 10 cm)
 - Sekundenkleber
 - Messkolben (100 mL)
 - Lackstift, Lineal
 - Messzylinder (100 mL)



Abb 16

Arbeitsschritte

- (1) Biege das Glasrohr (30 cm) nach etwa sieben Zentimetern mit einem Winkel von 60° über der Brennerflamme (Abb. 16).
- (2) Durchstoße das Drahtgeflecht in der Mitte mit dem Nagel und befestige es mit Sekundenkleber auf einer Höhe von etwa zwölf Zentimeter am längeren Ende des Winkelrohrs (Abb. 16).
- (3) Stecke den Schlauch auf das kürzere Ende des Winkelrohrs und mit der anderen Öffnung auf das kurze Glasrohr (5 cm) (Abb. 16).



Arbeitsschritte

- (4) Beschrifte mit einem wasserfesten Lackstift den oberen Rand des Messkolbenhalses mit „EIS“ (Abb. 17).
- (5) Markiere den Kolbenhals mit „AUF“, sodass mit einer langgezogenen Pasteur-Pipette Flüssigkeit entnommen werden könnte (Abb. 17).
- (6) Fülle 50 mL Wasser in den Messkolben und kennzeichne den Flüssigkeitsstand mit „ENDE“ (Abb. 17).
- (7) Durchstoße das Sieb mit einem Nagel und schneide mit der Blechschere ein Loch in das Sieb, durch das der Kolbenhals passt. Stecke das Sieb anschließend auf den Kolbenbauch.



Abb. 17



Materialien

- Leere Plastikflasche (2 L) mit Trinkverschluss
- Korkring (Ø 10 cm)
- 4 Nägel (6x140 mm)
- Hammer
- Schere

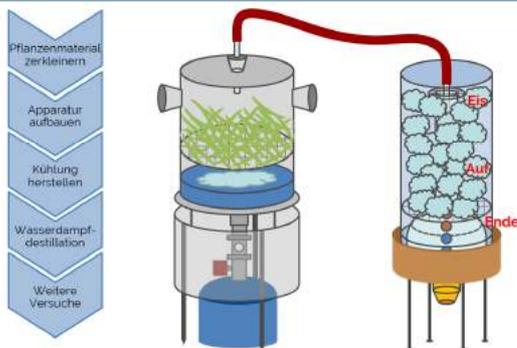


Abb. 18

Abb. 19

Arbeitsschritte

- (1) Klopfe die vier Nägel gleichmäßig verteilt in die Unterseite des Korkrings. Achte hierbei darauf, dass alle Nägel gleich tief in den Korkring hineintragen, sodass die vier Nagelköpfe auf einer Ebene liegen (Abb. 18).
- (2) Entferne den Boden einer Plastikflasche und stelle sie umgedreht in den Korkringvierfuß (Abb. 19).



- Pflanzenmaterial zerkleinern
- Apparatur aufbauen
- Kühlung herstellen
- Wasserdampfdestillation
- Weitere Versuche

Lerneinheit zum Struktur-Eigenschaft-Basiskonzept

- Wasserdampfdestillation
- Gleiches löst sich in Gleichem
- Fettfleckprobe
- Oxidierbare Inhaltsstoffe
- Aerosole

3.3 Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur

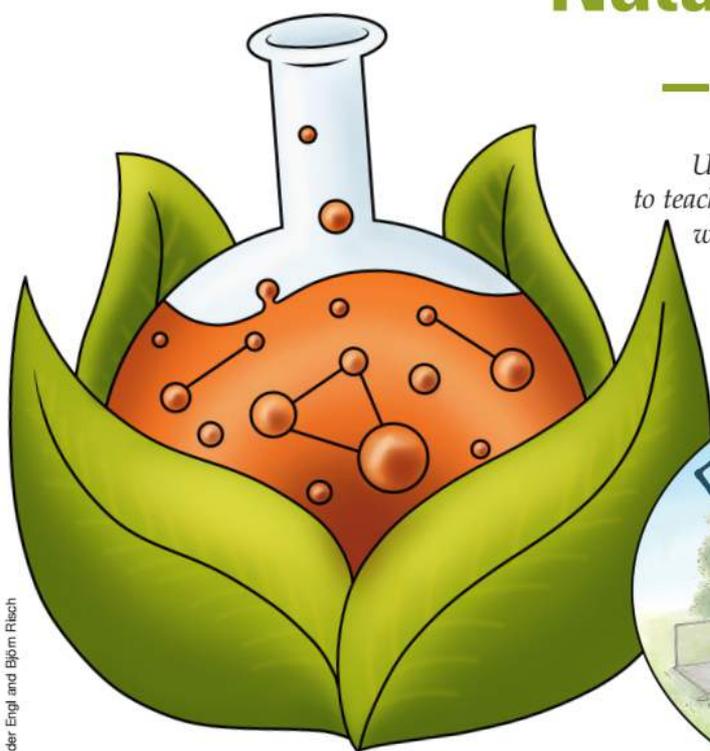
Ultraviolette Strahlung stellt eine Grundlage allen Lebens durch den Prozess der Fotosynthese dar, führt allerdings bei zu hoher Intensität zu biochemischen Schädigungen in Organismen (Jahnel, Jung & Risch, 2014). Aus diesem Grund müssen sich Pflanzen, Tiere und der Mensch vor UV-Strahlung schützen. Natürliche Sonnenschutzmechanismen auf Stoffebene umfassen beispielsweise Haare, die Epidermis der Haut oder die Cuticula der Blätter. Auf Teilchenebene sind dafür meist aromatische Verbindungen mit ausgedehnten, konjugierten π -Elektronensystemen verantwortlich (Weiler & Nover, 2008), zum Beispiel Melanine als Hautpigmente oder Flavonoide als sekundäre Pflanzenstoffe. Synthetische Sonnenschutzmittel basieren auf mineralischen Bestandteilen, wie Zink- und Titandioxid Nanopartikel und organischen Derivaten beispielsweise der p-Aminobenzoessäure (Langhals & Fuchs, 2004). Alle Sonnenschutzmechanismen beruhen auf der Absorption, Reflexion oder Streuung von energiereichem UV-Licht (ebd.). Dieses Prinzip kann mit Lernenden durch Modellexperimente der photochemisch induzierten Cyanotypie erarbeitet (Lawrence & Fishelson, 1999) und anhand der Fluoreszenz mit Rosskastanien vertieft werden (Weber, Martens & Ducci, 2007). Die Inhalte sind im rheinland-pfälzischen Lehrplan der Sekundarstufe II im Fach Chemie den Pflichtbausteinen „Komplexverbindungen in unserer Lebenswelt“ sowie „Aromatischer Zustand – Benzol und Substitution“ zuzuordnen (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz, 1998). Die nachfolgend vorgestellte CHEMIE PUR Lerneinheit „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ (Engl & Risch, 2016a) fokussiert dabei sowohl auf das Donator-Akzeptor- als auch auf das Struktur-Eigenschaft-Basiskonzept (Kultusministerkonferenz, 2004).

Im ersten Teil der Lerneinheit dient ein UV sensibles Papier als Modell der menschlichen Haut (Jahnel et al., 2014). Der Effekt der UV-Strahlung kann durch die Reaktion von Ammoniumeisen(III)citrat und Kaliumhexacyanidoferrat(III) zum Komplex Berliner Blau visualisiert werden (Deuber, 2005; Ware, 2008). Im Anschluss kann die Wirkung von Kleidungsstoffen, Cremes und Hauttypen als Sonnenschutzmaßnahme überprüft werden (Jahnel et al., 2014). Im zweiten Teil der Lerneinheit wird der Inhaltsstoff Aesculin der Rosskastanie hinsichtlich der Absorption von UV-Strahlung untersucht (Weiß & Brandl, 2013a). Diese Eigenschaft kann durch die unterschiedlich intensiv blaue Fluoreszenz des Rosskastanienextrats quantifiziert werden. Die Emission im blauen Wellenlängenbereich wird durch eine Veränderung des pH-

Werts beeinflusst (Tausch & Paterkiewicz, 1988), bei der sich der Absorptionsbereich des Moleküls verändert und die Fluoreszenz gelöscht wird.

Natural Chemistry – Outdoors!

Use fluorescence and sunscreen to teach chemistry to high school students while immersed in the outdoors



Alexander Engl and Björn Risch



By **Alexander Engl** and **Björn Risch**

THERE IS A BROAD CONSENSUS that experiences in nature positively affect physical and mental health and social development. Children who play outside several times a week are generally happier than those who don't, especially if those outdoor settings are stimulating ones. Since youth now spend an increasing amount of time in a virtual world, too often they become alienated from nature. And they experience fewer sensory opportunities than those who have regular contact with the natural world.

Richard Louv identified this problem as nature-deficit disorder: "the human costs of alienation from nature: among them diminished use of the senses, attention difficulties, and higher rates of physical and emotional illnesses."¹ In spite of this however, "nature" as a place of learning is not sufficiently integrated into science classes.

The concept for teaching chemistry outdoors is intended to make youth more aware of nature and the processes occurring there. The central idea is to shift parts of chemistry lessons outdoors, ideally into natural settings. Such outdoor lessons help students to better connect with the natural world and hopefully enjoy much more their time spent outside.

In order to better understand environmental processes, we encourage students to work in small groups and conduct

outdoor experiments using natural items that they have collected. There is another less obvious benefit of conducting experiments outdoors. The impacts of environmental stressors, such as UV radiation, are not immediately visible to most people. When outdoor experiments are set up to investigate those impacts, it helps the participants to better appreciate those impacts.

In contrast to traditional chemistry lessons which many students find abstract and complex, the objective of our *Natural Chemistry* approach is to build a bridge between chemistry instruction and every-day, natural phenomena. The starting point of our program is the "Outdoor Mobile", a former circus caravan that has been converted into an environmental outdoor student laboratory. This caravan is primarily used to store the materials and act as a meeting place for debriefing what has been learned. While it is very helpful for us, you will not need a mobile caravan in order to implement the concepts outlined in this article.

The Natural Chemistry units are designed for senior high school students with the following criteria in mind:²

1. Experiments take place outside of the classroom ("nature is my lab")
2. Minimal laboratory equipment and chemicals are used and reactions occur from naturally occurring substances
3. Environmental processes are demonstrated on real objects
4. The focus is on basic chemical concepts

5. Digital media, such as GPS devices or tablet computers, are used

Our program's philosophy is best seen in the following, multi-part activity. The first part of the activity uses model experiments to understand the curse and blessing of UV radiation.³ It will enable students to answer questions related to the effectiveness of sunscreen, clothing material, and skin types. In the second part, we look at natural sunscreens derived from plants such as horse chestnuts. With an extract of the bark, we take a closer look at the phenomenon of fluorescence and we show the dependency on the pH value of the fluorescence dye.

Decades of research have shown that an increase in knowledge does not necessarily lead to a change in behavior.⁴ For this reason, environmental education programs should focus on active and experiential engagement in real-world environmental problems, rather than the transfer of knowledge.⁵ Issue-based, project-based, and investigation-focused programs in real-world (place-based) nature settings will commonly achieve the desired outcomes. Natural Chemistry responds to these findings by actively involving students in the learning process – outdoors!

Alexander Engl has studied chemistry and biology and is currently a Ph. D. student in the Department of Chemistry Education at the University of Koblenz-Landau in Landau, Germany. **Björn Risch** is a Professor of Chemistry Education at the University of Koblenz-Landau (Campus Landau). They would like to thank the *Fonds der Chemischen Industrie* (FCI) for funding the project.

Notes

1. Louv, R. (2008). *Last Child in the Woods: Saving Our Children From Nature-Deficit Disorder*. Chapel Hill: Algonquin Books. ISBN: 978-1-56512-605-3.
2. Engl, A. & Risch, B. (2014). CHEMIE PUR: *Unterrichten im Freiland mit Naturstoffen. Eine interaktiv experimentelle Bodenrallye*. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 144(6), 34-37.
3. Jahnel, C., Jung, P. & Risch, B. (2014). *Sonne(n)mit Verstand – Modellexperimente zum Thema „UV-Strahlung und Sonnenschutzmittel“*. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 144(6), 28-33.
4. Roczen, N. (2011). *Environmental competence. The interplay between connection with nature and environmental knowledge in promoting ecological behavior*. Eindhoven: University of Technology Library. ISBN: 978-90-386-2950-6.
5. Stern, M. J., Powell, R. B. & Hill, D. (2014). *Environmental education program evaluation in the new millennium: what do we measure and what have we learned?* Environmental Education Research, 20(5), 581-611. DOI: 10.1080/13504622.2013.838749.

Activities

Activities 2 and 3 can be found at <http://greenteacher.com/natural-chemistry-outdoors/>

1. Sunscreen in a Model Experiment

Part A: Production of photo-sensitive cyanotype filter paper

The photo-sensitive cyanotype filter paper displays UV radiation by changing color. This demonstrates the powerful effect of UV radiation. Follow these instructions to create some for the experiment.

Materials: Beaker (50 mL), graduated cylinder (50 mL), glass rod, petri dish (≥ 7 cm), tweezers, 5 regular filter papers (≥ 7 cm), shoe box, paper towels, safety gloves, waste container

Chemicals: 2.5 g green ammonium ferric (III) citrate, 1 g potassium ferricyanide (III), distilled water

Time: 10 minutes

Safety instructions: Wear latex safety gloves to prevent your skin from being stained blue.

Procedure

- Put on latex safety gloves.
- Using the graduated cylinder, measure 25 mL of distilled water.
- Place the 50 mL beaker in the shoe box to avoid as much UV radiation as possible.
- In this beaker, prepare 1 g potassium ferricyanide (III) and 2.5 g green ammonium ferric (III) citrate in 25 mL of distilled water.
- Mix beaker chemicals with a glass rod.
- For best results, place the petri dish inside the shoe box beside the beaker for the next steps to keep it shaded or place it on the counter beside the box.
- Pour part of the solution from the beaker into a petri dish and put all five filter papers in the dish to soak up the poured solution.
- Using the tweezers, lift the filter papers from the petri dish and pat the filter papers dry using paper towels.
- Remove the beaker from the shoe box and store the filter

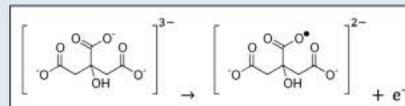
papers in the shoe box until required.

- Expose one of the five filter papers to UV radiation from the sun. You can also cut a small paper template to put over the exposed filter paper to show the difference between the fully exposed and covered portions.
- Leave the remaining papers in the shoe box.

Disposal: Collect the remaining solution in the beaker and petri dish and the one UV exposed filter paper to place in a waste container. (Hold onto the other four filter papers, for later use, as mentioned below.)

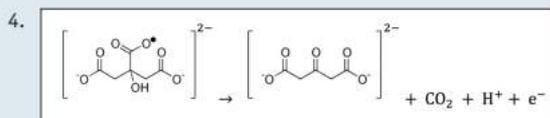
Explanation: The basis for these sunscreen experiments is the cyanotype process, which involves a photochemical-induced reaction between ammonium ferric (III) citrate and potassium ferricyanide (III) (red prussiate). If a watery solution of the two chemicals is exposed to sunlight (or an alternative source of UV radiation such as an ultraviolet lamp, overhead projector etc.), a distinctive blue color forms within a minute. Exposure to high-energy UV radiation causes an electron of the citrate ligand (from the ammonium ferric (III) citrate) to be transferred to the ferric (III) ion of the ammonium ferric (III) citrate, which is in turn reduced to a ferric (II) ion:

- Oxidation:

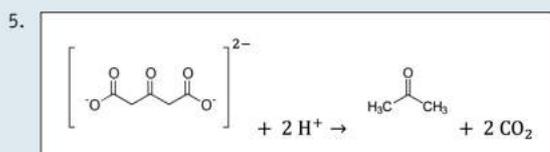


- Reduction: $\text{Fe}^{3+} + e^{-} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

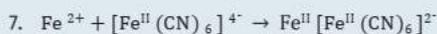
The resulting ferric (II) ions in chemical equation (2) react with the potassium ferricyanide (III) to form Prussian blue. The simply oxidized citrate radical releases a second electron and forms acetonedicarboxylic acid due to decarboxylation.



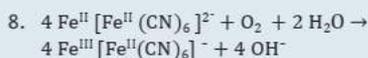
The acetonedicarboxylic acid can undergo decarboxylation two more times, with the Fe³⁺ ions being reduced. The final products are acetone and carbon dioxide:



If the UV radiation is very strong, white color can form on the filter paper. There is a transfer of electrons from the ferric (II) citrate to the ferric (III) ion of the potassium ferricyanide (III). This forms a ferric (II) ferricyanide complex, which reacts with the unbound ferric (II) ions to form so-called Prussian white. This process is called the solarization effect.



The Prussian white reacts with atmospheric oxygen to form Prussian blue. Contrary to the insoluble Prussian blue in chemical equation (3), the complex contains a ferric (II) ion.



Part B: Sunscreen by Reflection

These three model experiments compare different options for skin protection from UV exposure such as cream, clothing and skin types.

Materials: 3 cyanotype filter papers from Part A, 3 glass sheets, a paintbrush, template of different skin types (see figure 4), a piece of silk fabric, a piece of cotton fabric, 2 clothes pegs, waste container

Chemicals: Sun cream, hand cream

Time: 15 minutes

Procedure

- Put a cyanotype filter paper between two sheets of glass. Using the paintbrush, apply thin layers of hand cream and sun cream side by side to the top glass sheet. The same quantities should be used of each and the thickness of the layers applied should be identical.
- The pieces of silk and cotton fabric should be placed side by side over a second piece of cyanotype filter paper and fixed with clothes pegs, if necessary.
- Place the template of different skin types on a third cyanotype filter paper and weigh it down with a glass sheet.



Students prepare photo-sensitive cyanotype filter paper for sunscreen in a model experiment.

- Expose these three prepared cyanotype filter papers to UV radiation from the sun.

Disposal: Collect the exposed filter papers in a waste container.

Explanation: A comparison between the hand cream and the sun cream reveals different colors on the cyanotype filter paper. The hand cream provides no protection from UV radiation so a photochemically induced reaction occurs, resulting in a blue color. The sun cream, on the other hand, prevents this process and the filter paper remains virtually yellow-green. Mineral sun creams contain the primary light-screening substance titanium dioxide, in the form of nanoparticles that reflects or absorbs the UV radiation.

Silk and cotton also leave different shades of color on the cyanotype filter paper. Thin fabrics that are not densely interwoven, such as silk, provide very little protection against UV radiation, although people often like to wear these lightweight fabrics in the summer.

The third model experiment demonstrates the protective effect of different skin types. A color template consisting of four brown tones with varying degrees of transparency provides a basis for this experiment. After the experiment, the different shades of the color scale are reflected by different degrees of blue color on the filter paper. The color scale is intended to represent the different concentrations of melanin in skin. Melanin is the color pigment that is produced when skin is sun-tanned. The results illustrate the differences between the skin types with regard to their ability to resist UV radiation. The varying formation of Prussian blue symbolizes the exposure of the deeper skin layers to UV radiation.



Invisible UV radiation forms a distinctive blue color due to the cyanotype process. Sun cream, cotton, or sun-tanned skin prevents this process and the filter paper remains virtually yellow-green.

Part C: Sunscreen Through Absorption

This experiment is concerned with the protection mechanisms of plants in strong sunlight.

Research task: Not only do people need to be protected from UV radiation, plants also require sunscreen. For example, cacti in the highlands are covered in dense hair which enables them to reflect part of the UV radiation. The horse chestnut, ash, and narra trees or common orange lichen have a different strategy. This experiment shows how UV-active substances absorb sunlight. (Tip: The horse chestnut contains a water-soluble, UV-active substance between its bark and wood.)

Materials: 1 cyanotype filter paper from experiment A, scissors, 2 snap capped vials with a seal, glass rod, tweezers, a horse chestnut twig, waste container

Chemicals: Distilled water

Time: 15 minutes

Procedure (hidden for students)

- Put a small horse chestnut twig into a snap capped vial.
- On one side of the twig, remove up to half of the bark using the scissors.

- With the twig and loose bark in the vial add distilled water and stir several times with the glass rod.
- Use tweezers to extract the bark pieces and twig from the snap capped vial so that it only contains water with the extract of horse chestnut.
- Place the snap capped vial containing the horse chestnut extract and a second snap capped vial containing only distilled water on a cyanotype filter paper and expose it to sunlight.

Disposal: Collect the blue filter paper in a waste container. Keep the horse chestnut extract for subsequent experiments.

Explanation: In addition to sunscreen through reflection, some chemical substances provide light protection by absorbing sunlight and, as a result, reduce the intensity of UV radiation. UV-active substances such as 4-aminobenzoic acid derivatives are used in sun cream for this purpose. Selected substances contained in plants also absorb UV radiation and show the phenomenon of fluorescence. These fluorescent dyes are characterized by an extended conjugated π -electron system, which does not absorb visible light like other dyes, but is stimulated by short-wave UV radiation.



The horse chestnut contains a water-soluble, UV-active substance between its bark and wood. This chemical substance provides light protection by absorbing UV radiation. The left snap-capped vial contains water as a blank; the right snap-capped vial contains horse chestnut extract. The upper shade in the right picture is more yellow-green due to the sunscreen through absorption of the horse chestnut extract.

Online-Ergänzung

2. Absorption and Emission: Interplay in the Horse Chestnut

This experiment is about the phenomena of fluorescence using Aesculin as a natural fluorescent dye.

Materials: 7 snap-capped vials with a seal, ultraviolet torch ($\lambda = 366 \text{ nm}$), scissors, beaker (100 mL), glass rod, shoe box (see photo for the location of holes), a horse chestnut twig

Note: the recommended ultraviolet torch is the Pet Urine Detector 365NM Black Light Flash-light: PeeDar-Precision UV LED. It is available on Amazon.

Chemicals: Distilled water

Time: 15 minutes

Procedure

- Using the scissors, cut a hole in the box for the ultraviolet torch and cut another small hole to see into the box.
- Insert an approximately 10-cm-long horse chestnut twig in a beaker (100 mL).
- On one side of the twig, remove up to half of the bark using the scissors.
- Add 50 mL of distilled water to the pieces of bark and the twig and stir several times with the glass rod.
- Place the beaker containing the horse chestnut twig and extract in the shoe box, aligning it with the holes, and put the lid on the box.
- Insert the UV torch into the suitably-sized hole in the box and switch it on. The second hole in the shoe box is used for making observations during the experiment (see figure 6).
- Now turn off the UV torch, remove the beaker, and use the extract to evenly fill six snap-capped vials.
- Fill one snap cap vial with distilled water to serve as the blank.

- Line up the seven snap-capped vials behind one another inside the box in front of the UV lamp hole. The position of the blank can be varied arbitrarily.
- Shine the UV light through the lined up vials, which now block each other, so that the first vial gets full light and the last vial gets the least light (see figure 6).

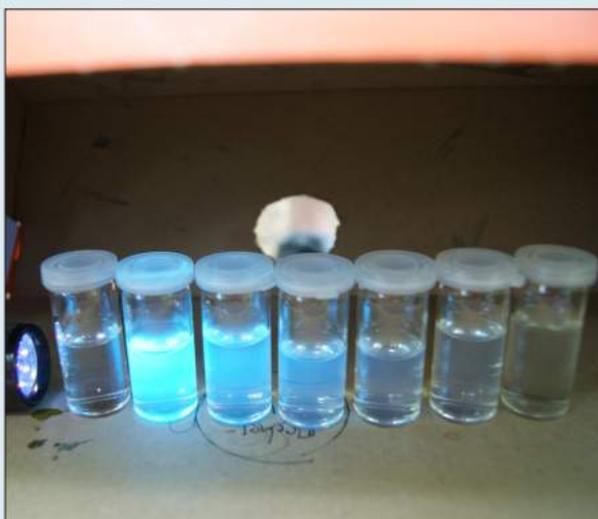
Disposal

All of the solutions can be kept for subsequent experiments.

Explanation

Aesculin is a substance occurring in the leaves, seeds and bark of the horse chestnut (*Asculus hippocastanum*). This substance is soluble in polar solvents such as water and it fluoresces blue. Fluorescence occurs when UV absorption and visible light emission interact. High-energy, short-wave, and invisible UV radiation excites electrons of the aesculin molecule. As a result of this absorption, the aesculin molecule temporarily transforms into an unstable state. However, the excited electrons immediately return to the energetically more favorable ground state. The energy resulting from this process is released in the form of visible light (emission).

The blue light of the extract in the lined-up tubes diminishes from one snap-capped vial to the next. The first aesculin solution absorbs the majority of the UV radiation, producing the most intensive fluorescence in this tube. Only a small proportion of the UV radiation passes through all of the snap-capped vials, which is why the last tube with aesculin solution hardly emits light at all. Regardless of the sequence of the tubes and the position of the blank, the weakening of fluorescence is identical because water does not absorb UV radiation.



Fluorescence occurs when UV absorption and visible light emission interact. The picture on the left shows the blue fluorescence of horse chestnut extract on the left side and ash extract on the right side. The blue fluorescence in the second picture diminishes from one snap capped vial to the next. The first snap-capped vial serves as a blank containing water.

3. Acid-base reaction with horse chestnut extract

This research task is about the pH dependency of the fluorescent dye. Acid-base reactions illustrate reversible fluorescence changes.

Research task: Verify the extent to which the fluorescence of the horse chestnut extract depends on the pH value of the solution. Also show how possible changes can be reversed. To enable comparison, use water as a blank and unchanged horse chestnut extract as a control sample.

Materials: 7 snap-capped vials from experiment 2, ultraviolet torch ($\lambda = 366 \text{ nm}$), felt-tip pen, small spoon, glass rod, shoe box, pH indicator paper, pipette, waste container

Chemicals: Lemon juice, baking soda, 5% hydrochloric acid and 5% lye in eyedroppers

Time: 15 minutes

Safety instructions: Safety goggles should be worn when handling acidic and alkaline solutions.

Procedure

Unless students are unable to work out a solution by themselves, please keep the following hidden from them. If they cannot, the following steps will help guide them. Note too that in Germany, students over 10 are allowed to work with hydrochloric acid and lye. Please check local regulations.

Part 1

- Drip lemon juice or hydrochloric acid into three snap-capped vials containing horse chestnut extract.
- Use a snap-capped vial with distilled water as the control sample.
- Use one snap-capped vial with horse chestnut extract as a blank.
- Put these five vials into the shoe box and expose them to ultraviolet radiation using the UV torch. Observe how the pH levels affect the fluorescence.

Part 2

- Add baking soda to a sixth snap-capped vial with horse chestnut extract.
- Add lye to a seventh snap-capped vial with horse chestnut extract.
- Place these two vials also into the box.
- Shine the UV lamp into the box to observe how the pH levels affect the fluorescence.

Part 3

- Use one of the three vials with acid from part 1 that contains extract and either lemon juice or hydrochloric acid.
- Either baking soda is spooned into it or lye is dripped into it to change the pH level.
- Place all seven vials (horse chestnut extract with lemon juice; horse chestnut extract with hydrochloric acid; horse chestnut extract with baking soda; horse chestnut extract with lye; horse chestnut extract with lemon juice and baking soda or with hydrochloric acid and lye; horse chestnut extract as a blank; distilled water) into the box and shine the UV light to compare the fluorescence and see how the change in pH has affected the solution.

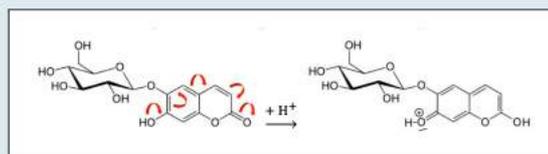
Disposal

Collect all remaining solutions in a waste container.

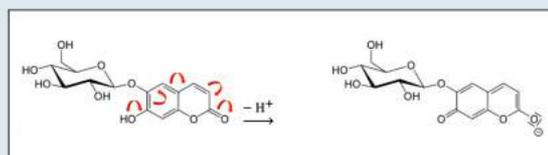
Explanation

The aesculin molecule is prevented from fluorescing by adding acid. Bases, on the other hand, intensify fluorescence of the aesculin molecule. A neutralization reaction causes the base in part three of the experiment to move the acidic pH value of the horse chestnut extract into a neutral area, making the solution fluoresce blue again. The fact that the fluorescence of aesculin is dependent on the pH value can be explained by the structure of the molecule. In an acidic environment, the molecule is protonated, destroying the conjugated π -electron system and resulting in no more UV radiation being absorbed. In a basic milieu, the deprotonated molecule is stabilized by resonance structures and the free electron pairs of the oxygen atoms extend the conjugated π -electron system, causing fluorescence to acquire more intensity.

9. protonated



10. deprotonated





The fluorescence of the horse chestnut extract depends on the pH value of the solution. Acids like lemon juice or hydrochloric acid prevent it from fluorescing and bases like baking soda or lye intensify fluorescence. In the picture above, the first snap-capped vial serves as a blank containing horse chestnut extract, the second snap-capped vial contains horse chestnut extract and lemon juice, and the third snap-capped vial contains horse chestnut extract and baking soda.

3.4 Farbenpracht im Freiland

Als Gemeinsamkeit auf Teilchenebene weisen Naturfarbstoffe ausgedehnte, konjugierte, π -Elektronensysteme sowie chromophore Gruppen auf (Baars, 2008). Diese Struktur als Grundlage der Farbstoffchemie ermöglicht Wechselwirkungen mit elektromagnetischer Strahlung, bei denen ein Teil absorbiert und der restliche Wellenlängenbereich reflektiert wird (ebd.). In Abhängigkeit des stoffspezifischen Absorptionsmaximums kann die reflektierte Komplementärfarbe wahrgenommen werden. Pflanzenfarbstoffe befinden sich vor allem in Blüten, Früchten oder Blätter, wobei wasserlösliche Verbindungen in Vakuolen und fettlösliche in Plastiden eingelagert werden (Weiler & Nover, 2008). Ihr vielfältiger Nutzen umfasst die Lichtsammlung und Weiterleitung für die Fotosynthese, den Schutz vor Fotooxidation und UV-Strahlung, den Fraßschutz sowie die Anlockung von Bestäubern oder Tieren, die zur Ausbereitung der Pflanze dienen (Lemke, 1998; Meyer, 2002). Der Bereich der Farbstoffchemie ist im rheinland-pfälzischen Lehrplan der Sekundarstufe II im Fach Chemie im Pflichtbausteinen „Farbstoffe – Grundlagen, Synthesen und Färbeverfahren“ wiederzufinden (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz, 1998). Die nachfolgend vorgestellte CHEMIE PUR Lerneinheit „Farbenpracht im Freiland“ (Engl & Risch, 2016b) bedient das Struktur-Eigenschaft-Basiskonzept, wobei die Eigenschaften und Funktionen von Naturfarbstoffklassen thematisiert werden (Kultusministerkonferenz, 2004).

Die Lerneinheit ist durch die verschiedenen Kategorisierungsmöglichkeiten der pflanzlichen Farbstoffe strukturiert: nach ihrer molekularen Struktur, dem Vorkommen in unterschiedlichen Organen und der damit verbundenen ökologischen Funktion. Die Struktur der Farbstoffklassen der Chlorophylle, Carotinoide, Anthocyane, Gallotannine, Isochinoline und Anthrachinone wurde anhand von typischen Eigenschaften experimentell erarbeitet. Beispielsweise hat der Blattfarbstoff Chlorophyll die Eigenschaft unter UV-Strahlung eine rote Fluoreszenz zu zeigen, die allerdings bei der Einwirkung von Säure verschwindet (Scherl & Müller, 2013). Dadurch werden Rückschlüsse auf das Porphyrin Grundgerüst mit dem Magnesium-Zentralatom gezogen sowie die Lichtabsorption für den Prozess der Fotosynthese als ökologische Funktion verdeutlicht. Weitere Eigenschaften, wie die Löslichkeit, pH-Wert abhängige Farbumschläge (Brandl, 2013), der Tyndalleffekt oder die Verwendung als historisch bedeutsame Tinte (Obendrauf, 2005) werden mit der Frucht der Hundsrose und Brombeere sowie mit blauen Blütenblättern der Kornblume

(Schickor, 1998), der Gelbflechte, dem orangenen Milchsafte des Schöllkrauts (Weiß & Brandl, 2013b) und der Borke der Eiche bedient.

CHEMIE PUR: Farbenpracht im Freiland

Eine Lerneinheit zu Naturfarbstoffen

A. Engl und B. Risch

Das Unterrichtskonzept „CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“ verfolgt die Idee, ausgewählte Chemiestunden in die Natur zu verlegen. Im Rahmen der Lerneinheit „Farbenpracht im Freiland“ werden beispielsweise Naturfarbstoffe experimentell untersucht.

Stichwörter: Freilandunterricht, Naturfarbstoffe, Umweltprozesse, Sekundarstufe II

1 Chemie und Natur – ein scheinbarer Antagonismus?

Mit „CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“ wird ein innovatives Konzept für den Chemieunterricht entwickelt (Abb. 1). CHEMIE PUR greift den scheinbaren Antagonismus zwischen Chemie und Natur auf. Während zu Zeiten der industriellen Revolution der Wissenschaft Chemie eine große Bedeutung beigemessen wurde und Chemie vor allem für Wachstum und Fortschritt stand, steht die heutige Gesellschaft der Disziplin der Chemie eher mit Skepsis und Misstrauen gegenüber [1, 2] und wird zumeist sogar als Gefahr für Mensch und Natur eingeschätzt [3]. Hoffmann beschreibt diese irrationale Angst als „Chemophobie“ [4]. Im Rahmen der Shell Studie 1997 sind beispielsweise 63% der Befragten der Meinung, dass Chemie und Technik die Natur zerstören werde [5]. Auch eine Dekade später zeigen die Ergebnisse der ROSE Studie, dass circa 65% der Mädchen und 50% der Jungen die schädlichen Auswirkungen der Naturwissenschaften höher einstufen als deren Nutzen [6]. Dieser öffentlichen Wahrnehmung bedient sich die Kosmetik- und Lebensmittelindustrie, um ihre Produkte mit Werbeslogans im Fokus des Natürlichen ohne Zusatz von Chemie zu vermarkten [7]. Sogar im naturwissenschaftlichen Bereich der Medizin arbeiten Pharmaunternehmen oder Ärzte zunehmend mit dem Bild „Natur statt Chemie!“ [vgl. Suchabfrage im Internet]. Als ironische Reaktion auf derartige Äußerungen hat die Royal Society of Chemistry eine Million Pfund auf die Entwicklung eines chemikalienfreien Produkts ausgeschrieben [8]. Dass Chemie als Naturwissenschaft allerdings der Beschreibung der Natur dient, um deren Stoffe und Stoffumwandlungen zu erfassen, ist dem Laien selten bewusst. Daher verwundern auch die Ergebnisse des Jugendreports Natur kaum,

dass beispielsweise nur 4% der Jugendlichen auf die Frage „Wie viel Prozent der Rohstoffe deines Handys kommen aus der Natur?“ korrekt mit 100% antworten [9].

2 Das Unterrichtskonzept „CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“

Kaufmann und Krischer zeigen, dass die antagonistische Sichtweise zwischen Chemie und Natur durch inhaltliche und methodische Änderungen im Chemieunterricht bewusst gemacht werden kann [10, 11]. Hier setzt CHEMIE PUR an. Die Kernidee des Unterrichtskonzepts besteht darin, Ausschnitte des Chemieunterrichts in die Natur zu verlegen. Im Freiland werden so mit direkt vor Ort gewonnenen Stoffen Umweltprozesse experimentell erarbeitet [12]. Ziel ist es, die von Schülerinnen und Schülern häufig als abstrakt und komplex empfundenen Inhalte des Chemieunterrichts [2, 13] mit alltäglichen und naturnahen Phänomenen in Einklang zu bringen [vgl. dazu auch 14].

CHEMIE PUR wird im Rahmen einer Evaluationsstudie im Kontrollgruppendesign empirisch untersucht. Dabei wird der Forschungsfrage nachgegangen, wie das Unterrichtskonzept die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II verändert

[15]. Dabei ist zu beachten, dass Schülerurteile sich nicht nur durch fachliche Erkenntnisse verändern, sondern vor allem Gefühle und Überzeugungen eine wichtige Rolle spielen [2]. Der Kontakt zur Natur im Chemieunterricht und der Genuss des Naturaufenthaltes sind die wesentlichen Faktoren zur Ausbildung von Naturverbundenheit [16].

Als Ausgangspunkt für die Lerneinheiten in der Natur steht mit dem „Freilandmobil“ ein Zirkuswagen zur Verfügung, der zu einem mobilen Umwelt-Freiland-Schülerlabor umgebaut wurde. Die CHEMIE PUR Lerneinheiten orientieren sich an folgenden Kriterien [12]: (1) Experimente außerhalb des Klassenzimmers („Die Natur ist mein Labor“), (2) Reaktionen von Naturstoffen mit möglichst wenig Laborgeräten und -chemikalien, (3) Umweltprozesse, die am konkreten Anschauungsobjekt erklärt werden, (4) Inhaltliche Orientierung an den Basiskonzepten und (5) Einsatz digitaler Medien im Chemieunterricht.

3 Die Lerneinheit „Farbenpracht im Freiland“

Die Philosophie von CHEMIE PUR wird nachfolgend anhand der erprobten Lerneinheit „Farbenpracht im Freiland“ vorgestellt. Die Lerneinheit ist schwerpunktmäßig dem Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung zugewiesen und inhaltlich am Basiskonzept „Struktur-Eigenschaft“ des Fachs Chemie der Sekundarstufe II ausgerichtet. Die Deutungen der Experimente sind daher in folgende Bereiche gegliedert: a) Einordnung in die Farbstoffklasse (Struktur), b) Erklärung der Beobachtung des Experiments (Stoffeigenschaften), c) Verbindung der zugrundeliegenden chemischen Theorie mit dem ökologischen Nutzen der Pflanze (Funktion).

Kleingruppen von zwei bis vier Schülerinnen und Schülern erhalten für die Durchführung der Lerneinheit einen Koffer mit Laborgeräten, einem Reagenzien-

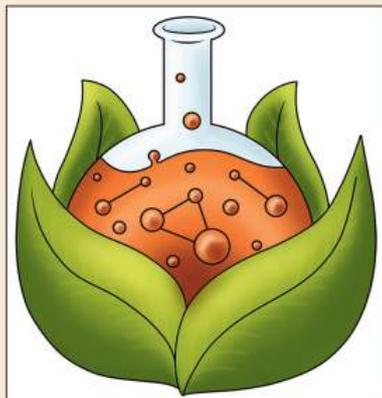


Abb. 1: „CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“ Logo

satz an Chemikalien, einem GPS-Gerät und einem Tablet-PC, über den die Versuchsvorschriften und zugehörigen GPS-Koordinaten der Standorte der jeweiligen Naturmaterialien abrufbar sind. So werden in der naturnahen Schulumgebung unterschiedliche Naturfarbstoffe (Porphyrine, Carotinoide, Anthocyane und Anthrachinone, sowie Tannine und Isochinoline) aus Pflanzen extrahiert und deren Eigenschaften experimentell untersucht [vgl. dazu auch 17, 18]. Dabei werden die ökologischen Funktionen und das Vorkommen in den verschiedenen Pflanzenorganen (Blätter, Blüte, Früchte, Borke, Wurzel und Thallus) thematisiert.

3.1 Kunterbunte Blattfarbstoffe

Material: Grüne Blätter (z. B. Brennnessel), Messzylinder 25 mL, Mörser und Pistill, 3 Pipetten, Schere, 3 Rollrandgläser, UV-Taschenlampe, Schuhkarton

Chemikalien: Ethanol (02, leicht entzündbar), Salzsäure 5 %ig (05, ätzend; 07, Gefahr), farbloses Öl (z. B. Penaten Babyöl), H₂O dest.

Sicherheitshinweise: Beim Umgang mit Säuren und Laugen ist eine Schutzbrille zu tragen.

Durchführung:

- Zwei grüne Blätter der Brennnessel werden mit der Schere zerschnitten und im Mörser mit 20 mL Ethanol zerrieben. Das Extrakt wird in ein Rollrandglas dekantiert.
- Jeweils ein halber Finger breit grünes Brennnessel-Extrakt wird in zwei Rollrandgläser gegeben. Zu einem der Rollrandgläser wird ein halber Finger breit Salzsäure gegeben. Beide Rollrandgläser werden mit der UV-Taschenlampe im Schuhkarton bestrahlt und die Fluoreszenz miteinander verglichen. Falls

kein Unterschied zwischen den zwei Lösungen erkennbar ist, wird in das erste Rollrandglas mehr Salzsäure gegeben.

- In das Rollrandglas mit dem Extrakt aus Schritt a) wird ein Finger breit Babyöl gegeben und kräftig geschüttelt. Wenn sich die Phasen getrennt haben, werden die Farben der Schichten miteinander verglichen.

Entsorgung: Die verbleibenden Lösungen werden in den verschlossenen Rollrandgläser aufbewahrt und sonstige Reste im Abfallbehälter gesammelt.

Deutung: Die häufigsten Blattfarbstoffe aller Pflanzen sind die Chlorophylle. Dieses Blattgrün zählt zur Farbstoffklasse der Porphyrine. Alle Chlorophylle bestehen aus einem Porphyrin-Grundgerüst und einem Magnesium-Ion als Zentralteilchen. Chlorophylle ermöglichen die Lichtabsorption für den Prozess der Photosynthese. Die Säurezugabe zum grünen Brennnessel-Extrakt bewirkt, dass sich das Magnesium-Ion aus dem Porphyrin-Ring löst und sich die Lösung graubraun färbt [19]. Dieser Vorgang ist irreversibel und zerstört die Lichtabsorption, was durch die Bestrahlung mit UV-Licht verdeutlicht werden kann. Während das Brennnessel-Extrakt unter der UV-Taschenlampe zuvor rötlich fluoresziert, wird im sauren Milieu die Fluoreszenz gelöscht [19].

Eine weitere Farbstoffklasse ist ebenfalls in allen Blättern vorhanden, wird aber meist durch das Blattgrün überdeckt: Carotinoide. Hierbei handelt es sich um fettlösliche, langkettige, ungesättigte Kohlenwasserstoffe, die gelbrote Färbungen aufweisen. Nach der Auftrennung des Brennnessel-Extrakts mit Babyöl ist in der unpolaren Öl-Phase eine Gelbfärbung erkennbar [20] (Abb. 2). Diese Blattfarbstoffe sind neben Abbauprodukten der Chlo-

rophyll für die charakteristisch bunten Herbstfarben verantwortlich [21]. Außerdem erweitern Carotinoide das Absorptionsspektrum bei der Photosynthese und schützen die Chlorophyllmoleküle vor Fotooxidation durch die zahlreichen Doppelbindungen [22]. Sind die Blätter zu intensiver Sonnenstrahlung ausgesetzt, wird die überschüssige Energie durch die Carotinoide als Wärme abgestrahlt.

3.2 Farborgel mit Früchten

Material: Brombeeren, Mörser und Pistill, Messzylinder 25 mL, Pipette

Chemikalien: H₂O dest., pH-Pufferlösungen 3–12

Sicherheitshinweise: Beim Umgang mit Säuren und Laugen ist eine Schutzbrille zu tragen.

Durchführung:

- Drei Brombeeren werden mit 20 mL H₂O dest. im Mörser zerrieben und anschließend in ein Rollrandglas dekantiert.
- Jeweils 10 Tropfen des Früchte-Extrakts werden mit einer Pipette in die Rollrandgläser mit den Pufferlösungen überführt und durch leichtes Schwenken vermischt.

Entsorgung: Die verbleibenden Lösungen werden in den verschlossenen Rollrandgläser aufbewahrt und sonstige Reste im Abfallbehälter gesammelt.

3.3 Farbenspiel der Blüte

Material: Blaue Blüten (z. B. Kornblume), 3 Rollrandgläser, Pinzette, Mörser und Pistill, Messzylinder 25 mL, Pipette

Chemikalien: H₂O dest., Salzsäure 5 %ig (05, ätzend; 07, Gefahr), Natronlauge 5 %ig (05, ätzend)

Sicherheitshinweise: Beim Umgang mit Säuren und Laugen ist eine Schutzbrille zu tragen.



Abb. 2: Links: Eine Schülergruppe extrahiert Blattfarbstoffe im Freiland. Rechts: Ein Schüler vergleicht zwei Extrakte, links von einem roten Blatt, rechts von einem grünen Blatt. In der jeweils unteren Phase lösen sich Carotinoide in Babyöl, während sich in der jeweils oberen Phase polarere Stoffe, wie Chlorophyll, in Ethanol anreichern.

Fotos: Autor



Abb. 3: Brombeer-Extrakt in pH-Pufferlösungen 3–12. Von links nach rechts nimmt der pH-Wert zu.

Foto: Autor

Durchführung:

- Die blauen Blütenblätter von drei Blüten werden abgezupft, zwischen den Fingern zerrieben und gleichmäßig auf drei Rollrandgläser verteilt.
- Die Blütenblätter des ersten Rollrandglases werden mit Natronlauge bedeckt. In das zweite Rollrandglas wird die gleiche Menge Salzsäure getropft. Das dritte Rollrandglas dient als Blindprobe und wird mit H₂O dest. versetzt. Der Ansatz wird circa drei Minuten stehen gelassen, bis eine Farbveränderung der Blütenblätter sichtbar wird.
- Nach dem Farbwechsel werden die Blütenblätter mit der Pinzette aus dem Rollrandglas herausgeholt, kurz mit H₂O dest. abgespült und in das jeweils andere Rollrandglas mit Salzsäure oder Natronlauge gegeben, bis abermals ein Farbwechsel stattfindet.

Entsorgung: Die verbleibenden Lösungen werden in den verschlossenen Rollrandgläsern aufbewahrt und sonstige Reste im Abfallbehälter gesammelt.

Deutung: Der blaue Farbstoff in den Früchten (Chrysanthemin, ein Cyanidinglycosid) und Blüten (Cyanidin) ist der Farbstoffklasse der Anthocyane zugeordnet. Anthocyane zeichnen sich durch ihre Wasserlöslichkeit und ihre pH-Wert abhängige Färbung aus. Durch mehrere Protonierungs- beziehungsweise Deprotonierungsreaktionen an Hydroxyl-Gruppen verändert sich die Struktur des Anthocyanins [23, 24, 25]. Die unterschiedlichen konjugierten π -Elektronensysteme führen zu einem veränderten Absorptionsspektrum, wodurch verschiedene Farbtöne entstehen.

Die Färbung des Brombeerextrakts in den jeweiligen Pufferlösungen geht im sauren Milieu von Rot in Purpur über [26] (Abb. 3). Im neutralen Bereich ist die Lösung violett-blau gefärbt, was in etwa der Farbe einer reifen Brombeere entspricht [25]. Die im basischen Milieu zu erwartende Blaugrünfärbung erscheint in braun-

violetten Farbtönen. Im stark basischen Milieu weist die Lösung nach wenigen Minuten einen Gelbton auf [24].

Die blaue Blütenfarbe deutet auf ein neutrales bis basisches Milieu in den pflanzlichen Zellen hin, die durch Säurezugabe in einen Rotton und durch Basenzugabe in einen Gelbton umschlägt [23]. Beim Tausch der Blütenblätter von Salzsäure zur Natronlauge und umgekehrt zeigt sich, dass sich die Gelbfärbung der Blütenblätter aus Natronlauge durch Bedecken mit Salzsäure nicht mehr rückgängig machen lässt. Die Rotfärbung der Blütenblätter durch die Salzsäure lässt sich mit Natronlauge verändern, da die Deprotonierungsreaktionen zwischen pH 3 und 10 reversibel sind [24]. Erst ab einem pH-Wert von größer als 10 kommt es zur irreversiblen Veränderung des Moleküls. Daher verändert sich die Farbe der Blüten nach dem Wechsel nur noch bei der Blüte, die aus der Salzsäure in die Natronlauge überführt wird.

Anthocyane dienen der Absorption von energiereicher UV-Strahlung, als Radikalfänger bei oxidativem Stress und als Lockmittel [25, 27]. Normalerweise stellt die Pflanze einen konstanten pH-Wert in den Blütenblättern ein, um mit dieser charakteristischen Farbe erwünschte Tiere anzulocken. Farbumschläge werden bei Blütenblättern durch pflanzliche Stoffwechselprozesse, wie Alterserscheinungen und Reife (z. B. bei Lungenkraut) oder der erfolgreichen Bestäubung (z. B. bei Wandelröschen) ausgelöst.

Der ökologische Nutzen der Farbveränderungen beim Reifungsvorgang von Früchten hängt mit der gezielten Ausbreitung der Samen zusammen. Das charakteristische Farbsignal einer reifen Frucht lockt beispielsweise Tiere an, die dann nur diese Früchte fressen und die Samen später mit dem Kot ausscheiden [25]. Die Tiere tragen so Samen von Pflanzen an potentiell neue Standorte.

3.4 Tinte aus Borke selbstgemacht

Material: Eichenborke oder Eichengallen, Mörser und Pistill, Rollrandglas, Messzylinder 10mL

Chemikalien: Ethanol (02, leicht entzündbar), Eisen(II)sulfat-Lösung 5 %ig (07, Achtung)

Sicherheitshinweise: Beim Umgang mit reizenden Stoffen ist eine Schutzbrille zu tragen.

Durchführung:

- Das Stück Eichenborke wird zerkrümelt und mit 10 mL Ethanol im Mörser zerrieben.
- Der Extrakt wird in ein Rollrandglas überführt und mit wenigen Tropfen Eisen(II)sulfat-Lösung versetzt.

Entsorgung: Die verbleibende Lösung wird im verschlossenen Rollrandglas aufbewahrt und sonstige Reste im Abfallbehälter gesammelt.



Abb. 4: Ein Schüler stellt Eisen-Gallustinte mit Eichenborke her. Das Experiment wird für wissenschaftliche Begleituntersuchungen videografiert.

Foto: Autor

Deutung: Eichenborke enthält 8–20%, Eichengallen sogar bis zu 70% Gallotannine. Diese sekundären Pflanzenstoffe sind hydrolysierbare Polyphenole, die bei der Extraktion in Gallussäure oder andere mehrwertige Alkohole gespalten werden. Wird nun Eisen(II)sulfat-Lösung hinzugegeben, färbt sich das bräunliche Extrakt blau bis tiefschwarz [28] (Abb. 4). Gallussäure reagiert in Anwesenheit von Luft-sauerstoff und Eisen(II)sulfat zu Schwefel-säure und dem Eisen(III)gallat-Komplex [29, 30].

Zahlreiche historische Schriften wurden mit Eisen-Gallustinte verfasst. Dabei wurden meist Galläpfel oder auch die Eichenborke genutzt und zusammen mit Eisensulfat und Gummi arabicum zu Tinte gekocht [31]. Die Dokumente hatten allerdings einen gravierenden Nachteil: Diese Tintenzubereitungen enthalten große Mengen an Säure und reaktiven Eisen-Ionen, welche die Cellulose im Papier zersetzen und die Dokumente zerstören [29].

Die ökologische Funktion der Gallotannine bezieht sich auf den Fraßschutz. Werden Blätter oder die Borke von Tieren gefressen, verklumpen die hydrolysierbaren Tannine die Eiweiße im Nahrungsbrei und überführen diese in eine schwer verdauliche Form [32]. Diese Eigenschaft der Tannine fand schon im Mittelalter beim Gerben von Leder Anwendung und einige traditionelle Gerbereien benutzen Eichenborke als Gerbstoffe noch heute. Dabei verbinden sich die Gerbstoffe mit den Eiweißen in der Tierhaut und verdrängen das noch enthaltene Wasser [33]. Dadurch werden Bakterien am Abbau dieser Eiweiße und damit der Tierhaut gehindert, was zu einer Konservierung des Leders führt.

3.5 Farbenfrohe Flechte

Material: Gelbflechte, Mörser und Pistill, 2 Rollrandgläser, 25 mL Messzylinder, Schuhkarton

Chemikalien: Ethanol (02, leicht entzündbar), Natronlauge 5 %ig (05, ätzend)

Sicherheitshinweise: Beim Umgang mit Laugen ist eine Schutzbrille zu tragen.

Durchführung:

- Das circa 2-Euromünzgroße Stück der Gelbflechte wird mit 20 mL Ethanol im Mörser zerrieben. Der Flechten-Extrakt wird in ein frisches Rollrandglas dekantiert.
- Die Hälfte des Extrakts wird in ein neues Rollrandglas gegeben und tropfenweise mit Natronlauge versetzt, bis ein Farbumschlag zu erkennen ist.



Abb. 5: Das Flechten-Extrakt wurde im linken Rollrandglas mit Natronlauge versetzt. Das rechte Rollrandglas dient als Blindprobe. Foto: Autor

Entsorgung: Die verbleibenden Lösungen werden in den verschlossenen Rollrandgläser aufbewahrt und sonstige Reste im Abfallbehälter gesammelt.

Deutung: Der gelbe Farbstoff der Gewöhnlichen Gelbflechte heißt Parietin. Dieser Anthrachinonfarbstoff wurde zur Färbung von Textilien und als Arznei gegen Gelbsucht genutzt [vgl. dazu auch 34]. Durch die Zugabe der Natronlauge wird eine Hydroxy-Gruppe des Parietin-Moleküls deprotoniert und das π -Elektronensystem verschiebt sich [35]. Das dadurch veränderte Absorptionsmaximum des Moleküls wird im Farbumschlag der Lösung von Gelb zu Rot sichtbar [36] (Abb. 5).

Parietin wird vom Pilz in der Flechte als UV-Strahlungsschutz produziert [37]. Flechten sind eine symbiotische Lebensgemeinschaft aus Pilzen und fotosynthesebetreibenden Partnern, meist Grünalgen oder Cyanobakterien. Bei einer Symbiose haben beide Lebewesen Vorteile durch die Gemeinschaft und ergänzen sich. Sie können an Standorten leben, an denen sie alleine keine Chance hätten. Der Pilz schützt seinen Partner beispielsweise vor Austrocknung oder energiereicher UV-Strahlung. Die Grünalgen oder Cyanobakterien versorgen ihren Partner im Gegenzug mit den Nährstoffen, die sie durch die Fotosynthese herstellen.

3.6 Verborgenes Schimmern im Milchsafte

Material: Schöllkraut, Hahnenfuß, Löwenzahn, Wolfsmilch oder eine andere Milchsafte-führende Pflanze, 2 Rollrandgläser, Glasstab, Schuhkarton mit Loch, Laserpointer, UV-Taschenlampe

Chemikalien: H₂O dest.

Sicherheitshinweise: Beim Umgang mit dem Milchsafte des Schöllkrauts ist eine Schutzbrille zu tragen.

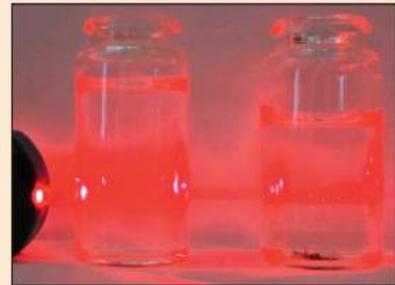


Abb. 6: Der Laserpointer bestrahlt zwei Rollrandgläser. Das linke Rollrandglas enthält H₂O dest. als Blindprobe. In das rechte Rollrandglas wurde zusätzlich Milchsafte gegeben, wodurch der Tyndall-Effekt auftritt. Foto: Autor

Durchführung:

- Schöllkraut wird an der Wurzel gepflückt und der austretende Milchsafte aus der Wurzel (oder dem Spross) wird in ein Rollrandglas getropft (oder mit einem Glasstab abgetupft), das zur Hälfte mit H₂O dest. gefüllt ist. Ein zweites Rollrandglas mit H₂O dest. dient als Blindprobe.
- Die zwei Rollrandgläser werden im Schuhkarton hintereinander aufgereiht und mit dem Laserpointer seitlich bestrahlt, sodass der Laserstrahl beide Rollrandgläser beleuchtet. Der Schritt b) kann mit dem Milchsafte-Extrakt des Schöllkrauts und der UV-Taschenlampe wiederholt werden. Bei den oben genannten anderen Pflanzen wird keine Fluoreszenzerscheinung auftreten.

Entsorgung: Die verbleibenden Lösungen werden in den verschlossenen Rollrandgläsern aufbewahrt und sonstige Reste im Abfallbehälter gesammelt.

Deutung: Der Pflanzensaft des Schöllkrauts enthält neben wasserlöslichen Substanzen (z. B. Stärke, organische Säuren und Alkaloide) auch Öle [18]. Diese schlecht wasserlöslichen Substanzen liegen als kleine Tröpfchen in der Emulsion vor und verursachen die milchige Trübung. Die Gelbfärbung und die gelbgrüne Fluoreszenz des Schöllkraut Milchsafte ist auf das Isochinolin-Alkaloid Berberin zurückzuführen [38].

Im durchgeführten Experiment wird der Strahl des Laserpointers durch die Zugabe des Milchsafte sichtbar (Abb. 6). Die hydrophoben Bestandteile des Milchsafte verteilen sich als feine Tröpfchen, an denen der Laserstrahl gestreut wird. Der Streueffekt – ausgelöst von kleinsten Partikeln oder Tröpfchen – heißt Tyndall-Effekt [39]. Bei der Blindprobe erscheint der Laserstrahl nur an der Glaswand des Rollrandglases.

Alkaloide sind meist giftige Produkte des pflanzlichen Sekundärstoffwechsels, die aufgrund ihres bitteren Geschmacks dem Schutz vor Fressfeinden dienen. Berberin wirkt im tierischen und menschlichen Organismus krampflösend auf die Muskulatur, beruhigend auf das Zentralnervensystem und zellteilungshemmend beispielsweise bei der Behandlung von Warzen [18]. Außerdem wird Berberin noch heute als preiswerter Naturfarbstoff zum Färben von Wolle und Seide unter dem Namen „natural yellow 18“ vertrieben [38]. ■

Dank

Wir bedanken uns für die Förderung des Projekts durch den Fonds der Chemischen Industrie (FCI) im Programm „Chemiedidaktik“ und beim Land Rheinland-Pfalz für die Unterstützung durch das Hochschulprogramm „Wissenschaft Zukunft“.

Literatur

- [1] H.-D. Barke, G. Harsch, *Image von Chemie und Chemieunterricht*. CiuZ 34 (1), S. 17–23 (2000)
- [2] I. Parchmann, J. Menche, *Von Anfang an. Nachhaltigkeit durch Chemieunterricht*. In: M. Angrick, K. Kümmerer, L. Meinzer (Hrsg.), *Nachhaltige Chemie. Erfahrungen und Perspektiven*. Metropolis Verlag, Marburg 2006
- [3] C. Krager, *Natürlichkeit und Chemie – ein Gegensatz in der öffentlichen Wahrnehmung?*. In: P. Janich, C. Rüchardt, (Hrsg.), *Natürlich, technisch, chemisch: Verhältnisse zur Natur am Beispiel der Chemie*. Gruyter Verlag, Berlin 1996
- [4] R. Hoffmann, *Chemie, Demokratie und eine angemessene Antwort auf die Umweltprobleme*. *Nachrichten aus Chemie, Technik und Laboratorium* 38 (7/8), S. 836–842 (1990)
- [5] A. Lehmann-Riekert, *Chemie und Öffentlichkeit – der (leicht) gestörte Frieden*. *Nachrichten aus Chemie, Technik und Laboratorium* 47 (7), S. 797–800 (1999).
- [6] S. Sjøberg, C. Schreiner, *The ROSE project. An overview and key findings*. University of Oslo, Oslo 2010
- [7] M. Gröger, D. Krischer, P. Spitzer, *Chemieunterricht? Draußen!*. NiU-Ch 144 (6), S. 2–7 (2014)
- [8] www.rsc.org/AboutUs/News/PressReleases/2010/CTPA100ChemicalFree.asp, (Royal Society of Chemistry, Zugriffsdatum 09.09.2016)
- [9] R. Brämer, *Natur: Vergessen? Erste Befunde des Jugendreports 2010*. Universität Marburg, Bonn/Marburg 2010
- [10] H. Kaufmann, *Chemieunterricht und das Problem der antagonistischen Sicht von „Natur“ und „Chemie“*. Lit Verlag, Münster 2000
- [11] D. Krischer, „...natürlich Chemie!“ *Chemieunterricht in naturnaher Umgebung und naturbezogenen Kontexten*. Ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufen I und II. Universität Siegen, Siegen 2015
- [12] A. Engl, B. Risch, *CHEMIE PUR: Unterrichten im Freiland mit Naturstoffen*. Eine interaktiv experimentelle Bodenrallye. NiU-Ch 144 (6), S. 34–37 (2014)
- [13] S. Pietsch, H.-D. Barke, „Male dein Bild zur Chemie“ *Wie Jugendliche die Chemie sehen*. CiuZ 48 (4), S. 312–316 (2014)
- [14] P. Pfeifer, K. Sommer, S. Venke, *Naturstoffe im Chemieunterricht*. NiU-Ch 84 (5), S. 4–7 (2004)
- [15] A. Engl, B. Risch, *Chemie Pur - Unterrichten in der Natur*. In: S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014 S. 546–548, IPN, Kiel 2015
- [16] N. Roczen, *Environmental competence. The interplay between connection with nature and environmental knowledge in promoting ecological behavior*. Eindhoven University of Technology, Eindhoven 2011
- [17] S. Stuckmeier, *Farben mit Geschichte. Naturfarbstoffe*. CiuZ 37 (6), S. 402–409 (2003)
- [18] G. Schwedt, *Chemie für alle Jahreszeiten. Einfach Experimente mit pflanzlichen Naturstoffen*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2007
- [19] M. Scherl, T. Müller, *Über das Verschwinden des Chlorophylls – Teil 2: Schülerexperimente rund um die Blattfarbstoffe*. *Chemie & Schule* 28 (3), S. 17–21 (2013)
- [20] A. Hüttner, R. Wiczorek, K. Sommer, *Rote Blätter und Fotosynthese. Das Schülerprojekt „Welche Farbstoffe in der Pflanze stecken“*. NiU-Ch 99 (3), S. 11–18 (2007)
- [21] M. Scherl, T. Müller, B. Kräutler, *Über das Verschwinden des Chlorophylls – Teil 1: Herbstverfärbung und blau leuchtende Bananen*. *Chemie & Schule* 28 (2), S. 9–12 (2013)
- [22] K. Meyer, *Farbenfrohe Antioxidantien. Carotinoide – Bedeutung und technische Synthesen*. ChiuZ 36 (3), S. 178–193 (2002)
- [23] H. Korhammer, P. Pfeifer, *Experimente mit Anthocyanen – eine Grundlage für Schülerübungen*. NiU-Ch 52 (4), S. 18–21 (1999)
- [24] H. Brandl, *Naturfarbstoffe II: Flavonoide*. In: W. Glöckner, W. Jansen, R. G. Weissenhorn, (Hrsg.), *Handbuch der experimentellen Chemie Sekundarbereich II Band 11/I Biochemie I, Naturstoffe*. Aulis Verlag, Ebsdorfergrund 2013
- [25] H. Schickor, *Blütenzauber – dem Geheimnis des Cyanidins auf der Spur: eine Unterrichts Anregung für den Chemiekurs der Oberstufe*. PdN-ChiS 47 (8), S. 39–43 (1998)
- [26] K. C. A. Garber, A. Y. Odendaal, E. E. Carlson, *Plant Pigment Identification: A Classroom and Outreach Activity*. *J. Chem. Educ.* 90 (6), S. 755–759 (2013)
- [27] K. R. Galloway, S. L. Bretz, M. Novak, *Paper Chromatography and UV-Vis Spectroscopy To Characterize Anthocyanins and Investigate Antioxidant Properties in the Organic Teaching Laboratory*. *J. Chem. Educ.* 92 (1), S. 183–188 (2015)
- [28] H. Wegmeyer, H.-J. Gärtner, *Tinten aus Naturstoffen*. NiU-Ch 84 (5), S. 12–13 (2004)
- [29] V. Obendrauf, *Nicht nur Noten sind in Nöten. Die fatale Chemie der Eisengallus-Tinten*. PdN-ChiS 54 (5), S. 22–24 (2005)
- [30] C.-H. Wunderlich, R. Weber, G. Bergerhoff, *Über Eisengallustinte*. ZAAC 598/599 (1), S. 371–376 (1991)
- [31] M. Pötter, K. Schwabe, W. Proske, *Komplexe Eisenphänomene II. Tinten und das Wissen über Komplexe*. PdN-ChiS 57 (8), S. 16–19 (2008)
- [32] R. Lemke, *Catechine und Catechingerbstoffe*. PdN-ChiS 47 (5), S. 39–41 (1998)
- [33] G. Reich, T. Taeger, *Vom Kollagen tierischer Häute zum Werkstoff Leder*. *Chemikalien für die Lederherstellung*. ChiuZ 43 (1), S. 28–36 (2009)
- [34] H. M. Koch, P. Pfeifer, *Naturfarbstoffe im Unterricht. Anthrachinonfarbstoffe der Krappwurzel*. NiU-Ch 52 (4), S. 25–29 (1999)
- [35] M. Hauck, S.-R. Jürgens, K. Willenbruch, S. Huneck, C. Leuschner, *Dissociation and metal-binding characteristics of yellow lichen substances suggest a relationship with site preferences of lichens*. *Annals of Botany* 103 (1), S. 13–22 (2009)
- [36] <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/naturstoffe.htm>, (Friedrich-Schiller-Universität, D. Weiß, Zugriffsdatum 09.09.2016)
- [37] K. A. Solhaug, Y. Gauslaa, *Photosynthesates stimulate the UV-B induced fungal anthraquinone synthesis in the foliose lichen Xanthoria parietina*. *Plant, Cell and Environment* 27 (2), S. 167–176 (2004)
- [38] D. Weiß, H. Brandl, *Experimente mit Pflanzeninhaltsstoffen. Fluoreszenzfarbstoffe in der Natur Teil 2 von 2*. CiuZ 47 (2), S. 122–131 (2013)
- [39] P. Heinzerling, *Nanochemie in der Schule. Eine historische experimentelle Annäherung*. PdN-ChiS 55 (1), S. 32–36 (2006)

Anschriften der Verfasser

Prof. Dr. Björn Risch
Alexander Engl
 Universität Koblenz-Landau
 Institut für naturwissenschaftliche Bildung,
 Arbeitsgruppe Chemiedidaktik
 Fortstr. 7, 76829 Landau
 risch@uni-landau.de
 engl@uni-landau.de

4 Methodisches Vorgehen

Das Projekt CHEMIE PUR ist sowohl konzeptionell mit starkem Bezug zur Unterrichtspraxis als auch empirisch grundlagenorientiert ausgerichtet. Ziel dieser unterrichtsnahen Vorgehensweise ist es die oft beklagte Lücke zwischen Theorie und Praxis zu schließen (Prediger, Link, Hinz, Hußmann, Thiele & Ralle, 2012). In einer quantitativen Evaluationsstudie wird der übergeordneten Forschungsfrage nachgegangen, wie sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülern der Sekundarstufe II auswirkt. Zur Klärung der Forschungsfrage wurde der forschungslogische Ablauf in Abbildung 10 gewählt. Zugunsten der Übersichtlichkeit werden weitere Zeitpunkte, beispielsweise wann die Intervention stattgefunden hat, in separaten Grafiken im jeweiligen Kapitel aufgeführt.

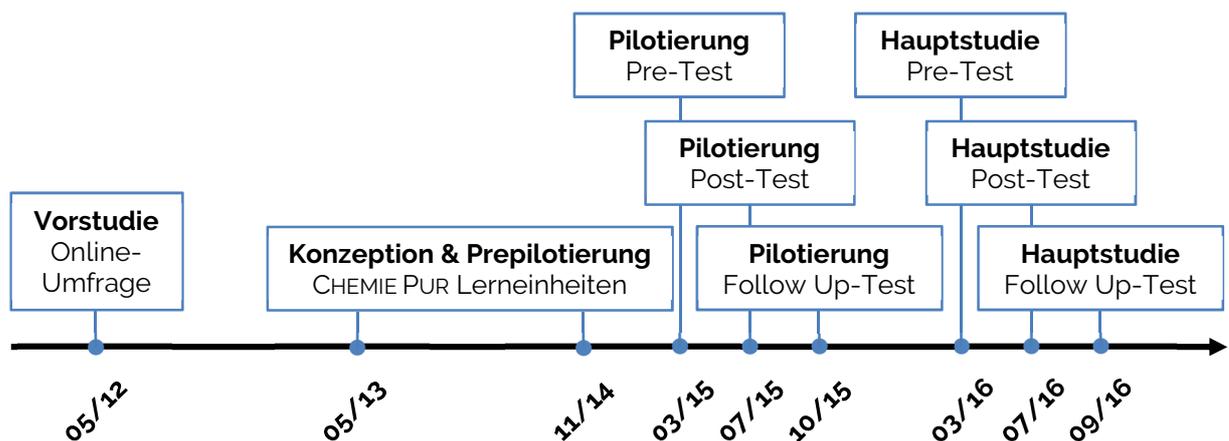


Abbildung 10: Forschungslogischer Ablauf als Zeitstrahl mit den Phasen der Vorarbeit, Konzeption und Prepiloting sowie Pilotierung und Hauptstudie.

Aufbauend auf eine Online-Umfrage aus einer Vorstudie⁶ wurden vier CHEMIE PUR Lerneinheiten konzipiert und prepiloting. Anschließend wurden die Testinstrumente und Lerneinheiten für die Vergleichsgruppe pilotiert, um in der abschließenden quasi-experimentellen Hauptstudie die leitende Forschungsfrage zu beantworten. Methodisch wurde dafür schwerpunktmäßig eine Fragebogenerhebung mit inferenzstatistischer Auswertung ausgewählt. Dieses quantitative Vorgehen ermöglicht eine zeiteffiziente, anonyme und

⁶ Die Datenerhebung der Vorstudie beruht auf Vorarbeiten der wissenschaftlichen Mitarbeiterin Stefanie Lorenz (geboren Kloppe).

standardisierte Herangehensweise, die in einem spezifischen Rahmen generalisierbare Aussagen zulässt (Döring & Bortz, 2016). Daher stellt die Methode eine angemessene Wahl für das Erkenntnisziel dar.

4.1 Vorstudie

Ziel der Vorstudie ist eine Bedarfsanalyse für und Bestandserhebung von Outdoor Chemieunterricht. Als Maßnahme wurde eine interaktive Online-Umfrage mit dem Fragebogenprogramm GrafStat (Ausgabe 2011 / Ver. 4.252) entwickelt. Die Umfrage wurde über das Pädagogische Landesinstitut Rheinland-Pfalz an alle registrierten Chemielehrpersonen per Email verschickt. Der Fragebogen ist in sieben Leitfragen gegliedert, denen insgesamt 56 Items zugeordnet sind. Die Leitfragen lauten:

- 1) Sie unterrichten an...
- 2) Welche Fächer unterrichten Sie?
- 3) Schulgelände und angrenzende Umgebung
- 4) Haben Sie schon Unterricht im Freien abgehalten?
- 5) Haben Sie im Fach Chemie den Unterricht schon im Freien durchgeführt?
- 6) Können Sie sich vorstellen, Chemie im Freien abzuhalten?
- 7) Was würde Sie unterstützen, um Chemieunterricht im Freien durchzuführen?

Drei der sieben Leitfragen sind exemplarisch in Abbildung 11 dargestellt.

5. Haben Sie im Fach Chemie den Unterricht schon einmal im Freien durchgeführt?

Ja, zu folgenden Themen:

Nein.

6. Können Sie sich vorstellen, Chemie im Freien abzuhalten?

Ja

...mit folgenden Altersstufen:

Orientierungsstufe

Sekundarstufe I

Sekundarstufe II

Nein

7. Was würde Sie dabei unterstützen, Chemieunterricht im Freien durchzuführen?

sehr wichtig unwichtig

Verankerung im Lehrplan

Abbildung 11: Auszug der interaktiven Online-Umfrage. Wird beispielsweise Frage 6 bejaht, erscheinen Auswahlmöglichkeiten zu den Altersstufen. Wird diese Frage abgelehnt, werden zwölf mögliche Gründe und ein freies Antwortfeld eingeblendet.

4.2 Prepiloting

Die vier CHEMIE PUR Lerneinheiten wurden mit unterschiedlichen Methoden der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung prepiloting mit dem Ziel diese evidenzbasiert zu optimieren. Im Fokus der Evaluationsmaßnahme stand die Überprüfung der Praxistauglichkeit anhand der Kriterien (1) Adressatengerechtigkeit der Experimente und (2) Verständlichkeit des Versuchsprotokolls für Schüler. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die eingesetzten Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung sowie die absolute Häufigkeit der daran beteiligten Probanden. Die Vielzahl der eingesetzten Methoden in der Prepiloting begründet sich darin, für die darauffolgende Pilotierungsstudie explorativ eine geeignete Methode zur Überprüfung der Praxistauglichkeit zu identifizieren. Die heterogenen Stichproben sollen gewährleisten, dass die CHEMIE PUR Lerneinheiten von Personen mit unterschiedlichen Denk- und Handlungsmustern sowie Fähigkeiten durchgeführt werden können. Allerdings haben alle Probanden gemeinsam, dass ihre Ausbildung in Bezug zur Wissenschaft Chemie steht (z. B. Chemie-Lehramts- oder Medizinstudierende, Medizintechnische Assistent- oder Chemielaborant-Auszubildende, Lernende aus Chemie Grund- oder Leistungskursen).

Tabelle 2: Methode und Stichprobe der Prepiloting. Abkürzungen der CHEMIE PUR Lerneinheiten: BS = Bodenanalyse mit Organischen Säuren, AO = Ätherischen Ölen auf der Spur, FS = Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur, FF = Farbenpracht im Freiland.

	BS	AO	FS	FF
Methoden der Datenerhebung	Videostudie	Lautes Denken Problemzentriertes Leitfadenterview	Fragebogen	Lautes Denken
Methoden der Datenauswertung	Eventbasierte Videoanalyse Textoberflächenanalyse	Qualitative Inhaltsanalyse Textoberflächenanalyse	Deskriptives Kategoriensystem Textoberflächenanalyse	Qualitative Inhaltsanalyse Textoberflächenanalyse
Stichprobe	n = 29 Schüler n = 1 Auszubildender	n = 1 Schüler n = 1 Student n = 4 Auszubildende	n = 21 Studierende	n = 1 Schüler n = 1 Student

4.2.1 Methoden der Datenerhebung

Videografie

Die Videografie ist ein qualitatives, deskriptives Verfahren, das die Praxis von Unterricht durch Unterrichtsmitschnitte dokumentiert, beispielsweise um auch bei komplexen Lehr- und Lernprozessen den unterrichtsmethodischen Ablauf zu analysieren (Brückmann & Duit, 2014). Diese Methode der Datenerhebung wurde bei der CHEMIE PUR Lerneinheit „Bodenanalyse mit Organischen Säuren“ mit 29 Lernenden der Oberstufe in Kleingruppen (Chemie Leistungskurs der Jahrgangsstufe elf und Chemie Grundkurs der Jahrgangsstufe zwölf) sowie mit einem Chemielaboranten eingesetzt. Dabei sind fünf vollständige Videos der Durchführung für die Auswertung entstanden. Die Videos wurden mit einer GoPro Action Cam in Ego-Perspektive aufgenommen. Die Videokamera wurde mit einem Stirnband auf dem Kopf eines Probanden befestigt und konnte durch den Weitwinkelausschnitt sowohl die eigenen Handlungen als auch in der Umgebung die anderen Probanden innerhalb der Kleingruppe erfassen. Zusätzlich zur Tonaufnahme der Videokamera wurde ein externes Bluetooth Mikrophon eingesetzt, das ein weiteres Mitglied der Kleingruppe bei sich trug.

Lautes Denken

Die Methode des lauten Denkens ermöglicht den qualitativen Zugang zu Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen anhand von verbalisierten Gedanken, die während einer Handlung ablaufen (Sandmann, 2014). In der pädagogisch-psychologischen und fachdidaktischen Lehr-Lernforschung können durch die handlungsnah Visualisierung der prozeduralen und dynamischen Aspekte von kognitiven Prozessen beispielsweise missverständliche Formulierungen, unerwünschte Verstehensprobleme oder Unklarheiten in der Instruktion identifiziert werden (ebd.). Diese Methode der Datenerhebung wurde für die CHEMIE PUR Lerneinheiten „Ätherischen Ölen auf der Spur“ mit drei Probanden (Schülerin der Oberstufe, Medizinstudentin, Chemielaborant Auszubildender) und „Farbenpracht im Freiland“ mit zwei Probanden (Schülerin der Oberstufe, Chemie Lehramtsstudent) durchgeführt. Die Umsetzung erfolgte in Einzelarbeit, wobei nach der Aufforderung zum lauten Denken zunächst eine Übungsaufgabe bearbeitet wurde (Konrad, 2010). Die kontinuierliche Verbalisierung während der Durchführung wurde per Video aufgezeichnet.

Leitfadeninterview

Das Leitfadeninterview ist eine Befragungsmethode der qualitativen Sozialforschung, um prä- und post-instruktionale Vorstellungen, Interessen und teilweise auch Emotionen zu erfassen (Niebert & Gropengießer, 2014). Zur Vergleichbarkeit der Interviews wird ein Leitfaden eingesetzt, der sich thematisch in einen offenen Einstiegsimpuls, eine vertiefende-, Validierungs- sowie eine Schluss-Intervention gliedert und so offen wie möglich aber so strukturiert wie nötig gestalten sein sollte (ebd.). Die Verwendung offener Fragestellungen ermöglicht dem Befragten den Gesprächsverlauf mitzugestalten, während der Interviewer durch gezieltes Nachfragen die Richtung steuert (Döring & Bortz, 2016). Die Variante des problemzentrierten Leitfadeninterviews befasst sich mit einer vorherrschenden Problemstellung, um gegenstandsbezogenen Erfahrungen, Wahrnehmungen, Vorstellungen und Reflexionen des Befragten auf ein (naturwissenschaftliches) Phänomen zu erheben (Witzel, 2000). Zu Beginn wird durch offene Sondierungsfragen eine erzählergenerierende Aufforderung impliziert und eine Vertrauensbeziehung aufgebaut, welche zu ehrlichen, reflektierten und genauen Ergebnissen führt, da sich die Befragten aus affektiv-emotionaler, wie auch kognitiver Sicht frei äußern (Mayring, 2016). Anschließend wird mit den zentralen Leitfragen stärker auf den Problem- und Gegenstandsbereich fokussiert. Dadurch können qualitative Befragungen ebenso komplexe Zusammenhänge mit einbeziehen und liefern auch bei kleinen Stichprobenzahlen fundierte Ergebnisse, die allerdings nur eingeschränkt repräsentativ sind (Döring & Bortz, 2016). Die Einzelinterviews von drei Auszubildenden als medizintechnische Assistentinnen wurden mit einem Diktiergerät aufgenommen, nachdem die Probanden in Einzelarbeit die CHEMIE PUR Lerneinheit „Ätherischen Ölen auf der Spur“ durchgeführt haben.

Fragebogen

Die Fragebogenmethode ist ein Standardverfahren der empirischen didaktischen Forschung, um beispielsweise kognitive Faktoren, wie das Vorwissen oder affektive Faktoren, wie Persönlichkeitsmerkmale objektiv, reliabel und valide zu erheben (Tiemann & Körbs, 2014). Das geforderte Antwortformat im Fragebogen kann sich hinsichtlich des Grades der Öffnung unterscheiden. Offene Aufgaben zeichnen sich bei der Beantwortung durch ein aktives Hervorbringen und Konstruieren von Bedeutungszusammenhängen aus, deren Auswertung jedoch aufgrund der Vielgestaltigkeit der Antworten erschwert ist (Hamman & Jördens, 2014). Geschlossene Aufgaben im Single- oder Multiple Choice Format hingegen ermöglichen eine hohe Auswertungsobjektivität.

Häufig werden Items mit vorgegebenen Aussagen formuliert, denen durch ein Rating auf einer Likert-Skala mehr oder weniger stark zugestimmt werden können (Tiemann & Körbs, 2014). Im eingesetzten Fragebogen wurden zur Darstellung der persönlichen Meinung offene Antwortformate gewählt – um einschränkende Vorgaben oder sozial erwünschtes Bewertungsverhalten zu vermeiden – und zur Kriterien geleiteten Einschätzung geschlossene Antwortformate genutzt. Der Fragebogen wurde begleitend zur Durchführung der CHEMIE PUR Lerneinheit „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ in einer Lehrveranstaltung mit 21 Chemie Lehramtsstudierenden eingesetzt.

4.2.2 Methoden der Datenauswertung

Videoanalyse

Die Auswertung der fünf Videos der CHEMIE PUR Lerneinheit „Bodenanalyse mit Organischen Säuren“ erfolgte Event-basiert beispielsweise, wenn Probleme bei der Durchführung der Versuche oder Verständnisschwierigkeiten im Skript auftraten. Auf eine zeitbasierte Auswertung wurde verzichtet, weil möglicherweise ein grundlegendes Problem der Lerneinheit übergangen werden könnte. Da es sich hierbei nicht um ein Oberflächenmerkmal handelt, sondern bereits eine Interpretation nötig ist, müssen die zeitlichen und inhaltlichen Grenzen eines Events in einem Codiermanual genau beschrieben sein (Seidel, Prenzel, Duit & Lehrke, 2004). Deshalb wurde zur Codierung der Videos ein Kategoriensystem eingesetzt, das auf direkt zugänglichen Sichtstrukturen beruht, um Aspekte des spezifischen, beobachtbaren Verhaltens als hoch inferentes Rating abzufragen (Brückmann & Duit, 2014). Das Kategoriensystem wurde nach einem iterativen Verfahren entwickelt, das bei der Auswertungsmethode der qualitativen Inhaltsanalyse genauer beschrieben wird.

Qualitative Inhaltsanalyse

Die Videodaten des lauten Denkens und die Audiodaten des problemzentrierten Leitfadeninterviews der CHEMIE PUR Lerneinheiten „Ätherischen Ölen auf der Spur“ und „Farbenpracht im Freiland“ wurden nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) ausgewertet. Die qualitative Inhaltsanalyse ist ein Klassiker der qualitativen Sozialforschung mit dem Ziel methodisch kontrolliert und intersubjektiv überprüfbar die Inhalte von Medien zu analysieren (Döring & Bortz, 2016). Im ersten Schritt wird das Datenmaterial aufbereitet, indem ein Teiltranskript erstellt und anschließend redigiert wird (Krüger & Riemeier, 2014). Für das Wortprotokoll wurden folgende Transkriptionsregeln genutzt:

- Dialekte werden ins Hochdeutsche übersetzt.
- Die Satzform wird in der grammatikalischen Form beibehalten.
- Pausen werden gekennzeichnet (-).
- Auslassungen werden gekennzeichnet [...].
- Laute, wie äh, ähm oder hm werden mittranskribiert.

Die tatsächliche Datenauswertung erfolgt im zweiten Schritt als strukturierendes, iteratives Verfahren, das sich in der Regel in drei Stufen gliedert (Mayring, 2015): Zunächst werden deduktiv Kategorien entwickelt, denen die redigierten Daten in der zweiten Phase zugeordnet werden. Die dritte Stufe dient zur Überarbeitung der gewonnenen Kategorien als induktive Rückkopplung.

Hierbei werden neue, vorher nicht bedachte Kategorien herausgearbeitet oder nicht ausgeprägte Kategorien zu übergreifenden Kategorien zusammengefasst. Zur Optimierung der Reliabilität wird abschließend jede Kategorie mit aussagekräftigen Ankerbeispielen belegt (Hammann & Jördens, 2014).

Die Antworten des offenen Teils des Fragebogens zur CHEMIE PUR Lerneinheit „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ wurden anhand eines Kategoriensystems nach der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Die Antworten auf die geschlossenen Items des Fragebogens wurden deskriptiv als relative und absolute Häufigkeiten angegeben sowie Median und Modus berechnet (Tiemann & Körbs, 2014).

Textoberflächenanalyse

Die schriftlichen Durchführungen und Deutungen aller Skripte wurden einer Textoberflächenanalyse unterzogen. Die Textoberflächenanalyse ist ein sprachstatistisches Verfahren aus der Linguistik und Kognitionspsychologie, mit dem Ziel anhand von Oberflächenmerkmalen eines Textes, wie mittlere Satzlänge, Anzahl der Fremd- oder mehrsilbigen Wörter, die Verständlichkeit des Textes zu eruieren (Kulgemeyer & Staraschek, 2014). Zur Einordnung der Verständlichkeit für eine bestimmte Zielgruppe kann der Lesbarkeitsindex LIX oder die vierte Wiener Sachtextformel herangezogen werden. Der Lesbarkeitsindex errechnet sich aus der mittleren Satzlänge und der Anteil langer Wörter mit mehr als sechs Buchstaben (Lenhard & Lenhard, 2017). Ein LIX-Wert unter 40 ist bei Kinder- und Jugendliteratur und über 60 bei Fachliteratur anzunehmen (ebd.). Die vierter Wiener Sachtextformel schätzt ebenfalls, anhand der mittleren Satzlänge und der Anteil an drei- und mehrsilbigen Wörtern, die Verständlichkeit für die Jahrgangsstufe K ab (Bamberger & Vanacek, 1984). Zusätzlich wurde der Anteil an Fachwörtern fw und der Anteil der nur einmal verwendeten Fachwörter fw_1 bestimmt. Hier werden Orientierungswerte für einfach verständliche naturwissenschaftsdidaktische Texte bei fw kleiner als sieben und fw_1 kleiner als drei Prozent empfohlen (Kulgemeyer & Staraschek, 2014).

Folgende Kriterien wurden für die Textoberflächenanalyse herangezogen:

- Texte umfassen mindestens 700 Wörter.
- Zahlen werden als Wörter gezählt.
- Doppelpunkte und Semikola werden wie Punkte behandelt.
- Fachwörter werden im jeweiligen Kontext als solche vorab definiert.
- Deckblätter, Überschriften, Abbildungen mit Beschriftungen sowie Angaben zu Materialien, Chemikalien, Sicherheitshinweisen und Entsorgung werden vom zu analysierenden Text ausgeschlossen.

Um Unterschiede zwischen den verschiedenen Skripten in Bezug auf die LIX-Werte, den Verständlichkeitsindikator für die Jahrgangsstufen K und die Fachwörter zu identifizieren, wurde der t-Test eingesetzt. Unter den Voraussetzungen der Normalverteilung und Varianzhomogenität – die in Kapitel 4.3.3 ausführlicher beschrieben sind – wird die Nullhypothese (H_0) mit einem Signifikanzniveau von fünf Prozent geprüft, dass sich die metrisch skalierten, abhängigen Variablen (AV) in ihrem Mittelwert zwischen der zweistufigen, kategorialen, unabhängigen Variable (UV) nicht unterscheiden (Luhmann, 2015). Die Effektgröße wurde als Cohen's d mit einem kleinen Effekt von $d > 0.2$, mittleren Effekt von $d > 0.5$ und großen Effekt von $d > 0.8$ eingeordnet (Cohen, 1988; Döring & Bortz, 2016).

4.3 Pilotierung

Die Pilotierung umfasst drei unabhängige Teilstudien in Vorbereitung auf die daran anknüpfende Hauptstudie. Dabei stehen die übergeordneten Ziele der Qualitätsprüfung und Identifikation von notwendigen Adaptionen im Fokus.

- (1) Die Evaluationsstudie dient der Überarbeitung der Skala „Aktuelles Interesse“, der Konkretisierung relevanter abhängiger Variablen sowie der Dimensionierung der Stichprobe für die Hauptstudie (*Teilstudie I*).
- (2) Die Testkonstruktionsstudie zielt darauf ab die Skalen zur „Einstellung zu Chemie und Natur“ sowie zum „Fachwissen“ zu entwickeln (*Teilstudie II*).
- (3) Die Pilotierung der Lerneinheiten für die Kontrollgruppe der Hauptstudie ist vergleichbar mit der Prepilotierung der CHEMIE PUR Lerneinheiten in Kapitel 4.2 und überprüft diese hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit (*Teilstudie III*).

Eine Übersicht über die drei Studien mit den eingesetzten Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung sowie die absolute Häufigkeit der daran beteiligten Probanden stellt Tabelle 3 dar.

Tabelle 3: Teilstudien mit Methoden und Stichproben der Pilotierung.

	Teilstudie I	Teilstudie II	Teilstudie III
Methode der Datenerhebung	Fragebogen	Fragebogen	Beobachtung Lautes Denken
Methode der Datenauswertung	Itemanalyse Konfirmatorische Faktorenanalyse Messwiederholte Varianzanalyse Korrelationsanalyse Poweranalyse	Itemanalyse Explorative Faktorenanalyse	Qualitative Inhaltsanalyse Textoberflächenanalyse
Stichprobe	n = 30 Schüler	n = 39 Schüler	n = 4 Schüler n = 1 Auszubildender

4.3.1 Testkonstruktion

Alle Fragebögen sind in Testheften mit einem einheitlichen strukturellen Aufbau zusammengefasst (vgl. Anhang V a). Ein Deckblatt mit Kontaktmöglichkeiten wird gefolgt von einem Anschreiben mit der Abfrage eines anonymen Erkennungscode, dem Arbeitsauftrag und einem versehentlich falsch angekreuzten Beispielitem (Jonkisz, Moosbrugger & Brandt, 2012). Das Anschreiben mit dem Hinweis zur Anonymität soll ungewollte Angst- und Prüfungssituation oder sozial erwünschtes Antwortverhalten verhindern und den Datenschutz sicherstellen (Busker, 2014). Zur Erfassung der Konstrukte „Aktuelles Interesse“, „Einstellung zu Chemie und Natur“ sowie „Fachwissen“ wurden bestehende Skalen abgewandelt oder neu entwickelt.

Aktuelles Interesse

Die Testentwicklung zum Konstrukt „Aktuelles Interesse“ orientierte sich an den Items aus Tabelle 4. Dabei wurden Wörter die „Schülerlabor“, „Alltag“, „Aufgabe“, „Kleingruppenphase“ und „Experiment“ durch „Natur“ oder „Lerneinheit“ ersetzt.

Tabelle 4: Skalendokumentation der Testentwicklung zum Konstrukt „Aktuelles Interesse“ mit Itemnummer, -formulierung und zugehöriger Quelle. Die Abkürzungen der Itemnummern stehen für die Quelle und die entsprechende Subskala: AI = Aktuelles Interesse, M = Emotionale Komponente, F = Fechner (vgl. Kapitel 2.3).

Nummer	Itemformulierung	Quelle
1) AI_W_P29	Dass wir (heute/im Schülerlabor) Experimente durchgeführt haben, erscheint mir sinnvoll.	Engeln, 2004
2) AI_U_R7	Bei der Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.	Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001
3) AI_W_F14	Ich finde es wichtig, solche Themen wie heute kennen zu lernen.	Laukenmann, Bleicher, Fuß, Gläser-Zikuda, Mayring & von Rhöneck, 2000
4) AI_U_F11	Ich freue mich auf die nächste Kleingruppenphase.	Fechner, 2009
5) AI_W_P28	Das eigenständige Experimentieren war mir wichtig.	Pawek, 2009
6) AI_W_F15	Was ich über das Thema erfahren habe bringt mir was	Laukenmann et al., 2000
7) AI_M_F13	Das Thema war interessant, weil es mit meinem Leben zu tun hat.	Fechner, 2009

8) AI_M_P23	Die Arbeit mit Geräten, die auch in der Forschung verwendet werden, brachte mir keinen Spaß.	Pawek, 2009
9) AI_E_P35	Ich würde gerne mehr über die Experimente lernen, die wir im Schülerlabor durchgeführt haben.	Engeln, 2004
10) AI_M_F20	Ich kann mir vorstellen, das Experiment von heute auch zu Hause noch einmal durchzuführen.	Fechner, 2009
11) AI_M_P26	Beim Experimentieren ist die Zeit sehr langsam vergangen.	Engeln, 2004
12) AI_E_P34	Der Bezug des Themas zu anderen naturwissenschaftlichen Gebieten war mir wichtig.	Pawek, 2009
13) AI_E_P33	Beim Experimentieren bin ich auf neue Ideen gekommen.	Pawek, 2009
14) AI_W_F19	Das Thema heute fand ich gut, weil ich es auch außerhalb der Schule benötige.	Fechner, 2009
15) AI_U_F12	Ich finde es schade, dass das Chemieprojekt jetzt vorbei ist.	Fechner, 2009
16) AI_E_P37	Beim Experimentieren habe ich interessante Anregungen erhalten.	Pawek, 2009
17) AI_M_P27	Die Durchführung der Experimente war langweilig.	Engeln, 2004
18) AI_W_F17	Das Thema heute war für mich wichtig, da ich einen Einblick bekommen habe, wo Chemie in meinem Alltag vorkommt.	Fechner, 2009
19) AI_E_P36	Solche Experimente, wie wir sie im Schülerlabor durchgeführt haben, würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	Engeln, 2004

Einstellung

Die Testkonstruktion der Skala „Einstellung zu Chemie und Natur“ setzt sich aus zwei Bereichen zusammen, die beide darauf abzielen die Wahrnehmung von Chemie und Natur als Einheit messbar zu machen. Das Konstrukt wird direkt und zusammenhängend erfasst. Dadurch kann darauf verzichtet werden, beide Facetten zunächst getrennt voneinander zu erheben, um diese im Nachgang miteinander verknüpfen zu müssen.

Zum einen wurde das Item von Schultz (2002) mit einem Austausch des Worts „Ich“ durch „Chemie“ abgewandelt. Dadurch wird die ursprüngliche Ich-Perspektive von Aron, Aron und Smollan (1992) eingeschränkt, sodass der Fokus verstärkt auf dem Verhältnis von Chemie und Natur liegt.

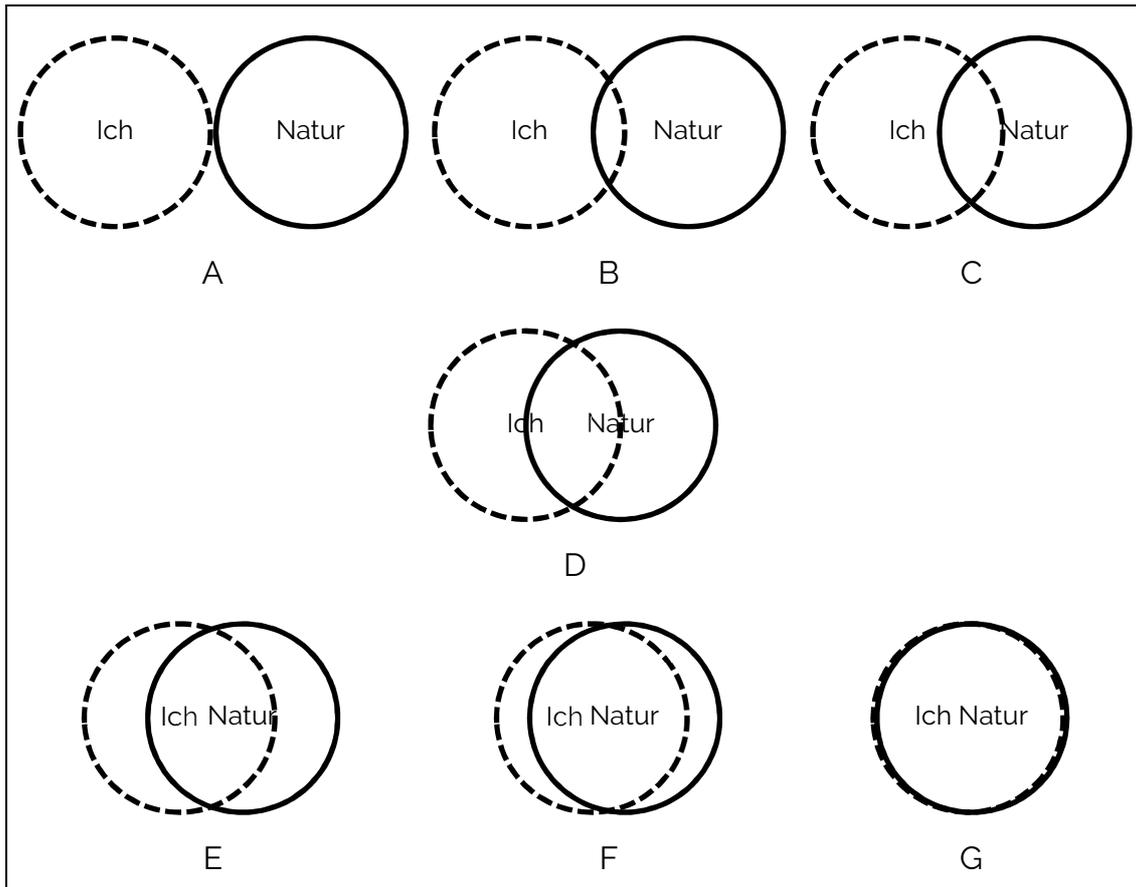


Abbildung 12: „Inclusion of Nature in Self“ Skala mit sieben unterschiedlich stark überlappenden Kreisen (Schultz, 2002).

Zum anderen wurde eine Fragebogenskala nach dem erfahrungsgeleiteten-intuitiven Ansatz mit Laien als Experten generiert (Bühner, 2011). Das Konstrukt wurde bereits in Kapitel 2.4. operationalisiert. Dazu wurden, flankiert von Literatur (z. B. Scharf & Werth, 1989; Müller-Harbach, Wenck & Bader, 1990b; Gröger et al. 2014), 15 geschlossene, subjektive Indikatoren für Schüler im Fach Chemie der Oberstufe konstruiert (vgl. Tabelle 5). Bei der Formulierung wurde darauf geachtet Fachwörter, mehrdeutige Begriffe, Verallgemeinerungen und doppelte Verneinungen zu vermeiden (Bühner, 2011; Jonkisz et al., 2012). Um die Reliabilität nicht zu überschätzen und die Tendenz zur Mitte zu verhindern wurde eine Ratingskala gewählt, die zwischen vier Stufen bipolar differenziert (Bühner, 2011). Zur Verbesserung der Messgenauigkeit und Validität wurde jede Antwortmöglichkeit mit einer Bewertung („stimmt gar nicht“ bis „stimmt völlig“) beschriftet (ebd.). Ausgewählte Items wurden negativ formuliert, damit gegebenenfalls Ankreuzmuster aufgedeckt werden können (Busker, 2014). Das Layout wurde einfach und übersichtlich gestaltet, beispielsweise wurden die Indikatoren zur erleichterten Bearbeitung rechtsbündig formatiert und jede zweite Zeile schraffiert (Jonkisz et al., 2012).

Tabelle 5: Skalendokumentation der Testentwicklung zum Konstrukt „Einstellung zu Chemie und Natur“ mit Itemnummer und -formulierung. Das Kürzel „.r“ der Itemnummern steht für negativ formulierte Aussagen.

Bitte gib an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.	
1) CUN_A1	In der Natur fühle ich mich umgeben von Chemie.
2) CUN_A2	Für mich ist Chemie eine Naturwissenschaft, die im Einklang mit der Natur steht.
3) CUN_A3.r	Wenn ich krank bin, nehme ich pflanzliche Medikamente ohne Chemie.
4) CUN_A4.r	Chemie und Natur hat für mich nichts miteinander zu tun.
5) CUN_A5	Ich ärgere mich über die gegensätzliche Darstellung der Werbung von Chemie und Natur.
6) CUN_A6	Mit Naturphänomenen verbinde ich chemische Sachverhalte.
7) CUN_A7.r	Beim Einkauf von Lebensmitteln greife ich zu Bio-Artikeln, weil da weniger Chemie drin ist.
8) CUN_A8	Pflanzen und Tiere in der Natur sind auf Chemie angewiesen.
9) CUN_A9.r	Die Natur ist frei von Chemie.
10) CUN_A10	Umweltprozesse in der Natur erkläre ich mit Chemie.
11) CUN_A11	Chemie und Natur sind für mich dasselbe.
12) CUN_A12.r	Ich nutze lieber Naturkosmetikprodukte, weil hier keine Chemie verwendet wird.
13) CUN_A13	Wenn ich mich in meiner natürlichen Umgebung umschaue, sehe ich nichts außer Chemie.
14) CUN_A14	Ohne Chemie würde die Natur nicht existieren.
15) CUN_A15	Mir fällt auf, dass in der breiten Bevölkerung Chemie und Natur als Gegensatz wahrgenommen wird.

Fachwissen

Der Test zum „Fachwissen“ wurde anhand desselben Ansatzes und denselben Kriterien zur Formulierung und zum Layout, wie bei der Skala zur „Einstellung zu Chemie und Natur“ entwickelt. Die Operationalisierung des Konstrukts basiert auf den Basiskonzepten „Donator-Akzeptor“ und „Struktur-Eigenschaft“, aber auch „Stoff-Teilchen“ im Fach Chemie der Sekundarstufe II (Kultusministerkonferenz 2004; Riese & Reinhold, 2014). Orientiert an den Inhalten der Intervention sowie an Literatur (Busker, 2010; Freyer, 2013) wurden 40 Single Choice Items (Lienert & Raatz, 1998) mit einer korrekten Antwortmöglichkeit und drei attraktiven Distraktoren ausgearbeitet (Riese & Reinhold, 2014). Dabei wurde darauf geachtet, dass in etwa die gleiche Anzahl an Items für die unterschiedlichen Basiskonzepte formuliert werden (Schmiemann & Lücken, 2014). Um die Ratewahrscheinlichkeit zu minimieren, wurde zusätzlich abgefragt, wie sicher die Probanden bei der Beantwortung der Frage waren (Theyßen, 2014). Vermeintlich leichte Items (vgl. Tabelle 6) wurden am Anfang und am Ende des Tests angeordnet, damit keine Reihenfolgeeffekte auftreten (Bühner, 2011). Außerdem konnte so vermieden werden, dass der lernzielbezogene Test für die Probanden als frustrierend empfunden wird (Theyßen, 2014).

Tabelle 6: Vermeintlich leichtes Item 35 am Ende des Tests zum Basiskonzept „Stoff-Teilchen“. Antwortalternative zwei ist korrekt.

35) Bei einer Destillation...		
<input type="radio"/>	...sublimieren und resublimieren Stoffe.	
<input type="radio"/>	...verdampfen und kondensieren Stoffe.	
<input type="radio"/>	...sublimieren und kondensieren Stoffe.	
<input type="radio"/>	...schmelzen und verdampfen Stoffe.	
Bei meiner Antwort bin ich mir...	...unsicher. <input type="radio"/>	...sicher. <input type="radio"/>

4.3.2 Methoden der Datenerhebung

Pilotierungsteilstudie I

Die Evaluationsstudie (*Teilstudie I*) basiert auf Datenerhebungen zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt – eine Woche vor und nach der Intervention und drei Monate nach der Intervention – sowie auf begleitenden Datenerhebungen jeweils während und direkt im Anschluss an die Intervention. Als Intervention wurden im Zeitraum von Mitte Mai 2015 bis Mitte Juli 2015 innerhalb von fünf Doppelstunden die vier CHEMIE PUR Lerneinheiten durchgeführt. Durch diese Intensität der Intervention wird zum einen ein auftretender Neuigkeitseffekt vermieden (Theyßen, 2014) und zum anderen ermöglicht, dass sich auch stabile Konstrukte im Zeitraum von fünf Doppelstunden verändern. Eine noch längere Dauer wurde von den beteiligten Lehrpersonen aus unterrichtsorganisatorischen Gründen abgelehnt (z. B. mangelnde Zeit für die Abitursvorbereitung). Die zeitliche Abfolge auf Basis der inhaltlichen Themenreihenfolge im Lehrplan war wie folgt vorgeschlagen: eine Doppelstunde zu „Ätherischen Ölen auf der Spur“, zwei Doppelstunden zu „Bodenanalyse mit Organischen Säuren“, eine Doppelstunde zu „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ und eine Doppelstunde zu „Farbenpracht im Freiland“. An dieser Teilstudie I nahmen insgesamt 30 Probanden zweier städtischer, allgemeinbildender Gymnasien aus einem Chemie Leistungskurs der Jahrgangsstufe elf und einem Chemie Grundkurs der Jahrgangsstufe zwölf teil, wodurch ein breites Fähigkeitspektrum mit möglichst hoher Varianz abgedeckt wurde (Riese & Reinhold, 2014). Das Forschungsdesign ist in Abbildung 13 veranschaulicht.

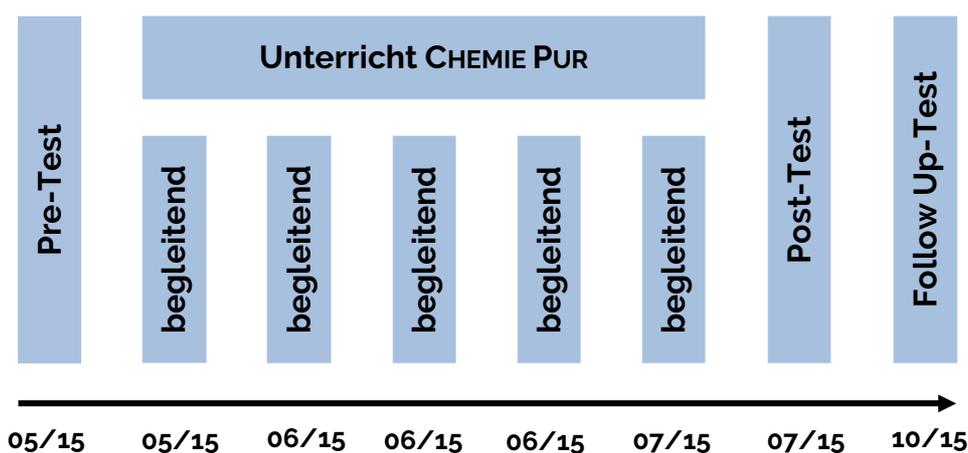


Abbildung 13: Zeitlicher Ablauf des Forschungsdesigns der Pilotierung (*Teilstudie I*) der Pilotierung mit Datenerhebungen zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt sowie fünf begleitenden Datenerhebungen nach jeder Intervention.

Als Methode der Datenerhebung wurden Fragebögen mit geschlossenem Antwortformat gewählt, die im Pre-Test 239 Items als Likert-Rating-, Single- und Multiple Choice Skalen umfassen. Die Auswahl der eingesetzten Skalen begründet sich durch die Passung zum Inhalt und der Zielgruppe sowie die umfassende Erprobung mit akzeptabler Testgüte in anderen Studien. Die 45 Minuten Testzeit wurde in drei Blöcken mit zwei kurzen Pausen gegliedert, um einen Testlängeneffekt zu vermeiden (Jonkisz et al., 2012). Als abhängige Variablen wurden das chemiebezogene Sach- (Brandt, 2005; Busker, 2010) und Fachinteresse (Hoffmann et al. 1998; Pawek, 2009; Weßnigk, 2013), die Einstellung zur Wissenschaft Chemie und Natur (Kaufmann, 2000; Weßnigk, 2013; Krischer, 2015) sowie die Naturverbundenheit (Schultz, 2002; Roczen, 2011) und das allgemeine Umweltverhalten (Oerke, 2007) erfasst. Als Kovariablen dienten das chemiebezogene Fähigkeitsselbstkonzept (Köller et al., 2000; Pawek, 2009), die Einstellung zu kooperativem Arbeiten (Fechner, 2009), die soziale Erwünschtheit (Stöber, 2001), das Umweltwissen (Roczen, 2011) und demografische Daten. Der Post- und Follow Up-Test war vergleichbar aufgebaut (175 Items, Likert-Ratingskalen), wobei die soziale Erwünschtheit und das Umweltwissen nicht abgefragt wurde. Dadurch hat sich die Testzeit auf 30 Minuten reduziert, die in zwei Blöcke mit Pause gegliedert wurde. Die Fragebögen der begleitenden Datenerhebung setzten sich aus Likert-Skalen mit 24 Items zusammen, für die fünf Minuten Testzeit zur Verfügung stand. Als Kovariable wurde das aktuelle Interesse (Rheinberg et al., 2001; Fechner, 2009; Pawek, 2009), die kognitive Belastung (Paas, 1992) und der Erfolg des kooperativen Arbeitens (Fechner, 2009) erhoben. Eine Übersicht aller Konstrukte zeigt Abbildung 14.

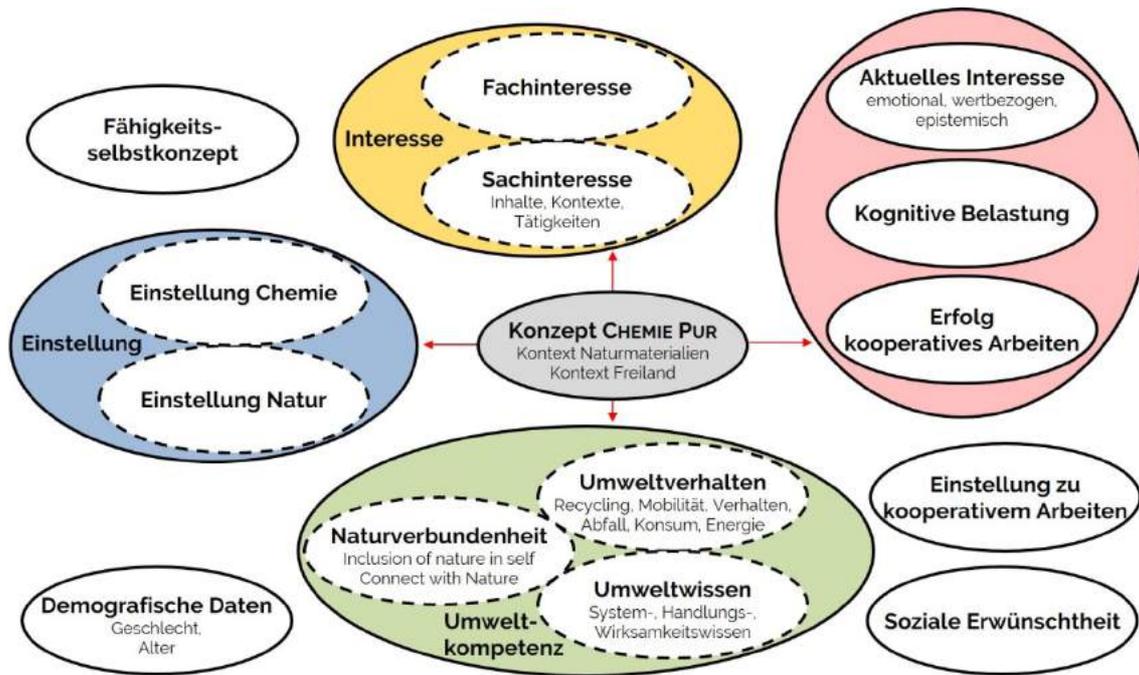


Abbildung 14: Übersicht der erhobenen Variablen der Pilotierung mit den zugehörigen Subskalen. In Gelb, Blau und Grün sind die Konstrukte Interesse, Einstellung und Umweltkompetenz markiert. Die vier nicht zugeordneten Konstrukte dienen als Kovariablen. In Rot sind die begleitenden Kovariablen zusammengefasst.

Pilotierungsteilstudie II

Für die Testkonstruktionsstudie (*Teilstudie II*) wurde eine Datenerhebung mit Fragebögen im geschlossenen Antwortformat genutzt, die 96 Items als Likert-Rating- und Single Choice Skalen beinhalten. Als Testzeit standen 30 Minuten zur Verfügung, die durch zwei Blöcke mit einer Pause strukturiert war. Das Konstrukt zur Einstellung zu Chemie und Natur wurde nach der adaptierten „Inclusion of Nature in Self“ Skala (Schultz, 2002) und auf Grundlage einer selbst konstruierten Skala erfasst. Das Fachwissen wurde ebenfalls mit einer selbst konstruierten Skala erhoben. An dieser Teilstudie II nahmen insgesamt 39 Probanden – unabhängig von der Stichprobe aus Teilstudie I – zweier städtischer, allgemeinbildender Gymnasien aus einem Chemie Leistungs- und Grundkurs der Jahrgangsstufe elf teil.

Pilotierungsteilstudie III

Die Lerneinheiten für die Kontrollgruppe wurden vergleichbar zur Prepilotierung der CHEMIE PUR Lerneinheiten aus Kapitel 4.2 pilotiert (Teilstudie III). Die Konzeption der Einheiten orientierte sich an den dargestellten Kriterien in Kapitel 3. Ein wichtiger Unterschied lag im eingebetteten Kontext, der alltagsorientiert, aber nicht naturnah gestaltet war. Bei den Einheiten der Kontrollgruppe wurden dieselben Basiskonzepte bedient, teilweise sogar identische Experimente durchgeführt, wie bei den CHEMIE PUR Lerneinheiten. Die Inhalte orientieren sich schwerpunktmäßig am Donator-Akzeptor-Prinzip der vier Reaktionstypen der Fällungs-, Redox-, Säure-Base- und Komplexbildungsreaktion oder thematisieren Struktur-Eigenschaft-Beziehungen beispielsweise bei den Themen Löslichkeit, Destillation und Flüchtigkeit sowie Fluoreszenz. Ein vergleichender Überblick der Lerneinheiten ist in Tabelle 7 dargestellt.

Inhaltlich am ähnlichsten sind die zwei Sonnenschutz-Einheiten, die mit den gleichen Basisexperimenten arbeiten (vgl. Tabelle 7 SS Punkt 1 und 2 mit FS Punkt 1 und 2) und sich lediglich durch die Nutzung von Sonnenlicht oder einer UV-Taschenlampe unterscheiden. Auch die Einheiten zum Thema Blutbeziehungswise Bodenanalyse oder Farbstoffe sind nahezu identisch (vgl. Tabelle 7 BS Punkt 1 bis 6 mit BA Punkt 1 bis 4 oder KF Punkt 1 bis 3 mit FF Punkt 1 bis 3).

Die größten Abweichungen sind im Vergleich der Destillation von Rotwein beziehungsweise von Pflanzenmaterial zu sehen. Während die Einheit der Kontrollgruppe verstärkt das Donator-Akzeptor Basiskonzept thematisiert, werden in der gegenübergestellten CHEMIE PUR Lerneinheit Struktur-Eigenschaft-Beziehungen fokussiert. Jedoch können zwischen anderen Themengebieten Quervernetzungen hergestellt werden (vgl. Tabelle 7 RW Punkt 4 und 3 mit FF Punkt 4 und 5), sodass insgesamt betrachtet die Inhalte vergleichbar bleiben. Lediglich die Vertiefung der Struktur-Eigenschaft-Beziehung durch die Flüchtigkeit (vgl. Tabelle 7 AO Punkt 4) wird in den Einheiten der Kontrollgruppe nicht kompensiert. Allerdings wird dieses Basiskonzept zusätzlich bei der Blutanalyse angesprochen (vgl. Tabelle 7 BS Punkt 7 und 8). Außerdem wurden im Fragebogenteil zur Überprüfung des Fachwissens bei der Hauptstudie keine Items zu diesem Inhalt formuliert.

Tabelle 7: CHEMIE PUR Lerneinheiten in Grün markiert: BA = Bodenanalyse mit Organischen Säuren, AO = Ätherischen Ölen auf der Spur, FS = Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur, FF = Farbenpracht im Freiland. Lerneinheiten für die Kontrollgruppe in Rot markiert: BS = Dem Blut auf der Spur, RW = Die Chemie des Rotweins – Blanc de Noir, SS = Sommer, Sonne, Sonnenbrand, KF = Kunterbunte Farbenpracht.

Einheit	Kontext	Inhalt
BA	Inhaltsstoffe im Boden und in Pflanzen	<ol style="list-style-type: none"> 1) Trennungsgang von Calcium-, Eisen- und Carbonat-Ionen mit einer Bodenprobe (Säure-Base-Reaktion) 2) Nachweis von Calcium-Ionen mit Sauerampferextrakt (Fällungsreaktion) 3) Nachweis von Eisen-Ionen mit Lorbeer- und Mädesüßextrakt (Komplexbildungsreaktion) 4) Antioxidation der Ascorbinsäure mit Hagebuttenextrakt (Redoxreaktion)
BS	Bestandteile des Bluts	<ol style="list-style-type: none"> 1) Einfluss von Salzsäure und Natronlauge auf das Hydrogencarbonat-Puffersystem (Säure-Base-Reaktion) 2) Nachweis von Chlorid-Ionen im Blutserum mit Silbernitrat-Lösung (Fällungsreaktion) 3) Veraschung von Blut und Nachweis von Eisen-Ionen mit Rhodanid-Lösung (Komplexbildungsreaktion) 4) Nachweis von Eiweißen im Blut mit Kupfersulfat-Lösung (Komplexbildungsreaktion) 5) Enzymatische Wirkung der Katalase im Blut mit Wasserstoffperoxid (Redoxreaktion) 6) Sauerstoffaustausch mit Hämoglobin (Redoxreaktion) 7) Blutspurenanalyse mit Tymolphthalein (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 8) Nachweis von Natrium-Ionen (Struktur-Eigenschaft-Beziehung)
AO	Ätherische Öle in Pflanzen	<ol style="list-style-type: none"> 1) Wasserdampfdestillation von ätherischen Ölen aus Pflanzenmaterial (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 2) Nachweis von ätherischen Ölen (Redoxreaktion) 3) Löslichkeit von ätherischen Ölen mit ethanolischer Chlorophyll-Lösung (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 4) Flüchtigkeit von gekauften und selbst gewonnenen ätherischen Ölen im Vergleich zu Sonnenblumenöl anhand der Fettfleckprobe (Struktur-Eigenschaft-Beziehung)
RW	Aus Rotwein wird Weißwein	<ol style="list-style-type: none"> 1) Destillation von Ethanol aus Rotwein (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 2) Brennbarkeit und Nachweis der Verbrennungsprodukte von Ethanol (Redoxreaktion, Fällungsreaktion und Komplexbildungsreaktion) 3) pH-Wert abhängige Färbung des Rotweinfarbstoffs (Säure-Base-Reaktion) 4) Nachweis von Tanninen im Rotwein (Komplexbildungsreaktion)

<p>FS</p> <p>Sonnenschutz bei Pflanzen</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Sonnenschutz im Modellexperiment als Cyanotypie durch Sonnenlicht mit einer Hauttypenschablone, Stoffstücken sowie Sonnen- und Handcreme (Redoxreaktion) 2) Sonnenschutz im Modellexperiment als Cyanotypie durch Sonnenlicht mit Rosskastanienextrakt (Redoxreaktion) 3) Fluoreszenz von Rosskastanienextrakt durch Sonnenlicht (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 4) pH-Wert abhängige Fluoreszenz von Rosskastanienextrakt (Säure-Base-Reaktion)
<p>SS</p> <p>Sonnenschutz in der Atmosphäre</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Sonnenschutz im Modellexperiment als Cyanotypie durch UV-Licht mit einer Hauttypenschablone, Stoffstücken sowie Sonnen- und Handcreme (Redoxreaktion) 2) Sonnenschutz im Modellexperiment als Cyanotypie durch UV-Licht mit Bodylotion und Titandioxid (Redoxreaktion) 3) Absorption von UV-Licht durch Ozon (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 4) Nachweis von Ozon (Redoxreaktion)
<p>FF</p> <p>Naturfarbstoffe</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Fluoreszenz von Chlorophyll und Alkaloiden (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 2) Tyndall-Effekt mit pflanzlichem Milchsaft (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 3) Löslichkeit von Chlorophyll und Carotinoiden (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 4) Nachweis von Tanninen in der Eichenborke (Komplexbildung) 5) pH-Wert abhängige Färbung von Blüten-, Frucht- und Flechtenfarbstoffen (Säure-Base-Reaktion)
<p>KF</p> <p>Synthetische Farbstoffe</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Fluoreszenz von Azo- und Triphenylmethanfarbstoffen (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 2) Tyndall-Effekt mit Pigmentfarbstoffen (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 3) Löslichkeit von Pigmentfarbstoffen (Struktur-Eigenschaft-Beziehung) 4) Beizen und Färben mit Anthrachinon- und Säurefarbstoffen (Komplexbildungsreaktion, Säure-Base-Reaktion) 5) pH-Wert abhängige Färbung von Indikatoren (Säure-Base-Reaktion) 6) Herstellung eines Azofarbstoffs (Redoxreaktion) 7) Verfärbung von Redoxfarbstoffen (Redoxreaktion)

Die Evaluation fokussierte ebenfalls auf die Überprüfung der Praxistauglichkeit anhand der Kriterien (1) Adressatengerechtigkeit der Experimente und (2) Verständlichkeit des Versuchsskripts für Schüler. Tabelle 3 veranschaulichte bereits die eingesetzten Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung sowie die absolute Häufigkeit der daran beteiligten Probanden.

Die Methode der Beobachtung in der sozialwissenschaftlichen Forschung ist durch eine zielgerichtete, systematische und regelgeleitete Erfassung und

Dokumentation von Merkmalen, Ereignissen oder Verhaltensweisen charakterisiert (Döring & Bortz, 2016). Dabei spielen sechs Klassifikationskriterien eine zentrale Rolle, die bei der Datenerhebung wie folgt herangezogen wurden: Die Beobachtung von Fremdpersonen erfolgte direkt und offen, teilstrukturiert anhand von leitenden Kriterien sowie passiv-teilnehmend im Feldgeschehen der Unterrichtsstunde (ebd.). Vier Lernende in einer Kleingruppe eines Chemie Grundkurses der Jahrgangsstufe elf wurden bei der Durchführung der Einheiten „Dem Blut auf der Spur“ sowie „Kunterbunte Farbenpracht“ über vier Doppelstunden beobachtet und im Anschluss daran die Erkenntnisse verschriftlicht.

Die Methode des lauten Denkens (vgl. Kapitel 4.2.1) wurde mit einem Chemielaborant Auszubildenden bei den Einheiten „Die Chemie des Rotweins – Blanc de Noir“ und „Sommer, Sonne, Sonnenbrand“ genutzt. Die kontinuierliche Verbalisierung während der Durchführung wurde per Diktiergerät aufgezeichnet.

4.3.3 Methoden der Datenauswertung

Die Datenauswertung der Fragebögen erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL Version 2016 und dem Statistikprogramm R Version 3.4.1 sowie RStudio Version 1.0.153 mit den alphabetisch sortierten Paketen „car“, „dplyr“, „ez“, „fpc“, „ggplot2“, „GPArotation“, „Hmisc“, „lavaan“, „lavaan.survey“, „likert“, „lme4“, „MBESS“, „nlme“, „pastecs“, „pgirmess“, „psych“, „pwr“, „QuantPsyc“, „RColorBrewer“, „Rcpp“, „readr“, „reshape“, „semPlot“, „vegan“ und „WRS2“.

Pilotierungsteilstudie I

Für die Auswertung der Evaluationsstudie (*Teilstudie I*) sind vier Schritte nötig, die im Folgenden beschrieben werden: (1) Datenmanagement, (2) Itemanalyse, (3) Personenbezogene Analyse und (4) Unterschieds- und Zusammenhangsprüfungen.

Datenmanagement

Zunächst wurden die Antworten aller Fragebögen in einem Datenblatt in EXCEL eingegeben. Die personenbezogene ID setzte sich zusammen aus den ersten zwei Buchstaben des Namens der Eltern sowie dem Tag des Geburtstags. Bei Zwillingen wurde die erstgeborene Person zusätzlich mit einer eins versehen (vgl. Tabelle 8). Die Variable „Testzeitpunkt“ gibt an, ob es sich beim vorliegenden Datensatz beispielsweise um den Pre-Test handelt. Die Variablen „Schule“, „Kurs“ und „Jahrgangsstufe“ fassen gruppenspezifische Merkmale zusammen. „Alter“ und „Geschlecht“ stellen demografischen Daten dar, wobei das männliche Geschlecht mit „m“ oder wie international üblich mit „1“ codiert wurde (Luhmann, 2015). Anschließend folgen die codierten Ausprägungen der Items: Die linke beziehungsweise oberste Antwortmöglichkeit wird als Zahlenwert eins gesetzt und entsprechend weitergeführt sowie nicht eindeutige oder fehlende Kreuze mit „NA“ übersetzt.

Tabelle 8: Auszug der codierten Fragebögen. Abkürzungen: TZP = Testzeitpunkt, O = Abkürzung einer Schule, GK = Grundkurs, FIC_W3 = Fachinteresse Chemie, Quelle Weßnigg, drittes Item.

ID	TZP	Schule	Kurs	Jahrgangsstufe	Alter	Geschlecht	FIC_W3	FIC_W4
1CHCL22	1	O	GK	12	18	m	2	3
2CHCL22	1	O	GK	12	18	m	3	2
CHPE16	1	O	GK	12	18	m	3	2
FREC11	1	O	GK	12	17	w	3	1

Diese Datenmatrix wurde als .csv Datei in R importiert. Zu Beginn wurden alle negativ formulierten Items umgepolt und zusätzlich mit dem Kürzel „.r“ benannt. Außerdem wurde der unterschiedliche Wertebereich der Skalen zur Naturverbundenheit und des allgemeinen Umweltverhaltens vereinheitlicht, da die vorgesehene Auswertung mit Verfahren der probabilistischen Testtheorie (Roczen, 2011) auf Grundlage der geringeren Stichprobe nicht möglich ist. Die fünfstufigen Items wurden in den Wertebereich der dichotomen Items übersetzt, sodass die Varianz erhalten bleibt (Zahlenwerte „1“, „1.25“, „1.5“, „1.75“ und „2“). Die zwei zunächst unabhängigen Konstrukte der Einstellung zur Wissenschaft Chemie und zur Natur wurden mit einer Differenz ins Verhältnis gesetzt. Dies ist möglich, weil beide Skalen aus identischen Adjektivpaaren des semantischen Differenzials bestehen und sich lediglich der Bezugstext unterscheidet (vgl. Anhang V a).

Itemanalyse

Im zweiten Schritt wurde eine Itemanalyse durchgeführt, die Aussagen über deskriptive Verteilungen, Schwierigkeit, Trennschärfe und Reliabilität trifft. Als deskriptive Maße wurden Mittelwert und Standardabweichung, Minimum und Maximum, Schiefe und Exzess sowie Häufigkeits- und Boxplot Diagramme herangezogen. Daraus können Indizien für eine Normalverteilung oder Boden- und Deckeneffekte abgeleitet werden. Ist der Betrag der Schiefe beispielsweise größer als zwei oder der Betrag des Exzesses größer als sieben, liegt eine gravierende Abweichung der Normalverteilung vor (Eid, Gollwitzer & Schmitt, 2017). Ebenfalls sollte das Dispersionsmaß über den gesamten Wertebereich eines Items verteilt sein, da sonst Boden- oder Deckeneffekte eintreten können (Bühner, 2011).

Die Schwierigkeit eines Items ist über die prozentuale Häufigkeit der korrekten Lösung aller Probanden in Bezug auf die maximal zu erreichenden Punkte definiert (Kelava & Moosbrugger, 2012). Bei Ratingskalen wird die Definition je nach Inhalt um die leichtere oder schwierigere Zustimmung oder Ablehnung eines Items erweitert (Lienert & Raatz, 1998). Zu schwierige Items mit einem Index von kleiner als 20 zeigen Bodeneffekte und zu leichte Items mit einem Index von größer als 80 zeigen Deckeneffekt an (Tepner & Dollny, 2014). Bei der Auswertung wurde eine Inangriffnahmekorrektur durchgeführt, sodass berücksichtigt wurde, ob ein Item bearbeitet wurde oder nicht (Bühner, 2011). Die Trennschärfe eines Items gibt an, wie hoch die Korrelation zwischen dem vom Probanden angegebenen Itemwert mit den Testwerten des Probanden einer Skala ausfällt (Kelava & Moosbrugger, 2012). Da das zu untersuchende Item Teil der Gesamtskala ist und durch die Überlappung die Trennschärfe

überschätzt werden würde, muss die Korrelation entsprechend korrigiert werden (Luhmann, 2015). Items mit einer korrigierten Trennschärfe von größer als 0.3 gelten als akzeptabel (Field, Miles & Field, 2012).

Die Reliabilität ist ein Gütekriterium eines Messinstruments, wie präzise beziehungsweise wie Messfehler behaftet das Konstrukt erfasst wird (Schermelleh-Engel & Werner, 2012). Zur Schätzung der Reliabilität kann die interne Konsistenz einer Skala mit dem Maß α berechnet werden (Cronbach, 1951). Voraussetzung dafür ist, dass die Variablen dem essentiell τ -äquivalenten Messmodell der klassischen Testtheorie unterliegen und die Messfehler unkorreliert sind – also ein eindimensionales Modell vorliegt (Eid et al., 2017). Ist nur die zweite Annahme der Eindimensionalität gegeben, kann Cronbach's α noch als untere Schranke der Reliabilität angesehen werden (Schermelleh-Engel & Werner, 2012). Das essentiell τ -äquivalente Messmodell bestimmt, dass die Diskriminationsparameter (Ladungen) der Indikatoren gleich sind, aber Leichtigkeitsparameter (Intercepts) und Fehlervarianzen frei geschätzt werden (Eid et al., 2017). Für den Vergleich von Gruppen ist ein Reliabilitätsmaß zwischen 0.5 bis 0.7 ausreichend (Lienert & Raatz, 1998).

Konfirmatorische Faktorenanalyse

Zur Datenreduktion und literaturbasierten Entwicklung der Skala zum „Aktuellen Interesse“ wurde eine konfirmatorische Faktorenanalyse auf Grundlage aller begleitenden Tests, messwiederholt nach den fünf Interventionen, durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein hypothesenprüfendes Verfahren, das mit einem Messmodell die theoriegeleitete Zuordnung von manifesten Variablen zu latenten Faktoren über eine Kovarianzmatrix der Items untersucht (Moosbrugger & Schermelleh-Engel, 2012). Die Items für die konfirmatorischen Faktorenanalysen wurden in sogenannten Itempäckchen oder Item-Parcel durch Mittelung zusammengefasst (Nussbeck, Eid, Geiser, Courvosier & Cole, 2012). Ein Päckchen bestand aus zwei bis drei Items, die inhaltlich den Komponenten „emotional“, „wertbezogen“ oder „epistemisch“ zuzuordnen sind (Hidi et al., 2004) und vergleichbare Itemschwierigkeiten aufwiesen (Little, Cunningham, Shahar & Widaman, 2002). Das Item-Parceling war notwendig, um die Komplexität des Modells aufgrund der vielen Items mit der zur Verfügung stehenden Stichprobe noch abbilden zu können, ohne auf empirische Informationen oder inhaltliche Facetten verzichten zu müssen. Zunächst wurde die Modellspezifikation festgelegt, dass identische Ladungen als Bedingung des essentiell τ -äquivalenten Messmodells vorliegen. An-

schließlich wurden Voraussetzungen für die Modelltestung geprüft, beispielsweise ob eine gravierende Abweichung der Normalverteilung vorliegt (Eid et al., 2017). Zusätzlich muss gewährleistet werden, dass genug empirische Information (Anzahl der Freiheitsgrade) vorhanden ist, um das Messmodell zu identifizieren (Bühner, 2011). Dafür sollte die Stichprobengröße im Verhältnis zu den schätzenden Parametern bei fünf zu eins liegen (Eid et al., 2017). Bei der Analyse von einzelnen Items wird empfohlen das robuste Maximum-Likelihood-Verfahren (MLR) zu wählen, um die nicht modellierte Heterogenität zu berücksichtigen (Hox, Maas & Brinkhuis, 2010). Fehlende Werte im Datensatz wurden auf Grundlage aller verfügbarer Information durch das full information maximum likelihood (FIML) Verfahren geschätzt, sodass kein listenweiser Ausschluss notwendig war (Graham, 2012). Das FIML-Verfahren bedingt Normalverteilung und dass der Ausfallprozess komplett zufällig oder systematisch zufällig zustande kommt (Eid et al., 2017). Abschließend wurde die Modellgüte durch mehrere Fitindices beurteilt. Für einen akzeptablen Modellfit sollte der χ^2 -Test nicht signifikant ausfallen und der entsprechende χ^2 -Wert kleiner als die dreifache Anzahl der Freiheitsgrade sein (Moosbrugger & Schermelleh-Engel, 2012). Der χ^2 -Test überprüft die Nullhypothese (H_0), dass keine Unterschiede zwischen der durch das Modell implizierten Varianz-Kovarianzmatrix und der vorliegenden empirischen Varianz-Kovarianzmatrix herrschen (Eid et al., 2017). In Kombination des Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) mit dem Standardized Root Mean Residual (SRMR) sollte der RMSEA Wert kleiner als 0.08 und nicht signifikant sowie der SRMR Wert kleiner als 0.11 sein (Bühner, 2011). Als deskriptive Gütemaße zum Modellvergleich wurden zusätzlich der Comparative Fit Index (CFI) und der Tucker-Lewis Index (TLI) mit einem Wert größer als 0.95 herangezogen sowie ein möglichst geringes Akaike information criteria (AIC) und Bayesian information criteria (BIC) (Eid et al., 2017). Falls nötig wurde abschließend anhand von Modifikationsindices die Modellgüte verbessert (Döring & Bortz, 2016). Die Items aller Skalen mit mangelhaften Kennwerten der Item- und Faktorenanalyse wurden markiert und bei häufiger und großer Abweichung nach kritischer Prüfung der inhaltlichen Passung aus dem Datensatz gelöscht (Bühner, 2011).

Personenbezogene Analyse

Im dritten Schritt erfolgte eine personenbezogene Analyse. Zunächst wurde bei allen Probanden die Anzahl an fehlenden Werten bestimmt, die anhand der Daten geändert oder durch Informationen des Ausfallprozesses gelöscht wurden (Graham, 2012). Als Plausibilitätscheck wurde die Standardabweichung innerhalb einer Skala berechnet, um Kreuzungsmuster der Probanden

aufzudecken (Döring & Bortz, 2016). Liegt die Standardabweichung nahe bei 0, hat ein Proband fast ausschließlich beispielsweise die erste Antwortmöglichkeit einer Skala ausgewählt. Die Antworten aller Probanden mit einem auffälligen Antwortverhalten (Standardabweichung kleiner als 0,2) wurden in fehlende Werte umgewandelt. Weiterhin wurden über Boxplotdiagramme Ausreißerwerte von Probanden identifiziert, die im Einzelfall gelöscht oder transformiert wurden (Field et al., 2012). Abschließend wurde ein vollständiger Datensatz kreiert, indem Probanden mit mehr als einem Fehlertermin bei der Intervention und einem Fehlertermin bei den Testzeitpunkten listenweise von der Auswertung ausgeschlossen wurden.

Aus allen Items, die passende psychometrische Kennwerte aufwiesen, wurde ein Skalenmittelwert für jeden Probanden gebildet, die oder der eine ausreichende Anzahl an Items zielführend beantwortet hat. Bedingung der Mittelwertbildung ist ein metrisches Skalenniveau, wobei ordinal skalierte Items ebenfalls genutzt werden können, wenn mehrere Kategorien vorhanden, die Variablen annähernd symmetrisch verteilt und die Differenzen der Kategorienwerte sinnvoll interpretierbar sind (Eid et al., 2017).

Unterschieds- und Zusammenhangsprüfungen

Die Skalenmittelwerte stellen die Grundlage für die einfaktorielle, messwiederholte Varianzanalyse und die Korrelationsberechnungen im vierten Schritt dar. Als Voraussetzung der Varianzanalyse wurde mit dem Shapiro-Test die Normalverteilung überprüft. Die Nullhypothese (H_0) nimmt an, dass die Werte der abhängigen Variable normalverteilt sind (Luhmann, 2015). Als Signifikanzniveau wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent festgelegt. Zusätzlich wurde durch ein Quantil-Quantil-Plot (Q-Q-Plot) grafisch die Normalverteilung analysiert (Field et al., 2012). Nur bei einem signifikanten Shapiro-Test und gleichzeitig drastischer Abweichung im Q-Q-Plot wurde die H_0 verworfen. Weiterhin wurde Varianzhomogenität vorausgesetzt, die mit dem Levene-Test untersucht wurde. Die H_0 lautet, dass die Varianzen der abhängigen Variable gleich sind (Luhmann, 2015). Ab einem p-Wert von kleiner als zehn Prozent wurde die H_0 abgelehnt. Bei messwiederholten varianzanalytischen Verfahren gilt zusätzlich die Annahme der Sphärizität, die gleiche Varianzen zwischen paarweisen Mittelwertdifferenzen über alle Testzeitpunkte hinweg fordert (Eid et al., 2017). Der Mauchly-Test überprüft die H_0 als Gültigkeit der Sphärizität mit einem Signifikanzniveau von fünf Prozent (Luhmann, 2015). Bei signifikantem p-Wert wurde eine Greenhouse-Geisser- und Huynh-Feldt-Korrektur durchgeführt, um die Irrtumswahrscheinlichkeit der Varianzanalyse anzupassen (Field et al., 2012).

Die H_0 der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung nimmt an, dass sich die Mittelwerte einer abhängigen metrischen Variablen (AV) zwischen einer unabhängigen kategorialen Variablen (UV) mit mehr als zwei Ausprägungen bei einer abhängigen Stichprobe nicht unterscheiden (Eid et al., 2017). Bei Verletzung der Testvoraussetzungen wurde die nonparametrische Friedman's Varianzanalyse durchgeführt (Field et al., 2012). Im konkreten Fall wurde beispielsweise inferenzstatistisch mit einem Signifikanzniveau von fünf Prozent getestet, ob sich das tätigkeitsbezogene Sachinteresse (AV) über den zeitlichen Verlauf von drei Testzeitpunkten (UV) bei der gleichen Stichprobe verändert. Weitere nonparametrische Unterschiedsprüfungen umfassten den Mann-Whitney-Test und den Kruskal Wallis Rangsummentest (Luhmann, 2015). Diese analysieren ohne Messwiederholung die H_0 , dass sich zwei oder mehr als zwei Gruppen (UV) in ihrem Median einer ordinalen Variablen (AV) nicht unterscheiden (Field et al., 2012). Im Anschluss wurden durch Post-hoc-Verfahren bestimmt, zwischen welchen Testzeitpunkten ein statistisch bedeutsamer Unterschied festgestellt wurde. Beim Vergleich von drei Mittelwerten wurde das Fishers Least Significant Difference (FLSD) Verfahren genutzt, bei dem eine Mittelwertdifferenz gebildet wird, die gerade noch signifikant erscheint (Luhmann, 2015). Für die nonparametrischen Tests wurde ein paarweiser Mittelwertsvergleich mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt (Field et al., 2012). Abschließend wurden Effektgrößen zur Bewertung der aufgedeckten Unterschiede ermittelt. Bei messwiederholten Verfahren wurde das generalisierte Eta-Quadrat als kleiner Effekt $\eta_G^2 > 0.02$, mittlerer Effekt $\eta_G^2 > 0.13$ und großer Effekt $\eta_G^2 > 0.26$ definiert (Bakeman, 2005).

Weiterhin wurde der lineare Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen abhängigen Variablen anhand einer Produkt-Moment-Korrelation berechnet (Luhmann, 2015). Voraussetzung dafür ist die Normalverteilung der metrischen Variablen (Bühner & Ziegler, 2009), jedoch kann, ab einer Stichprobengröße von über 30 Probanden, auf Grundlage des zentralen Grenzwertsatzes von annähernd normalverteilten Daten ausgegangen werden (Luhmann, 2015). Der Korrelationskoeffizient $r > 0.1$ ist als Maß der Effektgröße für einen schwachen Zusammenhang, $r > 0.3$ als mittlerer Zusammenhang und $r > 0.5$ als starker Zusammenhang heranzuziehen (Eid et al., 2017). Diese Effektgröße wird auch bei weiteren Verfahren verwendet, beispielsweise für die Friedman's Varianzanalyse, den Mann-Whitney-Test und den Kruskal Wallis Rangsummentest (Field et al., 2012).

Poweranalyse

Da lediglich undifferenziert für soziale- und Persönlichkeitsmerkmale Erwartungen für anzunehmende Effekte durch Outdoor Education vorlagen (Cason & Gillis, 1994; Scrutton & Beames, 2015), wurde auf Grundlage der empirisch ermittelten Effektgröße eine apriori Poweranalyse zur Stichprobenumfangsplanung der Hauptstudie mit dem Programm G*Power Version 3.1.9.2 durchgeführt. Die benötigte Stichprobengröße hängt von der Teststärke oder Power, der Effektgröße und dem festgelegten Signifikanzniveau ab (Luhmann, 2015). Zur Berechnung wurde die Power der Tests gemäß der Formel $1 - \beta = 1 - \alpha$ auf 0.8 festgelegt, damit auch kleinere Stichproben die Chance haben, einen signifikanten Effekt aufzudecken (Eid et al., 2017).

Pilotierungsteilstudie II

Um die Maßnahme der Testkonstruktionsstudie zu initiieren (*Teilstudie II*), wurden die Daten vergleichbar mit den ersten drei Schritten aus Teilstudie I ausgewertet, sodass im Folgenden lediglich Unterschiede aufgeführt werden.

Im zweiten Schritt der Itemanalyse wurde die Schwierigkeit des Single Choice Tests zum „Fachwissen“ zusätzlich um einen Rateparameter korrigiert (Bühner, 2011). Außerdem wurde ein strengeres Maß für die Lösung eines Items herangezogen, da die Kombination aus „richtig“ und „sicher“ (vgl. Abschnitt Testkonstruktion) als korrekte Antwort gewertet wurde (Theyßen, 2014).

Zur Datenreduktion und datengeleiteten Entwicklung der Skala zur „Einstellung zu Chemie und Natur“ wurde eine explorative Faktorenanalyse genutzt. Es handelt sich dabei um ein hypothesengenerierendes Verfahren, das auf Grundlage von Itemwerten die Dimensionalität einer Skala erfasst und die Konstruktvalidität überprüft (Moosbrugger & Schermelleh-Engel, 2012). Aufgrund der kleinen Stichprobe wurde mithilfe des Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) Kriteriums und dem Bartlett-Test auf Sphärizität die Eignung des Datensatzes für die Faktorenanalyse überprüft. Alle Items mit einem KMO-Wert größer als 0.5 sind in die Analyse miteingeflossen (Field et al., 2012). Der Bartlett-Test ermittelt ob die Itemwerte voneinander unabhängig sind oder, wie gewünscht, miteinander korrelieren (Eid et al., 2017). Als Extraktionsmethode der Faktoren wurde das Maximum-Likelihood-Verfahren gewählt, das die Parameter des Modells über die maximale Wahrscheinlichkeit der Korrelationsmatrix aller Itemwerte schätzt (Bühner, 2011). Die erklärte Varianz der extrahierten Faktoren wird durch sogenannte Eigenwerte und die, über Faktorladungen verbundene, Kommunalität dargestellt (Field et al., 2012). Als Abbruchkriterium bei der Bestimmung der Faktorenanzahl wurde der Scree-

Test durchgeführt, der die Eigenwerte grafisch als Screeplot aufträgt. Die Anzahl der bedeutsamen Faktoren (Dimensionalität der Skala) wurde durch den typischen Ellenbogenkurvenverlauf anhand der Eigenwerte vor dem Knick ausgewertet (Moosbrugger & Schermelleh-Engel, 2012). Die Transformation der Faktorladungen für eine Einfachstruktur erfolgte durch Oblimin-Rotation, die eine Korrelation zwischen den Faktoren zulässt (Field et al., 2012). Alle Items mit Faktorladungen von kleiner als .30 (Luhmann, 2015) und einer Kommunalität, die nicht im Bereich der geschätzten Reliabilität liegt (Eid et al., 2017), wurden markiert und nach Möglichkeit durch Formulierungsänderungen überarbeitet (Bühner, 2011).

Pilotierungsteilstudie III

Die gewonnenen Daten der teilnehmenden Beobachtung und des lauten Denkens der Pilotierung der Lerneinheiten der Kontrollgruppe (*Teilstudie III*) wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet (vgl. Kapitel 4.2.2). Außerdem wurden die Versuchsskripte einer Textoberflächenanalyse unterzogen (vgl. Kapitel 4.2.2). Die Pilotierungsergebnisse der Teilstudie III werden aufgrund der inhaltlichen Nähe bereits im Ergebniskapitel 5.2 Prepilotierung dargestellt, um eine vergleichende Übersicht der Textoberflächenanalyse zu ermöglichen.

4.4 Hauptstudie

Die Evaluationsstudie mit quasi-experimentellen Kontrollgruppendesign ging der leitenden Forschungsfrage nach, wie sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülern der Sekundarstufe II auswirkt (Engl & Risch, 2017). Eine Übersicht über die Studie mit den eingesetzten Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung sowie die zur Verfügung stehenden Stichprobe stellt Tabelle 9 dar.

Tabelle 9: Methode und Stichprobe der Hauptstudie.

Hauptstudie	
Methode der Datenerhebung	Fragebogen
Methode der Datenauswertung	Itemanalyse
	Konfirmatorische Faktorenanalyse
	Korrelationsanalyse
	Latentes Differenzenmodell
Stichprobe	Mehrfaktorielle Varianzanalyse
	n = 191 Schüler

4.4.1 Methoden der Datenerhebung

An der Evaluationsstudie mit quasi-experimentellem Kontrollgruppendesign nahmen 191 Probanden aus 13 Grund- und Leistungskursen der Jahrgangsstufe elf und zwölf von drei städtischen, allgemeinbildenden Gymnasien teil. Die Probanden wurden im Kursverband parallelisiert zu Experimental- oder Kontrollgruppe zugeordnet (Theyßen, 2014). Eine Randomisierung war aufgrund von organisatorischen Rahmenbedingungen (z. B. Entfernung zum Campus, Wünsche von Lehrpersonen, mangelnde Räumlichkeiten) nicht möglich. Die Einteilung der Kurse in Experimental- und Kontrollgruppe ist in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Einteilung der Kurse in Experimental- und Kontrollgruppe sortiert nach Kurstyp, Jahrgangsstufe und Schulzugehörigkeit.

Experimentalgruppe	Kontrollgruppe
1x LK 12 Schule E	-
2x LK 11 Schule E und O	1x LK 11 Schule M
1x GK 12 Schule E	3x GK 12 Schule M und O
3x GK 11 Schule E und M	2x GK 11 Schule M und O

Die Datenerhebungen erfolgte zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt – in der Unterrichtsstunde vor und nach der Intervention und zwei Monate nach der Intervention – sowie begleitend jeweils während und direkt im Anschluss an die Intervention. Das Forschungsdesign mit dem konkreten zeitlichen Ablauf ist in Abbildung 15 veranschaulicht.

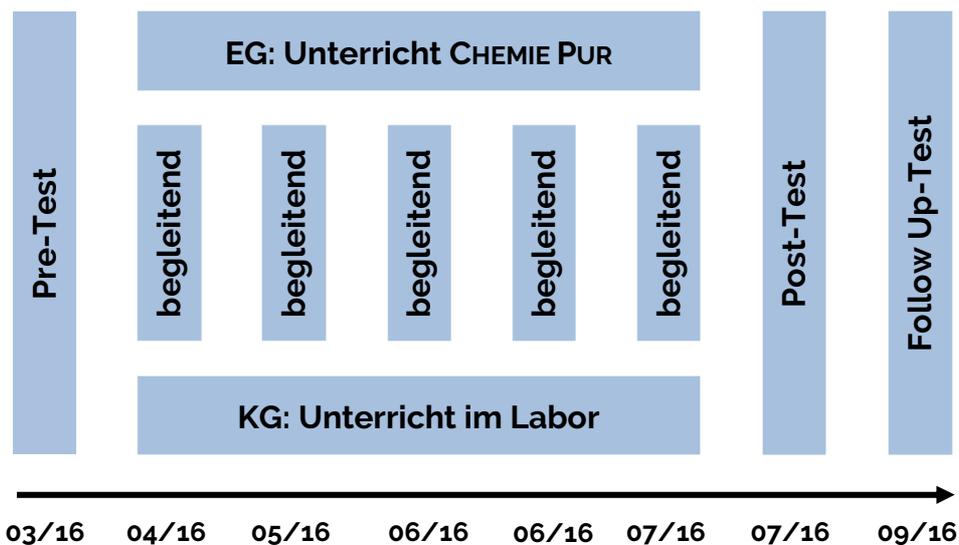


Abbildung 15: Zeitlicher Ablauf des Forschungsdesigns der Hauptstudie mit Datenerhebungen zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt sowie fünf begleitenden Datenerhebungen während und nach jeder Intervention.

Fragebogenerhebung

Als Methode der Datenerhebung wurden Fragebögen mit geschlossenem Antwortformat gewählt, die im Pre-Test 209 Items als Likert-Rating- und Single Choice Skalen umfassen. Die Auswahl der eingesetzten Skalen begründet sich durch die Passung zum Inhalt und der Zielgruppe sowie die umfassende Erprobung mit akzeptabler Testgüte in anderen Studien. Die 45 Minuten Testzeit wurde in drei Blöcken mit zwei kurzen Pausen gegliedert, um einen Testlängeneffekt zu vermeiden (Jonkisz et al., 2012). Als abhängige Variablen wurden das chemiebezogene Sach- (Brandt, 2005; Busker, 2010) und Fachinteresse (Hoffmann et al., 1998; Pawek, 2009; Weßnigk, 2013), die Einstellung zur Wissenschaft Chemie und Natur (Kaufmann, 2000; Weßnigk, 2013; Krischer, 2015) sowie die Naturverbundenheit (Schultz, 2002; Roczen, 2011) erfasst. Basierend auf dem theoretischen Hintergrund aus Kapitel 2 wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

- (H1) Bei beiden Vergleichsgruppen steigt das chemiebezogene Sach- und Fachinteresse an.
- (H2) Die Einstellung zu Chemie und Natur verbessert sich in der Experimentalgruppe.
- (H3) Die Naturverbundenheit nimmt in der Experimentalgruppe zu.

Als Kovariablen dienten das chemiebezogene Fähigkeitsselbstkonzept (Köller et al., 2000; Pawek, 2009), das Fachwissen – angelehnt an die Basiskonzepte der Lerneinheiten – sowie demografische Daten und Zeugnisnoten. Der Post- und Follow Up-Test war vergleichbar aufgebaut, wobei ein zusätzliches Item mit offenem Antwortformat zur Validierung hinzugezogen wurde. Dieses Item erfasst auf Grundlage einer Zeichnung zum Auftrag „Male dein Bild von der Chemie“ die Einstellung zur Wissenschaft Chemie (Barke, 2000; Pietsch & Barke, 2014). Außerdem wurde die Reihenfolge der Skalen geändert und die Items innerhalb einer Skala durchmischt, um den Wiedererkennungswert zu senken und dem Testwiederholungseffekt entgegen zu wirken (Theyßen, 2014).

Die Fragebögen der begleitenden Datenerhebung setzten sich aus geschlossenen Likert-Ratingskalen und offenen Antwortformaten zusammen. Für die 19 Items standen fünf Minuten Testzeit zur Verfügung. Dabei wurde das aktuelle Interesse (Rheinberg et al., 2001; Fechner, 2009; Pawek, 2009), die kognitive Belastung (Paas, 1992; Kalyuga, Chandler & Sweller, 1999), das Empfinden des Aufenthalts im Freiland und der Fokus der Lerneinheit erhoben. Eine Übersicht aller Konstrukte zeigt Abbildung 16.

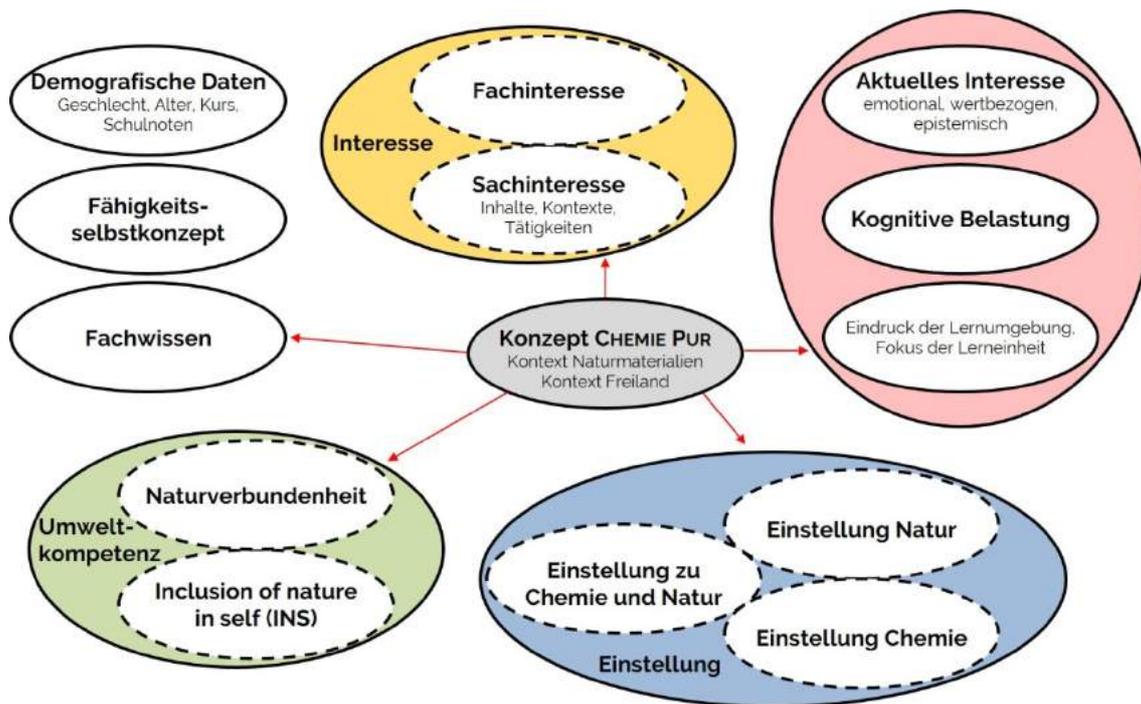


Abbildung 16: Übersicht der erhobenen Variablen der Hauptstudie mit den zugehörigen Subskalen. In Gelb, Blau und Grün sind die Konstrukte Interesse, Einstellung und Umweltkompetenz markiert. Die drei nicht zugeordneten Konstrukte dienen als Kovariablen. In Rot sind die begleitenden Kovariablen zusammengefasst.

Interventionsmaßnahmen

Als Intervention wurden im Zeitraum von April 2016 bis Juli 2016 vier Lerneinheiten bestehend aus fünf Doppelstunden unter der Aufsicht von wissenschaftlichen Hilfskräften, dem Versuchsleiter und der jeweiligen Lehrperson durchgeführt. Die zeitliche Abfolge der Lerneinheiten in Tabelle 11 wurde durch die beteiligten Lehrpersonen festgelegt, um die Inhalte organisatorisch bestmöglich in den Unterrichtsalltag zu integrieren.

Tabelle 11: Reihenfolge der Lerneinheiten aller beteiligten Kurse. Kurs eins bis sieben war der Experimentalgruppe und Kurs acht bis 13 war der Kontrollgruppe zugeordnet. Braun BA = Bodenanalyse mit Organischen Säuren, Violett AO = Ätherischen Ölen auf der Spur, Türkis FS = Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur, Grün FF = Farbenpracht im Freiland aus der Experimentalgruppe und Rot BS = Dem Blut auf der Spur, Dunkelrot RW = Die Chemie des Rotweins – Blanc de Noir, Gelb SS = Sommer, Sonne, Sonnenbrand, Hellblau KF = Kunterbunte Farbenpracht aus der Kontrollgruppe.

	Doppel- stunde I	Doppel- stunde II	Doppel- stunde III	Doppel- stunde IV	Doppel- stunde V
Kurs 1	BA	FS	AO	FF	FF
Kurs 2	BA	BA	FS	FF	FF
Kurs 3	AO	BA	FS	FF	FF
Kurs 4	AO	BA	FS	FF	FF
Kurs 5	FS	BA	BA	FF	FF
Kurs 6	AO	FF	FS	BA	BA
Kurs 7	BA	BA	FF	FF	FS
Kurs 8	RW	SS	BS	BS	KF
Kurs 9	RW	SS	KF	KF	BS
Kurs 10	RW	SS	BS	BS	KF
Kurs 11	RW	SS	KF	BS	BS
Kurs 12	BS	BS	SS	KF	KF
Kurs 13	SS	RW	BS	KF	KF

Die Lerneinheiten der Kontrollgruppe fanden in den Räumlichkeiten der Universität statt, während die CHEMIE PUR Lerneinheiten der Experimentalgruppe im naturnahen Umfeld am Campus oder am Schülerlabor Freilandmobil angesiedelt waren – vorausgesetzt die Wetterverhältnisse ließen dies zu. Bei Starkregen wurde auf den Aufenthalt im Freiland verzichtet und auf Ersatzräume zurückgegriffen. Die Inhalte der Lerneinheiten orientierten sich an zugrundeliegenden Basiskonzepten der Bildungsstandards im Fach Chemie (Kultusministerkonferenz, 2004), sodass sich lediglich der genutzte Kontext unterschied. Während beispielsweise in der Experimentalgruppe Inhaltsstoffe des Bodens oder Naturfarbstoffe untersucht wurden, experimentierten die Probanden in der Kontrollgruppe mit Inhaltsstoffen des Bluts oder synthetischen Farbstoffen (vgl. Tabelle 7 Kapitel 4.3.2).

Alle anderen Einflussfaktoren wurden soweit möglich kontrolliert, sodass ein fairer Vergleich zwischen den zwei Gruppen herrscht (Theyßen, 2014): Bestimmt durch den Kurstyp, die Altersstufe und die Schulzugehörigkeit sowie auf Grundlage der Ergebnisse des Pre-Tests wurde eine Parallelisierung vorgenommen. Die Lernzeit betrug pro Lerneinheit jeweils 90 Minuten und war vom methodischen Ablauf immer in drei Phasen unterteilt (vgl. Tabelle 12):

Innerhalb einer 15-minütigen Einführung wurden anhand des Kontexts fachliche Grundlagen thematisiert sowie auf Gefahrenquellen oder andere Besonderheiten der Versuche hingewiesen. Die daran anknüpfende einstündige Experimentierphase wurde in Kleingruppen von zwei bis fünf Lernenden kooperativ durchlaufen. In der 15-minütigen Abschlussbesprechung wurden die Beobachtungen der Versuche interpretiert und in Bezug zu übergeordneten Basiskonzepten gesetzt.

Tabelle 12: Dreigliedrige Struktur der Lerneinheiten in Experimental- und Kontrollgruppe mit zeitlichem Ablauf.

	Einführungsphase	Experimentierphase	Abschlussphase
EG	15 min	60 min	15 min
KG	15 min	60 min	15 min

Um den Einfluss der Lehrperson so gering wie möglich zu halten, wurden die Lerneinheiten so konzipiert, dass der Großteil der Informationen durch ein Skript vermittelt und die praktische Phase selbständig und eigenverantwortlich durchgeführt wurde (ebd.). Ein eventuell auftretender Neuigkeitseffekt oder Eventcharakter wurde minimiert, indem die Probanden sich durch mehrere Lerneinheiten an die Intervention gewöhnen konnten (ebd.). Auch bei den Inhalten der Lerneinheiten wurde auf eine Vergleichbarkeit geachtet, die als Übersicht mit zugrundeliegenden Gemeinsamkeiten und Unterschieden in Kapitel 4.3.2 zu finden ist.

Exkurs Validierung

Die Validierung wird nachfolgend kurz skizziert, allerdings in vollem Umfang separat publiziert. Die Validität ist das wichtigste Gütekriterium eines Tests, das die Gültigkeit des Messvorgangs beschreibt (Hartig, Frey & Jude, 2012). Die Validierung der neu entwickelten Skalen (vgl. Kapitel 4.3.1) beruht auf dem Validitätskonzept nach Messick (1995) und Kane (2001). Hierbei geht es um die theorie- und evidenzbasierte Bewertung, inwieweit die Testwertinterpretation für den jeweiligen Verwendungszweck valide ist (Dickmann, 2016). Dieses Validitätskonzept sieht die Konstruktvalidität als Bezugsrahmen, in welches Inhalts- und Kriteriumsvalidität integriert werden (ebd.). Die Konstruktvalidität bezeichnet einen gültigen Rückschluss von den Testwerten auf zugrundeliegende Persönlichkeitsmerkmale (Hartig, Frey & Jude, 2012). Die Inhaltsvalidität ist eng mit der Augenscheinvalidität verknüpft, die darüber definiert sind, wie repräsentativ der Test das zu messende Merkmal erfasst und ob der Test aus der Sichtweise eines Laien passgenau erscheint (ebd.). Kriteriumsvalidität

liegt vor, wenn die Merkmalerfassung innerhalb des Tests auch außerhalb der Testsituation Gültigkeit aufweist (ebd.). Im konkreten Fall wurden die Testwertinterpretationen als Indikatoren für die Einstellung zu Chemie und Natur und für das Fachwissen zu chemischen Basiskonzepten von Schülern der Sekundarstufe II festgelegt. Der Verwendungszweck entspricht der Analyse von Einstellungsänderung und Wissenszuwachs durch mehrere Interventionen anhand des Unterrichtskonzepts CHEMIE PUR.

Neben den Datenerhebungen zur Validierung im Laufe der Pilotierung und Hauptstudie, wurde zusätzlich eine Validierungsstudie mit Probanden aus Chemie Leistungs- und Grundkursen der Jahrgangsstufe elf und zwölf durchgeführt. Dabei wurden mit der Methode des lauten Denkens innerhalb von 45 Minuten die überarbeiteten Skalen der Konstrukte „Einstellung zu Chemie und Natur“ und „Fachwissen“ bearbeitet, ein Bild zu Chemie gezeichnet (Barke, 2000; Pietsch & Barke, 2014) und anschließend Zeichnungen anderer Schüler sowie provokative Bilder aus der Werbung beurteilt.

Zur Überprüfung der curricularen Inhaltsvalidität wurden die Items zum Fachwissen mit den Inhalten der Lehrpläne und Anforderungen der Bildungsstandards abgeglichen. Die Inhaltsvalidität der Skala zur Einstellung zu Chemie und Natur wurde anhand unterschiedlich schwieriger Items aus verschiedenen Inhaltsbereichen (Schmiemann & Lücken, 2014) mit Ankerbeispielen der qualitativen Daten des lauten Denkens abgeglichen (vgl. Tytler & Osborne, 2012). Die konkurrente Kriteriumsvalidität des Fachwissens wurde zum gleichen Testzeitpunkt als Korrelation mit der Schulnote im Fach Chemie erfasst. Die erstellten Zeichnungen wurden korrelativ als prädiktive Kriteriumsvalidität der Einstellung zu Chemie und Natur herangezogen. Die konvergente und diskriminante Konstruktvalidität wurde aus den Daten der konfirmatorischen Faktorenanalysen und damit verbundenen Korrelationen gewonnen. Dabei wurden vergleichbare Konstrukte – nicht zu ähnlich aber auch nicht zu verschieden – in Beziehung gesetzt, um beispielsweise Vorhersagen oder Zusammenhänge der Konstrukte zu identifizieren. Ergebnisse hierzu liegen bereits vor und werden in Kapitel 5.3 mit Abbildung 33 dargestellt.

4.4.2 Methoden der Datenauswertung

Zur Überprüfung der Hypothesen sind mehrere Schritte der Datenauswertung nötig: (1) Datenmanagement, (2) Itemanalyse, (3) Personenbezogene Analyse und (4) Unterschiedsprüfungen. Diese Schritte wurden bereits in Kapitel 4.3.3 beschrieben, sodass im Folgenden lediglich Unterschiede aufgeführt werden.

Beim Datenmanagement wurde die Gruppenzugehörigkeit numerisch codiert: Die Kontrollgruppe erhielt den Zahlenwert null und die Experimentalgruppe den Zahlenwert eins.

Die Itempäckchen für die konfirmatorische Faktorenanalyse bestanden aus zwei bis acht Items, die inhaltlich Gemeinsamkeiten (z. B. die Subskalen des Konstrukts zum inhalts-, kontext- oder tätigkeitsbezogenen Sachinteresse sowie die Facetten Fachwissen und Sicherheit im Fachwissen) oder vergleichbare Itemschwierigkeiten aufwiesen (Little et al., 2002).

Um sicherzustellen, dass die Intervention eine Wirkung zeigen kann, wurden alle Probanden listenweise von der Auswertung ausgeschlossen, die mehr als eine Doppelstunde fehlten. Ein Fehltermin an den Testzeitpunkten führte allerdings nicht zum listenweisen Ausschluss bei der personenbezogenen Analyse.

Für die Unterschiedsprüfung wurden die Kovariablen hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit sowohl im Pre-Test als auch bei der begleitenden Datenerhebung analysiert. Beispielsweise wurde mit dem nonparametrischen χ^2 -Test die Geschlechterverteilung zwischen Experimental- und Kontrollgruppe überprüft. Dabei wird die H_0 getestet, ob sich eine kategoriale, abhängige Variable in der kategorialen, unabhängigen Variablen nicht unterscheidet (Luhmann, 2015). Als Effektgröße wird der Odds Ratio berechnet, der sich in einen kleinen Effekt $OR > 2$, mittleren Effekt $OR > 3$ und großen Effekt $OR > 7$ gliedert (Döring & Bortz, 2016).

Mittels nicht messwiederholter Varianzanalyse wurden Unterschiede im aktuellen Interesse zwischen den Lerneinheiten der Experimental- und Kontrollgruppe überprüft. Bei Varianzheterogenität wurde die Welch Korrektur durchgeführt, um die Freiheitsgrade zu adjustieren (Field et al., 2012). Zur Identifikation von signifikanten Unterschieden wurde bei Varianzanalysen mit mehr als drei Mittelwertvergleichen post-hoc der TukeyHSD Test eingesetzt (Luhmann, 2015). Dieser Unterschied wurde bei nicht messwiederholten Ver-

fahren durch das korrigierte Omega-Quadrat als kleiner Effekt $\omega^2 > 0.01$, mittlerer Effekt $\omega^2 > 0.06$ und großer Effekt $\omega^2 > 0.14$ quantifiziert (Döring & Bortz, 2016).

Die hypothesenbezogene Unterschiedsprüfung wurde anhand von latenten Differenzenmodellen als Baseline-Change Variante durchgeführt. Ein latentes Differenzenmodell ist eine Zerlegung eines Latent-State-Modells mit dem Ziel interindividuelle Unterschiede in intraindividuellen Veränderungen auf messfehlerbereinigter Ebene zu modellieren (Geiser, 2011). Diese Unterschiede werden in der Baseline-Change Variante in Bezug zur ersten Messgelegenheit gesetzt (ebd.). Voraussetzung für diese längsschnittliche Modellierung ist, dass die psychometrischen Eigenschaften der Messinstrumente über die Zeit hinweg konstant bleiben (ebd.). Zur Überprüfung ob starke faktorielle Messäquivalenz über die drei Messgelegenheiten vorlag, wurden gleiche Ladungen und gleiche Intercepts der Indikatoren festgelegt (ebd.). Der Modellfit wurde durch dieselben bereits in Kapitel 4.3.3 beschriebenen Kriterien der konfirmatorischen Faktorenanalysen bewertet.

Das allgemeine latente Differenzenmodell ist in Abbildung 17 dargestellt. Die latente Variable zu drei Testzeitpunkten setzte sich aus drei manifesten Itempäckchen zusammen – beispielsweise dem inhalts-, kontext- und tätigkeitsbezogenen Sachinteresse. Da bei wiederholten Messungen mit indikatorspezifischen Methodeneffekten zu rechnen ist, wurde ein IS-Faktor modelliert (Kelava & Schermelleh-Engel, 2012). Dadurch wird der Teil der reliablen Varianz repräsentiert, der nicht durch einen Referenzindikator erklärt wird (Geiser, 2011). Als Referenzindikator wurde immer das erste Itempäckchen herangezogen. Die Veränderung der latenten State-Variable wurde über latente Differenzvariablen modelliert. Diese Differenz wird teilweise durch die Gruppenzugehörigkeit (Kontroll- oder Experimentalgruppe) als Prädiktor erklärt. Die H_0 des Modells nimmt keine Unterschiede zwischen den Gruppen über mehrere Testzeitpunkte an. Als Schätzmethode wurde das robuste Maximum-Likelihood-Verfahren (MLR) mit dem FIML-Schätzer für fehlende Werte angewendet. Um den Effekt der geschachtelten Daten zu erfassen, wurde als zusätzlicher Prädiktor die Kurszugehörigkeit in das latente Differenzenmodell aufgenommen. Die Schachtelung kann in vier Level unterteilt werden: Probanden zu unterschiedlichen Testzeitpunkten (Level 1) in Kursen (Level 2) in Jahrgangsstufen (Level 3) in Schulen (Level 4). Ohne Berücksichtigung der Schachtelung können verzerrte statistische Inferenz, inkorrekt geschätzte Konfidenzintervalle und zu Unrecht verworfene Nullhypothesen auftreten (Geiser, 2011).

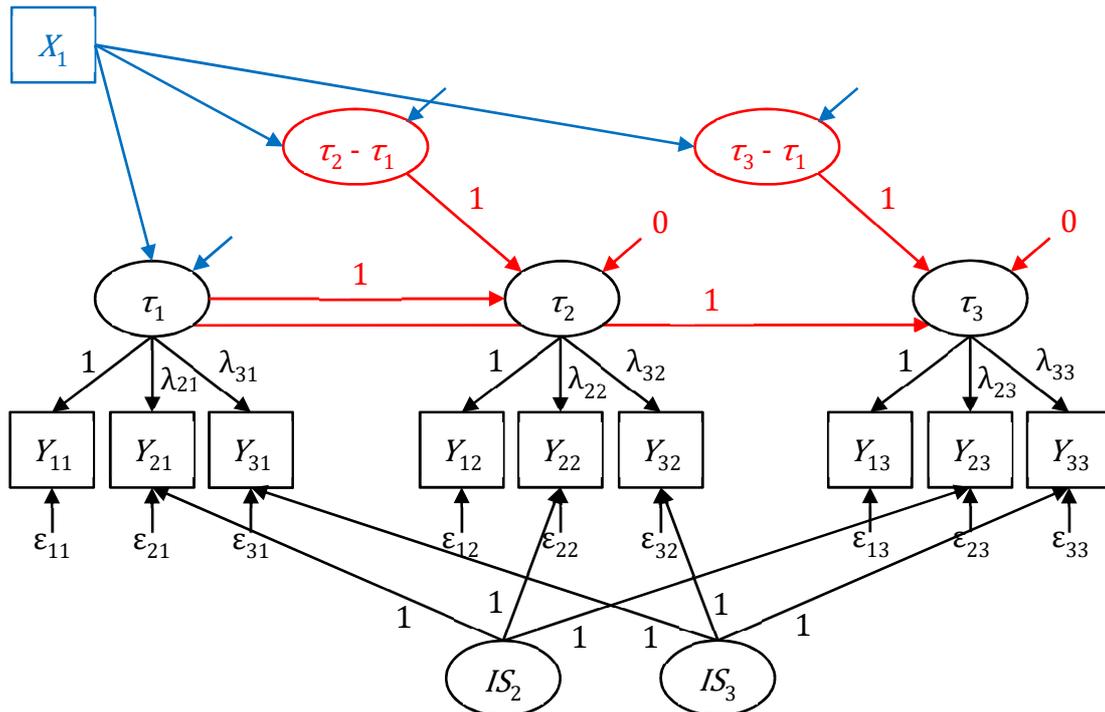


Abbildung 17: Latentes Differenzenmodell als Baseline-Change Variante über drei Testzeitpunkte mit zwei indicatorspezifischen Faktoren (IS). Die beobachteten Variablen Y_{ik} (i = Indikator, k = Messgelegenheit) bestehen aus Itempäckchen und weisen Messfehler (ϵ_{ik}) auf. Die messfehlerbereinigten State Variablen (τ_k) sind über die zeitlich invariante Faktorladungsparameter (λ_{ik}) verknüpft. Die Veränderung der latenten State Variablen wurden über latente Differenzvariablen in Rot modelliert. Diese Differenz wird teilweise durch die Gruppenzugehörigkeit (X) in Blau als Prädiktor erklärt.

Zusätzlich zur latenten Modellierung wurden zwei Konstrukte, die jeweils aus einem ordinalen Item bestehen, nach einer nonparametrischen, mehrfaktoriellen, gemischten Varianzanalyse mit getrimmten Mittelwerten ausgewertet (Field et al., 2012). Dabei werden messwiederholte within-, nicht-messwiederholte between- und Interaktionseffekte als Varianzanalyse einer abhängigen Variablen überprüft (Luhmann, 2015).

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse teilen sich in die Vorstudie, Prepiloting, Pilotierung und Hauptstudie auf. Die ersten drei Bereiche weisen einen explorativen Charakter auf, während die quasi-experimentelle Hauptstudie hypothesengeleitet ist. Alle Ergebnisse befassen sich mit der übergeordneten Forschungsfrage, wie sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülern der Sekundarstufe II auswirkt. Eine Übersicht der zentralen Ergebnisse ist in Tabelle 13 dargestellt, die in den nachfolgenden Kapiteln ausführlicher beschrieben werden.

Tabelle 13: Übersicht der Ergebnisse der Vorstudie, Prepiloting, Pilotierung und Hauptstudie.

Vorstudie

- Die lokalen Gegebenheiten an Schulen ermöglichen Unterricht im Freiland.
- Als Hürde sehen Lehrpersonen hauptsächlich ein erhöhter organisatorischer Aufwand.
- Insbesondere umweltanalytische Themen werden als Anlass genutzt, um nach draußen zu gehen.
- Lehrpersonen wünschen sich für den Unterricht in der Natur unterstützende Materialien.

Prepiloting

- Vier Lerneinheiten wurden auf jeweils zwei Doppelstunden ausgedehnt.
- Die Einführung und Abschlussbesprechung für die Lerneinheiten wurden konkretisiert.
- Die Durchführung von mehreren Experimenten wurde optimiert.
- Auf den Einsatz von GPS Geräten wurde aus Zeitgründen verzichtet.
- Texte im Skript wurden überarbeitet und mit Abbildungen unterstützt.
- Die Texte der Kontrollgruppe sind leichter verständlich als die der Experimentalgruppe.

Pilotierung

- Unzureichende Itemkennwerte führen zum Ausschluss der KOOP-, SES-, UW- und AKO-Skala.
- Aufgrund der geringen Itemanzahl wurde auf die Modellierung des aktuellen Interesses mit Subskalen verzichtet.
- Alle Lerneinheiten werden deskriptiv als interessant eingestuft.
- Die kognitive Belastung aller Lerneinheiten wird als angemessen bewertet.
- Das tätigkeitsbezogene Sachinteresse steigt mit einem großen Effekt signifikant an.
- Die Poweranalyse zeigt, dass eine Stichprobengröße von 164 Probanden für die Hauptstudie benötigt wird, um kleine Effekte aufzudecken.

Hauptstudie

- Die Itemkennwerte liegen bei allen Skalen im akzeptablen Bereich.
 - Die Stichprobe umfasst 85 Probanden in der Experimental- und 64 in der Kontrollgruppe. Aufgrund von zwei oder mehr Fehlterminen während der Intervention wurden 39 Probanden ausgeschlossen.
 - Alle Lerneinheiten werden deskriptiv als interessant eingestuft und deren kognitive Belastung als angemessen bewertet.
 - Die Probanden der Kontrollgruppe schätzen ihre Lerneinheiten mit einem kleinen Effekt signifikant interessanter und kognitiv angemessener ein als die Probanden der Experimentalgruppe.
 - Das Fachinteresse nimmt in beiden Gruppen mit einem großen Effekt signifikant ab.
 - Das inhaltsbezogene Sachinteresse steigt in der Experimentalgruppe mit einem kleinen Effekt signifikant an.
 - Die Einstellung zu Chemie und Natur verbessert sich signifikant in der Experimentalgruppe mit einem kleinen Interaktionseffekt.
 - Die Naturverbundenheit erhöht sich signifikant in beiden Vergleichsgruppen mit einem kleinen Effekt.
 - Der Lernzuwachs der Probanden in der Experimentalgruppe ist mit einem kleinen Interaktionseffekt signifikant höher als bei den Probanden der Kontrollgruppe.
-

5.1 Vorstudie

An der interaktiven Online-Umfrage nahmen 47 Chemie Lehrpersonen aus Rheinland-Pfalz teil. Die relative Häufigkeit an fehlenden Werten lag zwischen null und 17 Prozent pro Item. Nahezu alle Items decken den gesamten Wertebereich ab, sodass sinnvoll Varianz erzeugt wird. Lediglich bei einem Item werden von 13 möglichen Antwortalternativen drei nicht gewählt. Dabei handelt es sich um anscheinend nichtzutreffende Gründe, die dagegensprechen würden Chemieunterricht in der Natur stattfinden zu lassen: Umweltverschmutzung, juristische Hürden und mangelnde Lokalität. Aufgrund des Fragebogenformats wurde auf die Überprüfung weiterer Qualitätskriterien der Items verzichtet.

95 Prozent (n = 40) der befragten Lehrpersonen geben an, dass entweder direkt auf dem Schulgelände oder im näheren Umkreis die Möglichkeiten zum Unterrichten im Freien besteht. Die relative Häufigkeit der lokalen Gegebenheiten, wie Sportplatz, Schulgarten, -teich sowie Freiluftklassenzimmer oder Gewässer, Wiesen, Wald, Felder und Parks sind in Abbildung 18 aufgeführt.

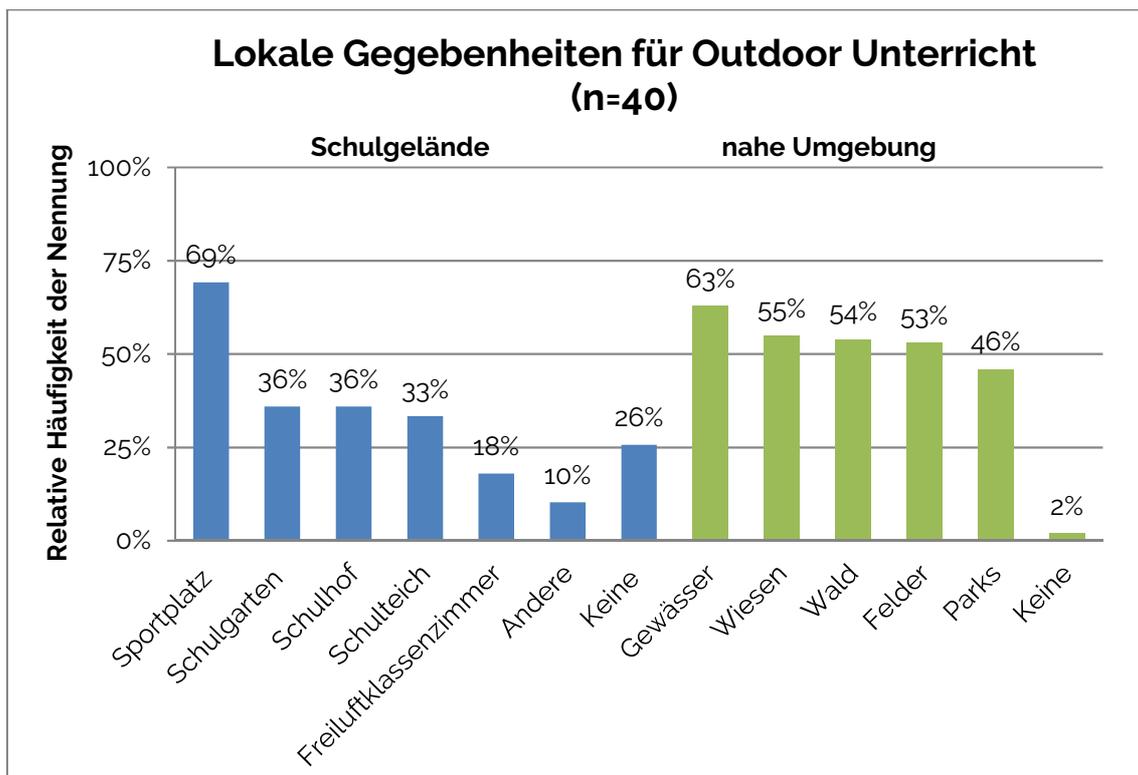


Abbildung 18: Relative Häufigkeiten der lokalen Gegebenheiten für Outdoor Unterricht unterteilt in Möglichkeiten direkt auf dem Schulgelände in Blau oder im näheren Umkreis in Grün (Mehrfachnennung möglich).

Während 77 Prozent (n = 36) der Chemie Lehrpersonen sich vorstellen können ihren Unterricht im Freiland durchzuführen, lehnen dies 23 Prozent (n = 11) ab. Die relativen Häufigkeiten der genannten Gegenargumente sind in Abbildung 19 dargestellt. 23 der insgesamt 38 Angaben (61 %) sind organisatorischen Rahmenbedingungen zuzuordnen, zehn Nennungen (26 %) beziehen sich auf unzureichende Materialien und sechs Aufführungen machen Gegebenheiten im Freiland dafür verantwortlich.

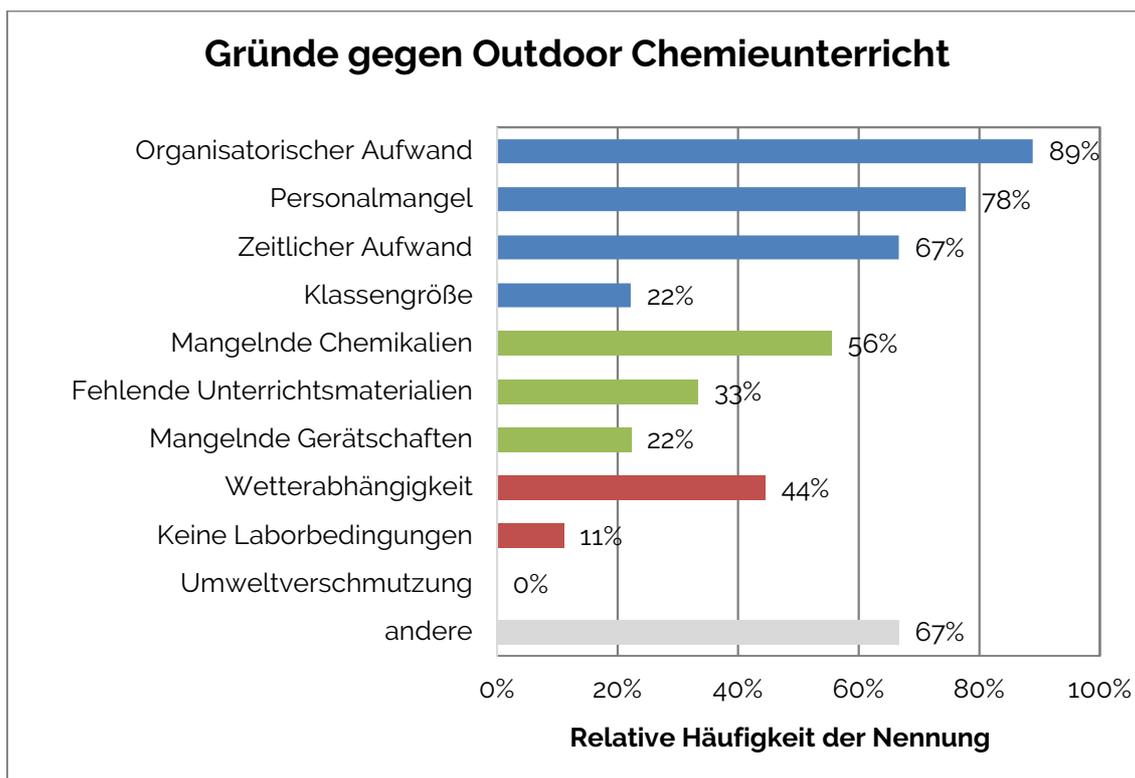


Abbildung 19: Relative Häufigkeiten der Gründe gegen Outdoor Chemieunterricht unterteilt in organisatorische Rahmenbedingungen in Blau, unzureichende Materialien in Grün und Gegebenheiten im Freiland in Rot (Mehrfachnennung möglich).

Unabhängig vom Fach haben 78 Prozent (n = 31) der Stichprobe bereits draußen unterrichtet – am häufigsten im Fach Biologie (90 %) oder im Fach Naturwissenschaften (87 %), im Fach Chemie jedoch nur 55 Prozent (n = 23). Die genannten Themen für Outdoor Chemieunterricht aus Abbildung 20 lassen sich in den praktischen und sicherheitsrelevanten Bereich „Ungeeignete Räumlichkeit für ein Experiment“ von 59 Prozent (n = 26) sowie in den thematischen Bereich „Umweltanalytik“ von 39 Prozent (n = 17) gliedern.

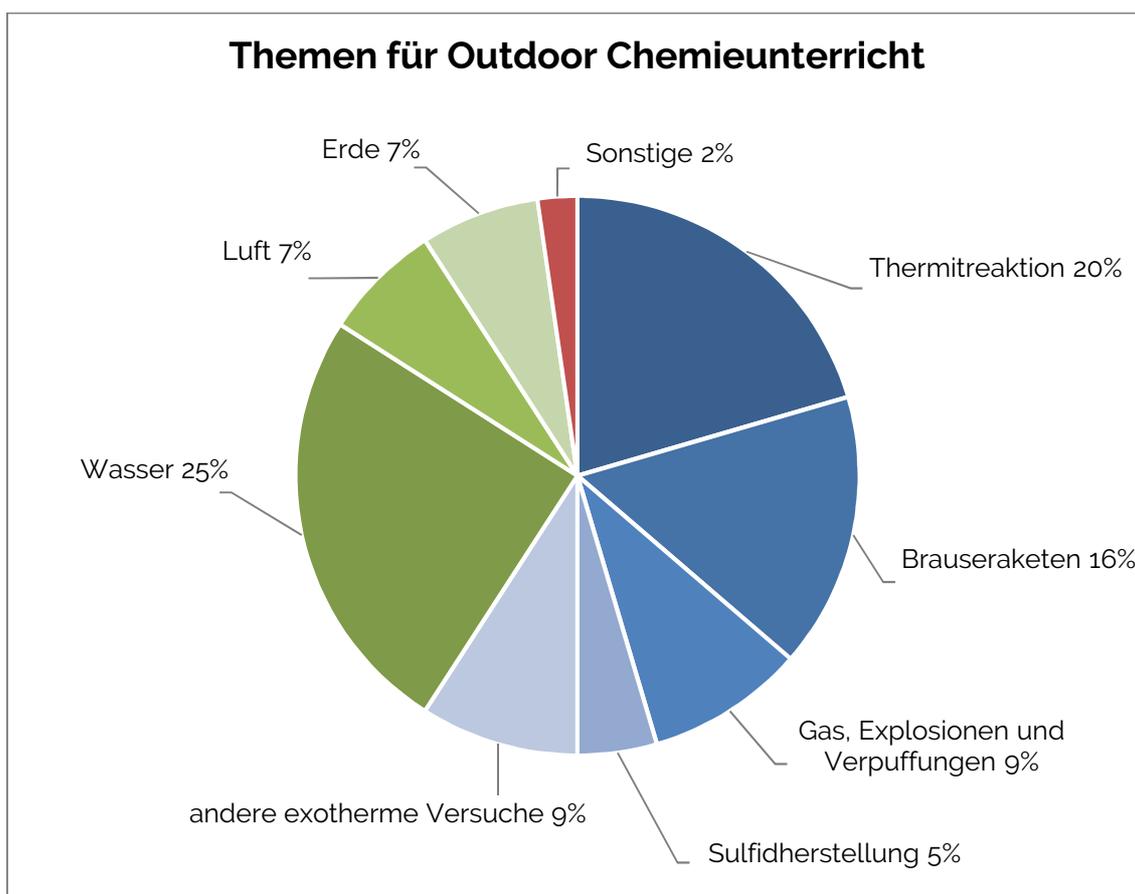


Abbildung 20: Relative Häufigkeiten von Themen für Outdoor Chemieunterricht unterteilt in einen unpraktischen und sicherheitsgefährdenden Bereich der Räumlichkeit in Blau sowie in den thematischen Bereich der Umweltanalytik in Grün (Mehrfachnennung möglich).

Die größte Unterstützung für Chemieunterricht im Freien erhoffen sich die befragten Chemielehrpersonen durch Geräte, Skripte und Materialien. Alle Mittelwerte der Items zu den vorgegebenen Unterstützungsmöglichkeiten sind Abbildung 21 zu entnehmen.

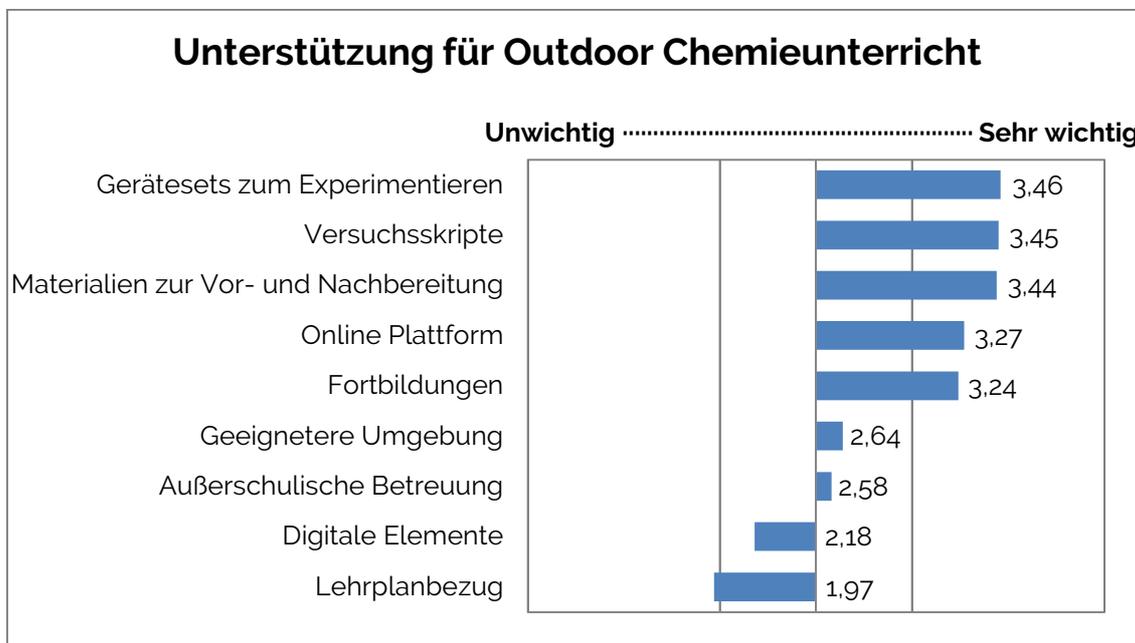


Abbildung 21: Itemmittelwerte der Unterstützungsmöglichkeiten für Outdoor Chemieunterricht als vierstufige Ratingskala. Ein hoher Zahlenwert entspricht einer als wichtig bewerteten Unterstützung.

5.2 Prepiloting

Die Ergebnisse der Prepiloting bewerten die Praxistauglichkeit der CHEMIE PUR Lerneinheiten anhand der Kriterien (1) Adressatengerechtigkeit der Experimente und (2) Verständlichkeit des Versuchsskripts für Schüler. Aufgrund der inhaltlichen Nähe werden die Ergebnisse der Pilotierung der Lerneinheiten der Kontrollgruppe ebenfalls in diesem Kapitel dargestellt. Die Evaluationsergebnisse der Praxistauglichkeit hinsichtlich des Kriteriums der Adressatengerechtigkeit der Experimente werden aufgrund der Vielzahl exemplarisch präsentiert.

Ergebnisse zu den CHEMIE PUR Lerneinheiten der Experimentalgruppe

Die Videoanalyse zur CHEMIE PUR Lerneinheit „Bodenanalyse mit Organischen Säuren“ deckt Probleme beim Experimentieren durch mangelnde Vorkenntnisse auf: beispielsweise waren Gerätebezeichnungen unbekannt oder nicht klar, wie der pH-Wert mit einem Indikatorpapier praktisch bestimmt wird. Diese Hürden wurden fortan mit einer ausführlichen vorbereitenden Einführung beseitigt, wodurch die Einheit in zwei Doppelstunden geteilt werden musste. Weiterhin benötigten die Kleingruppen zwischen acht und 13 Minuten, um mit dem GPS Gerät die Experimentier-Stationen zu erreichen. Diese nicht sinnvoll genutzte Lernzeit wurde daraufhin verkürzt, indem die Schüler unter Aufsicht direkt zu den Stationen geführt wurden.

Das laute Denken und die Interviews zur CHEMIE PUR Lerneinheit „Ätherischen Ölen auf der Spur“ und „Farbenpracht im Freiland“ offenbarten ungenaue Zielvorgaben im Skript (Wirth et al., 2008), die daraufhin überarbeitet und zur besseren Übersichtlichkeit mit Abbildungen ergänzt wurden:

Person 1: *„Circa 40 g zu extrahierendes Pflanzenmaterial. Wie kann ich die 40 g abmessen? Pi mal Daumen? Da sind 50 g drin... oder wie? (-) dann tu ich da 10 g (-) so 10 g sind noch ungefähr in der Tüte.“*

Person 2: *„Mit einer Kochsalz-Eiswassermischung steht hier. Wie viel Wasser? (-) Salz, wie viel? Ken Ahnung.“*

Person 3: *„Die Frage ist jetzt, der Rest des Extraktes, ist jetzt, der Extrakt den man aus 4a) gewonnen hat gemeint, so versteh ich es jetzt. Ich bin mir aber nicht sicher“*

Person 4: *„Hier steht: Sollte der mit Säure behandelte Extrakt noch fluoreszieren, wird noch mehr Säure dazu gegeben. Ich weiß nicht was fluoreszieren fluoreszieren bedeutet.“*

Person 5: *„Nur die zweite Variante fand ich ein bisschen unübersichtlich. Hier hätte ich mir mehr Strukturierung und Aufteilung gewünscht.“*

Da es so viel Information auf einmal war, musste ich öfters nachlesen."

Anhand von drei weiteren Ankerbeispielen wurden die Auswirkungen von Kälte und Wind im Freiland verdeutlicht:

Person 1: *„Okay, das war also schon wieder falsch. Das liegt an dem Wetter, weil ich gleich nemmer denken kann, mir ist so kalt.“*

Person 1: *„Scheiße, is das kalt. [...]. Sau kalt. [...]. Boah, ist das kalt. Ist das kalt. [...] Shit, Shit, Shit. Kalt, kalt, kalt. Au, au, au.“*

Person 6: *„Komm schon (seufzen) [Streichholz wird entzündet] (-) Ach... Ach mist! Das geht net so [Streichholz wird von Wind ausgeblasen]. Feuerzeug wär besser (-) Vielleicht jetzt [Hand wird vor Streichholz gehalten]. Komm schon. Komm, komm, komm, brenne! Juhu! Yes [Entzündung des Kartuschenbrenners]! [...] Läuft der überhaupt noch? Ne! [...] Komm, komm, komm, komm... ach (seufzen) [Streichholz wird ausgeblasen]. Vielleicht mal in die andere Richtung drehen... ach nein [Streichholz wird ausgeblasen]. (seufzen) Wie ist es denn hier? Ist es da windstiller [wechselt Standort]? [...] Komm, Komm, ach ne! [Streichholz wird ausgeblasen]. [...] [Entzündung des Kartuschenbrenners]. [...] So! Ja, der läuft! (-) Nochmal kontrollieren. Ja, der läuft! [...]. Ich stell mal die Sachen bisschen davor, dass das geschützt ist vom Wind. Ja, der läuft noch gut.“*

Neben dem fehlenden Windschutz sind weitere Schwierigkeiten bei der Durchführung der Wasserdampfdestillation auf die mangelnde Standfestigkeit der Apparatur und die ungenügende Luftzufuhr für den Kartuschenbrenner zurückzuführen. Die Destillationsapparatur wurde daraufhin optimiert.

Die Auswertung des geschlossenen Fragebogens der CHEMIE PUR Lerneinheit „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ bezog sich auf die Kriterien (1) Zeitlicher Umfang, (2) Anschaulichkeit, (3) Gelingen, (4) Ausstattung, (5) Schülerexperiment, (6) Erkenntnisförderung, (7) Originalität, (8) Adressatengerechtigkeit, (9) Anschlussfähigkeit, (10) Motivation und (11) Fachliche Richtigkeit (Graf, 2002; Pfeifer, Lutz & Bader, 2002; Sommer, Klein, Steff & Pfeifer, 2012). Da kein intervallskalierter Datentyp bei einer dreistufigen Skala angenommen werden konnte, wurde für jedes Item der Median berechnet. Dieser lag bei den ersten sechs Kriterien auf der Kategorie „trifft voll zu“, während die letzten fünf Kriterien mit einem Median von „trifft bedingt zu“ bewertet wurden.

Die offenen Antwortformate des Fragebogens boten Gelegenheit zu Einordnung von Schülervorstellungen bezüglich der Modellexperimente (Feige, Rutsch, Dörfler & Rehm, 2017). Sechs Probanden befürchteten, dass die Schüler aus der Lerneinheit schlussfolgerten, sich schnell zu bräunen, um sich vor Sonnenlicht zu schützen. Auch auf die modellhafte Cyanotypie Reaktion wurde mehrfach hingewiesen, die Lernenden nahelegen könnte, dass bei der Bräunung der eigenen Haut Berliner Blau entsteht. Drei Fälle beschrieben außerdem die mögliche Vorstellung, dass Menschen mit dunklem Hauttyp keine Sonnenschutzmittel benötigen würden. Die möglichen Schülervorstellungen wurden in der vorangehenden Einführung aufgegriffen, um passgenaue Analogien zwischen Modellexperiment und Original zu bilden, aber auch konkrete Unterschiede abzugrenzen (Becker & Hildebrandt, 2003).

Ergebnisse zu den Lerneinheiten der Kontrollgruppe

Die Evaluationsergebnisse der Lerneinheiten für die Kontrollgruppe basieren auf lautem Denken und Beobachtungsstudien. Zwei Experimente zeigten nicht eindeutig genug das gewünschte Phänomen (Barke et al., 2018), sodass dieses mit einer Kontrollprobe verdeutlicht oder darauf vollständig verzichtet wurde:

Person 6: *„Achso ah ne (-) (räuspert sich) ja gut is auf jeden Fall dunkler als die anderen Lösungen, is aber auch net so verdünnt. Find aber nicht, dass es so ein großer Unterschied ist zum Rotwein. In welche Richtung soll sich das denn färben?“*

Person 6: *„Die Hydroxidionen (lacht) ja das wahrscheinlich en bissl zu wenig. Ich kann's noch en mal ausprobieren. (-) Ja, also sollte sich das ja dann blau färben. Hmmm (-) nääää wahrscheinlich ne zu geringe Konzentration, [...].“*

Weitere zwei Versuche wurden aufgrund inhaltlicher Passung überarbeitet beziehungsweise verworfen. Beispielsweise wurde der Tyndall-Effekt zunächst mit einem Milch-Wasser-Gemisch untersucht, dessen Bezug zum Thema Farbstoffchemie jedoch mit einer Pigmentsuspension deutlicher wurde (Stuckmeier & Sieve, 2016). Ein weiterer Versuch zur Wirkungsweise von Säure-Base-Indikatoren wurde gestrichen, da die zugrundeliegende Theorie bereits bei anderen Experimenten mit eindrucksvolleren Effekten thematisiert wurde.

Außerdem zeigten sich Probleme bei der Durchführung der Versuche im Umgang mit den Materialien (Reiners & Saborowski, 2017) – zum Beispiel konnte

aufgrund eines unpassenden Stopfens die Redoxreaktion mit sauerstoffreichem und -armen Blut nicht den gewünschten Erfolg verzeichnen. Einige Materialien wurden unnötigerweise aufgeführt, während andere vermisst wurden:

Person 6: *„Mein Destillat brennt also doch! Mitm Feuerzeug gings nicht an aber mitm Streichholz.“*

Person 6: *„Ich dreh jetzt einfach mal den Vorstoß, das geht jetzt auch, aber ne Spinne wäre echt besser (-) ne Spinne mit zwei Kolben dann für das Destillat.“*

Zwei weitere Ankerbeispiele deckten Verständnisschwierigkeiten durch inkonsistente Bezeichnungen und unpassende Formulierungen im Skript auf, die anschließend verbessert wurden:

Person 6: *„Ähmm heißt es jetzt Kaliumhexacyanoferrat oder Kaliumhexacyanidoferrat? Oder geht beides? Naja erst mal weitermachen.“*

Person 6: *„An dem eine Hydroxygruppe an einem Kohlenstoffatom gebunden ist (-) achso sind Alkohole an dem eine (-) nein ist (-) jaja das passt schon (-) an dem nur ein Wasserstoff verschieden (-) Moment nochmal von vorne jetzt bin ich raus. (-) Alkohole sind Moleküle an denen eine Hydroxylgruppe an einem Kohlenstoffatom gebunden ist. An dem nur ein von Wasserstoff verschiedener Rest enthalten ist. (-) was? an einem Kohlenstoffatom gebunden ist, an dem nur ein (-) von Wasserstoff verschiedener Rest enthalten ist (-) das raff ich net. (-) Ich hab keine Ahnung was ihr mir damit aussagen wollt. (lacht) Ich weiß was ein primärer Alkohol ist, aber ich hab keine Ahnung was ihr mit der Deutung machen wollt. Ich probiers nochmal: (lacht) Primäre Alkohole sind Moleküle an denen eine Hydroxylgruppe an einem Kohlenstoffatom gebunden ist (-) an dem nur ein von Wasserstoff verschiedener Rest enthalten ist. Ich glaub ich weiß was ihr meint, aber es is ein bissl komisch ausgedrückt.“*

Die Analyse der Praxistauglichkeit in Bezug zum Kriterium der Adressatengerechtigkeit veranschaulichte Handlungsbedarf für die Überarbeitung der Lerneinheiten. Auf Grundlage der Ergebnisse wurden Einheiten ausgedehnt und zeitlich in zwei Doppelstunden strukturiert („Bodenanalyse mit Organischen Säuren“ und „Farbenpracht im Freiland“ sowie „Dem Blut auf der Spur“ und „Kunterbunte Farbenpracht“), vorbereitende Einführungen und erklä-

rende Abschlussbesprechungen konkretisiert und erweitert, Experimente optimiert sowie im Skript Texte überarbeitet und unterstützende Abbildungen erstellt. Auf den Umgang mit GPS Geräten und erweiterten digitalen Lernmodulen wurde aus Zeitgründen verzichtet.

Vergleichende Ergebnisse der Textoberflächenanalyse

Nach der Überarbeitung aller Einheiten wurden die Durchführungen und Deutungen der Experimente einer Textoberflächenanalyse unterzogen, um die Verständlichkeit der Skripte für Lernende der Sekundarstufe II zu bewerten. Die Ergebnisse im Vergleich zwischen Experimental- und Kontrollgruppe sind in Tabelle 14 visualisiert. Die Wortanzahl überschreitet bei allen Einheiten den vorgegebenen Grenzwert von 700 Wörtern (Kulgemeyer & Staraschek, 2014) und weicht insgesamt zwischen Experimental- und Kontrollgruppe lediglich um 25 Wörter ab. Der anhand der vierten Wiener Sachtextformel errechnete Verständlichkeitsindikator liegt im Bereich der zehnten bis zwölften Jahrgangsstufe. Auffällig ist die relative Häufigkeit der verwendeten Fachwörter (fw und fw_1), die den Orientierungswert für einfach verständliche naturwissenschaftsdidaktische Texte von sieben beziehungsweise drei Prozent (ebd.) um mehr als das Doppelte überschreitet. Der Lesbarkeitsindex zwischen 50 und 60 gruppiert die Texte als Sachliteratur ein, die vom Komplexitätsniveau unter Fachliteratur liegen (Lenhard & Lenhard, 2017).

Tabelle 14: Ergebnisse der Textoberflächenanalyse im Vergleich zwischen der Experimental- und Kontrollgruppe. CHEMIE PUR Lerneinheiten (EG) in Grün markiert: BA = Bodenanalyse mit Organischen Säuren, AO = Ätherischen Ölen auf der Spur, FS = Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur, FF = Farbenpracht im Freiland. Lerneinheiten für die Kontrollgruppe (KG) in Rot markiert: BS = Dem Blut auf der Spur, RW = Die Chemie des Rotweins – Blanc de Noir, SS = Sommer, Sonne, Sonnenbrand, KF = Kunterbunte Farbenpracht. W = Wortanzahl, s = mittlere Satzlänge, ms = relative Häufigkeit der drei- und mehrsilbigen Wörter, K = Verständlichkeitsindikator der Jahrgangsstufe, fw = relative Häufigkeit der Fachwörter, fw_1 = relative Häufigkeit der einfach verwendeten Fachwörter, LIX = Lesbarkeitsindex.

Einheit	W	s	ms	K	fw	fw_1	LIX
BA	864	16,0	34 %	11,8	20 %	7 %	59,0
BS	1144	13,2	31 %	10,3	20 %	6 %	51,8
AO	1000	14,7	30 %	10,6	15 %	5 %	54,4
RW	763	13,2	28 %	9,6	17 %	6 %	52,0

FS	1224	14,1	36 %	11,2	17 %	4 %	55,5
SS	976	15,5	33 %	11,3	16 %	5 %	54,7
FF	1535	15,4	30 %	10,6	16 %	5 %	54,9
KF	1715	13,3	31 %	10,4	20 %	5 %	53,2
EG	4623	15,1	33 %	11,1	17 %	5 %	56,0
KG	4598	13,8	31 %	10,4	18 %	6 %	52,9

Deskriptiv werden die CHEMIE PUR Lerneinheiten der Experimentalgruppe als schwerer verständlich eingeordnet, da der gemittelte Verständlichkeitsindikator sich um knapp eine Jahrgangsstufe unterscheidet und der LIX-Wert rund drei Punkte höher liegt. Die Abweichung von einem Prozentpunkt der relativen Häufigkeit der verwendeten Fachwörter wird als vergleichbar angesehen. Die Ergebnisse der t-Tests in Tabelle 15 untermauern diese deskriptiven Indizien. Die aufgedeckten Effekte weisen teilweise, aufgrund der zu geringen Anzahl an verschiedenen Skripten pro Gruppe, keine signifikanten Unterschiede auf. Nichtsdestotrotz wird anhand der großen Effekte der LIX- und K-Werte deutlich, dass die Texte in der Kontrollgruppe leichter verständlich sind als in der Experimentalgruppe.

Tabelle 15: Kategorien der Textoberflächenanalyse mit den Testvoraussetzungen zur Unterschiedsprüfung und der zugehörigen Effektgröße, K = Verständlichkeitsindikator der Jahrgangsstufe, LIX = Lesbarkeitsindex, fw = relative Häufigkeit der Fachwörter, fw₁ = relative Häufigkeit der einfach verwendeten Fachwörter.

Kategorie	Testvoraussetzung	Unterschiedsprüfung und Effektgröße
K	$W = 0.97, p = 0.90$ $F(1, 6) = 0, p = 1$	$t(6) = 1.44, p = 0.20$ d = 0.95
LIX	$W = 0.91, p = 0.36$ $F(1, 6) = 0.62, p = 0.46$	$t(6) = 2.45, p = 0.05$ d = 1.32
fw	$W = 0.83, p = 0.07$ $F(1, 6) = 0.14, p = 0.73$	$t(6) = -0.84, p = 0.43$ $d = -0.61$
fw ₁	$W = 0.91, p = 0.32$ $F(1, 6) = 1, p = 0.36$	$t(6) = -0.36, p = 0.73$ $d = -0.27$

5.3 Pilotierung

Pilotierungsteilstudie I

Die Pilotierungsergebnisse der Teilstudie I basieren auf einer Gelegenheitsstichprobe von 30 Probanden (Alter: $M = 17$ Jahre, $SD = 0.8$; $\text{♀} = 53\%$, $n_{\text{♀}} = 16$) zweier städtischer, allgemeinbildender Gymnasien aus einem Chemie Leistungskurs der Jahrgangsstufe elf und einem Chemie Grundkurs der Jahrgangsstufe zwölf.

Ergebnisse der Itemanalyse

Die deskriptiven Verteilungen der Itemanalyse (*Teilstudie I*) unabhängig vom Testzeitpunkt sind exemplarisch anhand von drei Konstrukten grafisch dargestellt. Abbildung 22 zeigt die relative Häufigkeitsverteilung der vierstufigen Likert-Skalen sortiert nach einseitiger Antworttendenz. Beispielsweise wählten nur zwei Prozent der Probanden die Antwortmöglichkeit eins oder zwei beim Item KOOP_F1, während zum Beispiel 39 Prozent die Antwortmöglichkeit drei oder vier beim Item FIC_A7 ankreuzten.

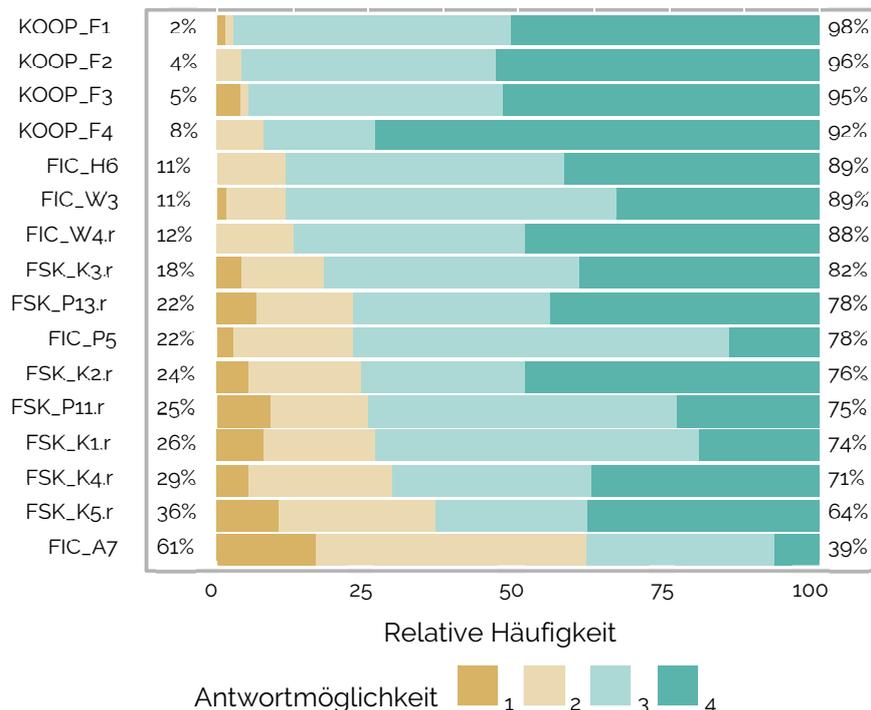


Abbildung 22: Häufigkeitsverteilungen der vierstufigen Likert-Skalen zu den Konstrukten KOOP = „Einstellung zum kooperativen Arbeiten“, FIC = „Chemiebezogenes Fachinteresse“ und FSK = „Chemiebezogenes Fähigkeitsselbstkonzept“. Die relativen Häufigkeitsangaben beziehen sich links auf die erste und zweite Antwortmöglichkeit und rechts auf die dritte und vierte Antwortmöglichkeit.

Die Boxplot Grafiken in Abbildung 23 zum Verteilungsbereich derselben Items sind nach den zugehörigen Konstrukten sortiert. Die farbig markierte Box umfasst 50 Prozent der Werte und ist durch die Quartile begrenzt, wobei der schwarze Strich den Median anzeigt (Döring & Bortz, 2016). Die gestrichelte Linie des Whiskers entspricht dem 1,5-fachen Interquartilsabstand (ebd.). Alle Werte außerhalb werden als Ausreißer bezeichnet (ebd.). Die blau gefärbten KOOP-Items deuten anhand der Lage des Medians Deckeneffekte an. Das Item FIC_P5 zum Konstrukt „Chemiebezogenes Fachwissen“ in Orange weist keine Box auf, da mehr als die Hälfte der Werte auf die Antwortmöglichkeit drei fallen. Im Idealfall umfasst der Wertebereich das gesamte Dispersionsmaß ohne Ausreißer (Bühner 2011), vergleichbar mit dem Box-Whisker Diagramm zu Item FSK_K1.r in Gelb.

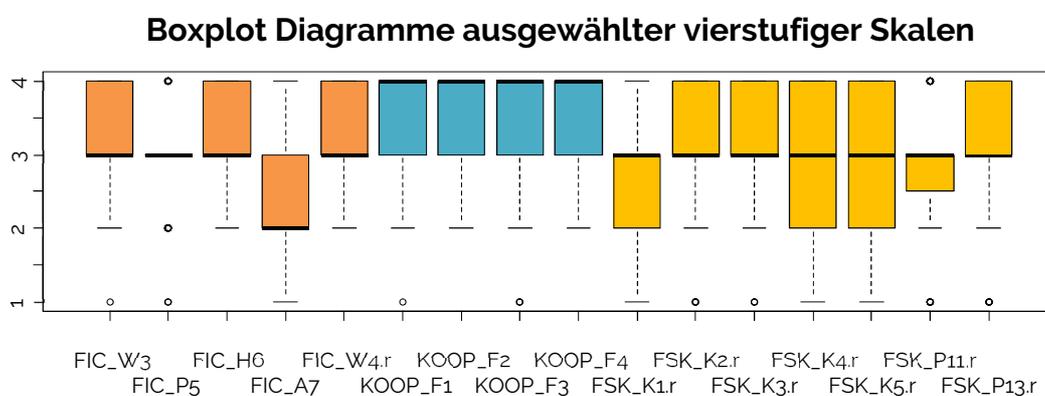


Abbildung 23: Boxplot Diagramme der Items zu den Konstrukten „Chemiebezogenes Fachinteresse“ in Orange, „Einstellung zum kooperativen Arbeiten“ in Blau und „Chemiebezogenes Fähigkeitsselfkonzept“ in Gelb.

Die Kennwerte der Itemanalyse über alle Testzeitpunkte sind in Tabelle 16 aufgelistet. Minimum und Maximum zeigen an, dass bei jeder Skala der gesamte Wertebereich ausgeschöpft wurde. Ausgewählte Items der Skala zur Naturverbundenheit, sozialen Erwünschtheit und zum allgemeinen Umweltverhalten weisen eine gravierende Verletzung der Normalverteilung anhand einer Schiefe von größer als zwei und einem Exzess von größer als sieben auf. Der Schwierigkeitsindex liegt bei allen KOOP- bei 76,5 Prozent der SES- und bei 75 Prozent der AKO-Items (vgl. auch Dropout) über der Empfehlung von 80 Prozent Lösungswahrscheinlichkeit (Tepner & Dollny, 2014), wodurch Deckeneffekte angezeigt werden. Die Itemschwierigkeit beim Konstrukt Umweltwissen mit Inangriffnahme- und Zufallskorrektur liegt im nicht definierten negativen Bereich, deren Ratewahrscheinlichkeit durch die Vielzahl an Falschantworten überschätzt wird (Bühner, 2011). Daher wird die absolute und

relative Lösungshäufigkeit als Itemschwierigkeit herangezogen. Von 21 auswertbaren Fragen wurden zwischen sieben und 15 richtig beantwortet, was gemittelt 10.47 korrekten Lösungen entspricht. Der Bereich deckt Items mit 20 bis 80 Prozent – im Mittel 0.50 – richtiger Lösungshäufigkeit ab. Zudem unterschreitet die korrigierte Trennschärfe 14 UW-Items die Vorgabe von 0.3 (Field et al., 2012). Die Reliabilität der Skala zum Umweltwissen liegt ebenfalls in einem ungenügenden Bereich (Lienert & Raatz, 1998). Die mangelnde Reliabilität der GEB-Subskalen ermöglicht keine separate Auswertung, jedoch ist die Reliabilität insgesamt als gut zu bewerten. Die Häufung der unzureichenden Kennwerte führt dazu, dass die KOOP-, SES-, UW- und AKO-Skala von der Auswertung der Pilotierung ausgeschlossen und in der Hauptstudie nicht mehr eingesetzt wurde.

Die begleitende Skala zum aktuellen Interesse beinhaltet ein Item mit Deckeneffekt. Vergleichbar mit der GEB-Skala ist aufgrund der Reliabilität die Differenzierung in Subskalen nicht ratsam, weil die emotionale Komponente des aktuellen Interesses durch den Dropout lediglich mit zwei Items abgeprüft wird.

Tabelle 16: Für die Konstrukte KOOP = Einstellung zum kooperativen Arbeiten, FSK = Chemiebezogenes Fähigkeitsselbstkonzept, FIC = Chemiebezogenes Fachinteresse, SIC = Chemiebezogenes Sachinteresse, SDC = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Wissenschaft Chemie, SDN = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Natur, NV = Naturverbundenheit, SES = Soziale Erwünschtheit, GEB = Allgemeines Umweltverhalten, UW = Umweltwissen, AI = Aktuelles Interesse und AKO = Aktuelles Empfinden des kooperativen Arbeitens sind die Itemkennwerte MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Min = Minimum, Max = Maximum, Schiefe, Exzess, d = Schwierigkeitsindex nach Dahl, r_{it} = Korrigierte Trennschärfe, α = Reliabilität nach Cronbach und der Dropout der Items auf Grundlage der Itemanalyse angegeben. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Konstrukt	MW SD	Min Max	Schiefe Exzess < 2 / < 7	d 20 > d < 80	r_{it} > 0.30	α > 0.5	Drop- out
KOOP	3.44 – 3.66 0.57 – 0.71	1 – 4	-1.59 – -0.60 -0.69 – 2.73	85.94 – 91.56	0.65	0.65	100 % 4/4
FSK	2.86 – 3.20 0.81 – 1.03	1 – 4	-0.78 – -0.40 -1.14 – -0.77	71.56 – 80.00	0.65 – 0.83	0.89	14,3 % 1/7
FIC	2.30 – 3.21 0.67 – 0.83	1 – 4	-0.51 – 0.18 -0.57 – 0.41	57.50 – 80.31	0.68 – 0.82	0.77	20,0 % 1/5
SIC	2.22 – 3.22 0.64 – 0.94	1 – 4	-0.84 – 0.61 -0.95 – 0.19	55.39 – 80.39	0.33 – 0.68	0.86 0.68 – 0.76	25,0 % 10/40
SDC	2.80 – 3.83 0.94 – 1.22	1 – 6	-0.64 – 0.08 -0.50 – 0.07	46.62 – 63.75	0.53 – 0.73	0.77	50,0 % 6/12
SDN	4.04 – 4.73 1.09 – 1.35	1 – 6	-0.96 – -0.02 -0.96 – 0.74	67.31 – 78.90	0.49 – 0.67	0.73	50,0 % 6/12
NV	1.10 – 1.72 0.16 – 0.50	1 – 2 1 – 5	-0.35 – 2.57 -2.02 – 4.66	29.75 – 77.85	0.34 – 0.64	0.79	52,5 % 21/40
SES	1.40 – 1.93 0.26 – 0.51	1 – 2	-3.23 – 0.39 -2.07 – 8.72	70.00 – 96.55	0.45 – 0.66	0.77	76,5 % 13/17
GEB	1.10 – 1.75 0.20 – 0.40	1 – 2 1 – 5	-0.91 – 2.40 -1.52 – 5.80	27.69 – 80.00	0.39 – 0.85	0.85 0.01 – 0.74	40,0 % 16/40
UW	Richtig absolut: 7 – 15 10.47 / 2.11	Richtig relativ: 20 % – 80 % 0.50 / 0.04		-46.67 –6 0.00	-0.05 – 0.53	0.01	55,3 % 26/47
AI	1.77 – 3.37 0.64 – 0.83	1 – 4	-0.89 – 0.71 -0.63 – 0.84	44.36 – 8 4.28	0.50 – 0.68	0.84 0.43 – 0.76	47,4 % 9/19
AKO	3.02 – 3.62 0.68 – 0.82	1 – 4	-1.95 – -0.52 -0.25 – 3.65	75.38 – 90.60	0.74 – 0.80	0.87	75 % 3/4

Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse

Die begleitende Skala zum Konstrukt „Aktuelles Interesse“ wurde aus bestehenden Skalen zusammengesetzt und schrittweise verbessert. Zunächst identifizierte die Itemanalyse drei Items mit Deckeneffekten, die gelöscht wurden. Zwei weitere Items wurden aufgrund mangelnder inhaltlicher Passung gestrichen beispielsweise, weil die Lerneinheiten nicht zuhause durchführbar sind oder keine Geräte aus der Forschung verwendet wurden (vgl. Tabelle 4 AI_M_F20 und AI_M_23). Abschließend wurde die Modellgüte für die konfirmatorische Faktorenanalyse optimiert, sodass anhand von Modifikationsindices vier Items ausgeschlossen wurden (Döring & Bortz, 2016). Die Messmodelle wurden nach zwei Möglichkeiten aufgebaut – entweder mit Differenzierung in die Subskalen links oder ohne Einbezug rechts:

$$\begin{array}{l|l}
 'AI \sim W + M + E & 'AI \sim a*W1.p + a*W2.p + a*M1.p + a*E1.p' \\
 W \sim a*W1.p + a*W2.p & \\
 M \sim M1.p & \\
 E \sim E1.p' &
 \end{array}$$

Das aktuelle Interesse (AI) setzt sich aus den Subskalen wertbezogen (W), emotional (M) und epistemisch (E) zusammen. Jede Subskala besteht aus ein bis zwei Itempäckchen mit zwei bis drei Items. Als Bedingung des essentiell τ -äquivalenten Messmodells wurde mit der Konstante a festgelegt, dass identische Ladungen vorliegen. Laut den Grenzwerten zu Schiefe und Exzess aus Tabelle 16 ist die Voraussetzung der Normalverteilung gegeben. Das Messmodell gilt als identifiziert (Eid et al., 2017), da die notwendige empirische Information durch die Stichprobe von $n = 133$ in einem größeren Verhältnis als fünf zu eins zu den zwölf oder neun zu schätzenden Modellparameter liegt. Die Fitindices der zwei Möglichkeiten mit robustem Maximum-Likelihood-Verfahren und FIML-Schätzer für fehlende Werte sind in Tabelle 17 aufgelistet.

Tabelle 17: Vergleich der zwei Messmodelle anhand des χ^2 -Tests mit zugehörigen p -Werten im Verhältnis des χ^2 -Werts mit der dreifachen Anzahl der Freiheitsgrade df . Faustregel der Identifizierbarkeit ist, dass weniger Modellparameter als ein Fünftel der Stichprobe frei geschätzt werden. CFI = Comparative Fit Index, TLI = Tucker-Lewis Index, RSMA = Root Mean Square Error of Approximation, SRMR = Standardized Root Mean Residual, AIC = Akaike information criteria und BIC = Bayesian information criteria. Alle Werte wurden mit dem robusten MLR- und FIML-Schätzer berechnet.

Messmodell	Frei geschätzte Modellparameter	χ^2 -Test $p > 0.05$ $\chi^2 < 3 \cdot df$	CFI TLI > 0.95	RSMA < 0.08 $p > 0.05$	SRMR < 0.10	AIC BIC
mit Subskalen	12	0.25	1.00	0.05	0.02	741.27
	< 0.2*(n = 133)	2.79 < 3*2	0.99	0.35		775.95
Ohne Subskalen	9	0.11	0.98	0.08	0.07	741.97
	< 0.2*(n = 133)	9.00 < 3*5	0.97	0.24		767.98

Beide Modelle weisen zufriedenstellende Fitindices auf. Die geringen Unterschiede in entgegengesetzter Richtung von AIC und BIC ermöglichen keine eindeutige Bewertung der zwei Modellversionen. Zwar zeigt die Modellierung mit Subskalen bessere Werte bei CFI, TLI, RSMA und SRMR, jedoch wird dieses Modell aufgrund der zunehmenden Komplexität und geringen Itemanzahl von zwei bis fünf Items pro Subskala verworfen.

Ergebnisse der personenbezogenen Analyse

Die personenbezogene Analyse ergab bei zwei Personen erhöhte fehlende Werte, da eine Seite des Fragebogens nicht ausgefüllt wurde. Trotzdem wurden die Probanden in die Auswertung mit einbezogen, sodass im gesamten Datensatz keine Person listenweise ausgeschlossen wurde (Graham, 2012). Bei den Konstrukten zum chemiebezogenen Fähigkeitsselbstkonzept und Fachinteresse wurden bei zwei beziehungsweise sieben Personen die Antworten als fehlender Wert betrachtet, da als Kreuzungsmuster bei allen Items die identische Antwortmöglichkeit gewählt wurde (Döring & Bortz, 2016). Zwischen null und vier Probanden pro Konstrukt wurden mit Ausreißerwerten identifiziert, die ebenfalls gelöscht wurden (Field et al., 2012). Durch mehr als ein Fehlertermin bei der Intervention und einem Fehlertermin bei den Testzeitpunkten wurden insgesamt zwölf Probanden (40 % Dropout) listenweise von der Auswertung ausgeschlossen.

Ergebnisse der Unterschieds- und Zusammenhangsprüfungen

Die gebildeten Skalenmittelwerte stellen die Grundlage für die einfaktorielle, messwiederholte Varianzanalyse dar, deren Ergebnisse exemplarisch an zwei Konstrukten veranschaulicht werden. Zunächst wurden die Testvoraussetzungen überprüft (Eid et al., 2017): Die Mittelwerte des tätigkeitsbezogenen Sachinteresses sind normalverteilt ($W = 0.98$, $p = 0.90$), deren Varianzen homogen ($F(2, 21) = 0.78$, $p = 0.47$) und Sphärizität liegt vor ($W = 0.88$, $p = 0.68$). Im Gegensatz dazu sind die Kennwerte des Inclusion of Nature in Self Items nicht normalverteilt ($W = 0.79$, $p < 0.001$), aber varianzhomogen ($F(2, 51) = 0.23$, $p = 0.79$) und Sphärizität ist gegeben ($W = 0.99$, $p = 0.92$). Die grafische Überprüfung der Normalverteilung mit Q-Q-Plots ist in Abbildung 24 vergleichend dargestellt und bestätigt die Ergebnisse des Shapiro-Tests.

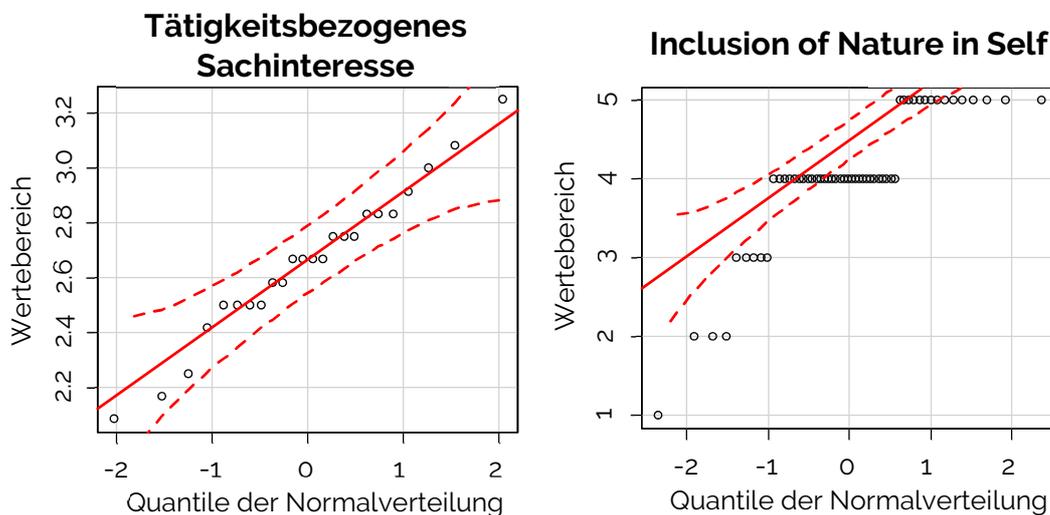


Abbildung 24: Q-Q-Plots zur grafischen Überprüfung der Normalverteilung. Die Datenpunkte liegen bei einer Abweichung der Normalverteilung deutlich außerhalb der rot gestrichelten Linie.

Im Anschluss werden die Unterschiedsprüfungen durchgeführt. Die einfaktorielle, messwiederholte Varianzanalyse des tätigkeitsbezogenen Sachinteresses zeigt in Abbildung 25 signifikante Unterschiede im Pre- zu Post- und Follow Up-Vergleich mit einem großen Effekt ($F(2, 14) = 3.82$, $p = 0.05$, $\eta^2 = 0.27$). Da die Normalverteilung zum Konstrukt Inclusion of Nature in Self verletzt wurde, wird die Friedman's Varianzanalyse durchgeführt. Hierbei ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten ($\chi^2(2) = 1.22$, $p = 0.54$, $r < 0.1$).

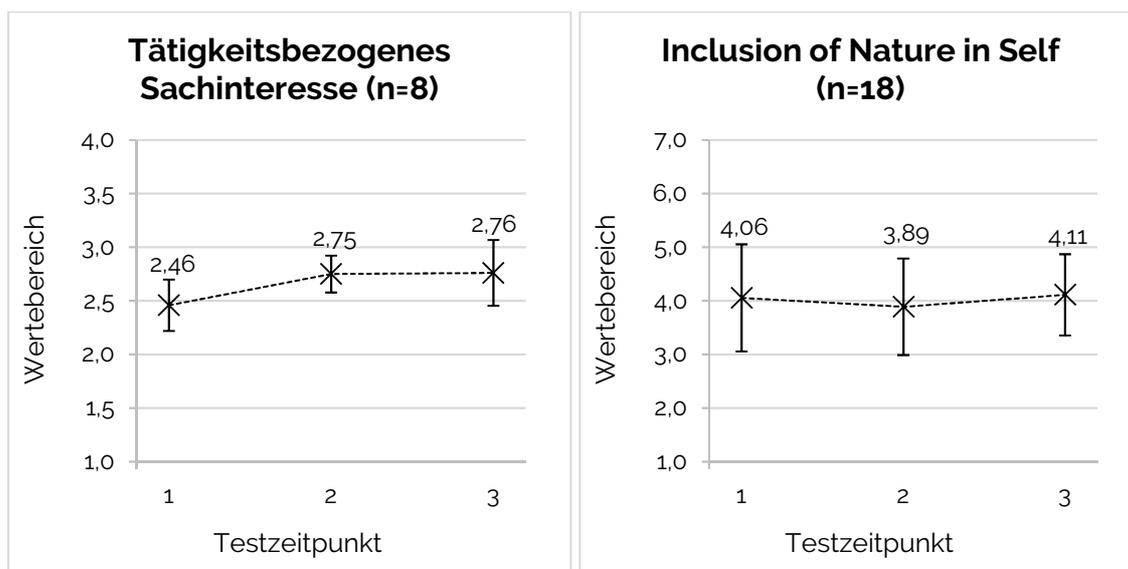


Abbildung 25: Das tätigkeitsbezogene Sachinteresse Chemie steigt über die Dauer der Intervention an und bleibt anschließend über drei Monate konstant. Der Kurvenverlauf zum Konstrukt Inclusion of Nature in Self weist keine Veränderung über die drei Testzeitpunkte auf. Die Datenpunkte entsprechen den Skalenmittelwerten mit zugehörigen Standardabweichungen.

Alle weiteren Ergebnisse sind in Tabelle 18 aufgeführt. Auffällig ist, dass auch bei ausbleibenden signifikanten Unterschieden beim chemiebezogenen Fähigkeitsselbstkonzept und Fachinteresse sowie beim inhaltsbezogenen Sachinteresse und der Einstellung zur Wissenschaft Chemie kleine Effekte aufgedeckt werden.

Tabelle 18: Für die Konstrukte FSK = Chemiebezogenes Fähigkeitsselbstkonzept, FIC = Chemiebezogenes Fachinteresse, SIC = Chemiebezogenes Sachinteresse mit den Subskalen I = Inhalt, K = Kontext und T = Tätigkeit, SDC = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Wissenschaft Chemie, SDN = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Natur, SDCUN = Differenz des semantischen Differenzials der Einstellung zur Chemie und Natur, NV = Naturverbundenheit, INS = Inclusion of Nature in Self, GEB = Allgemeines Umweltverhalten wurden die Voraussetzungen der Normalverteilung mit dem Shapiro-, der Varianzhomogenität mit dem Levene- und der Sphärizität mit dem Mauchly-Test überprüft, um anschließend die einfaktorielle, messwiederholte Varianzanalyse oder Friedman's Varianzanalyse durchzuführen. Die Effektgrößen η^2 und r wurden auf Grundlage der Post-hoc Tests FLSD = Fisher's Least Significant Difference und Crit. Diff. = kritische Differenz des paarweisen Mittelwertvergleichs mit Bonferroni-Korrektur berechnet. Besonderheiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert. Alle anderen Abweichungen der Normalverteilung wurden grafisch im Q-Q-Plot nicht bestätigt.

Konstrukt	Testvoraussetzung	Unterschiedsprüfung	Post-hoc Test mit Effektgröße
FSK	$W = 0.94, p = 0.05$ $F(2, 36) = 0.20, p = 0.82$ $W = 0.77, p = 0.24$	$F(2, 24) = 2.41, p = 0.11$	T1 – T2: FLSD = 0.20 $\eta^2 = 0.03$
FIC	$W = 0.93, p = 0.03$ $F(2, 33) = 0.91, p = 0.41$ $W = 0.75, p = 0.24$	$F(2, 22) = 2.51, p = 0.10$	T1 – T2: FLSD = 0.20 $\eta^2 = 0.03$
SIC	$W = 0.96, p = 0.34$ $F(2, 27) = 0.75, p = 0.48$ $W = 0.28, \mathbf{p} = \mathbf{0.006}$	$F(2, 18) = 0.56, p = 0.51$	$\eta^2 < 0.02$
SIC_I	$W = 0.94, p = 0.22$ $F(2, 18) = 9.51, \mathbf{p} = \mathbf{0.002}$ $W = 0.60, p = 0.28$	$\chi^2(2) = 0.72, p = 0.70$	T1 – T3: Crit. Diff. = 8.96 $r = -0.16$
SIC_K	$W = 0.96, p = 0.31$ $F(2, 30) = 0.19, p = 0.83$ $W = 0.82, p = 0.41$	$F(2, 20) = 0.14, p = 0.87$	$\eta^2 < 0.02$
SIC_T	$W = 0.98, p = 0.90$ $F(2, 21) = 0.78, p = 0.47$ $W = 0.88, p = 0.68$	$F(2, 14) = 3.82, \mathbf{p} = \mathbf{0.05}$	T1 – T2 & T3: FLSD = 0.34 $\eta^2 = \mathbf{0.27}$
SDC	$W = 0.98, p = 0.49$ $F(2, 42) = 0.05, p = 0.95$ $W = 0.97, p = 0.81$	$F(2, 28) = 0.98, p = 0.39$	T1 – T3: FLSD = 0.28 $\eta^2 = 0.03$
SDN	$W = 0.98, p = 0.40$ $F(2, 48) = 0.06, p = 0.94$ $W = 0.87, p = 0.36$	$F(2, 32) = 0.39, p = 0.68$	$\eta^2 < 0.02$
SDCUN	$W = 0.98, p = 0.46$ $F(2, 42) = 0.22, p = 0.81$ $W = 0.69, p = 0.09$	$F(2, 28) = 0.36, p = 0.70$	$\eta^2 < 0.02$
NV	$W = 0.98, p = 0.35$ $F(2, 51) = 2.10, p = 0.13$ $W = 0.88, p = 0.34$	$F(2, 34) = 0.08, p = 0.92$	$\eta^2 < 0.02$
INS	$W = 0.79, \mathbf{p} < \mathbf{0.001}$ $F(2, 51) = 0.23, p = 0.79$ $W = 0.99, p = 0.92$	$\chi^2(2) = 1.22, p = 0.54$	$r < 0.1$
GEB	$W = 0.94, p = 0.009$ $F(2, 51) = 0.43, p = 0.65$ $W = 0.98, p = 0.83$	$F(2, 34) = 1.04, p = 0.37$	$\eta^2 < 0.02$

Neben der messwiederholten Analyse wurde ebenfalls untersucht, in wie weit die erhobenen Variablen unabhängig von der Intervention untereinander zusammenhängen. Diese Gemeinsamkeiten der Konstrukte wurden als Korrelationsplot zum Testzeitpunkt T1 grafisch in Abbildung 26 dargestellt. Das Umweltwissen hängt mit dem Fachinteresse ($r = 0.68$) und Fähigkeitsselbstkonzept ($r = 0.44$) zusammen. Auffällig sind die geringen Korrelationen des Sachinteresses mit dem Fachinteresse ($r = 0.16$) und Fähigkeitsselbstkonzept ($r = 0.11$), dafür aber mittleren Korrelationen mit der Einstellung zur Wissenschaft Chemie ($r = 0.41$) und der Naturverbundenheit ($r = 0.48$). Das Fachinteresse korreliert hingegen hoch mit dem Fähigkeitsselbstkonzept ($r = 0.57$), aber auch mit der Einstellung zur Wissenschaft Chemie ($r = 0.49$). Diese Einstellung zur Wissenschaft Chemie hängt kaum, nicht oder sogar negativ mit

der Einstellung zur Natur ($r = 0.28$), der Naturverbundenheit ($r_{INS} = 0.08$ und $r_{NV} = -0.22$) und dem allgemeinen Umweltverhalten ($r = -0.41$) zusammen. Die Einstellung zur Natur hat ebenfalls nur geringe Gemeinsamkeiten mit der Naturverbundenheit ($r_{NV} = 0.25$ und $r_{INS} = -0.29$) sowie dem allgemeinen Umweltverhalten ($r = 0.16$). Auffällig ist auch die geringe Korrelation der zwei Skalen zur Naturverbundenheit ($r = 0.29$) und unterschiedlich hohe Korrelation zum allgemeinen Umweltverhalten ($r_{NV} = 0.84$ und $r_{INS} = 0.06$).

**Korrelationsplot aller Variablen
zum Testzeitpunkt T1**

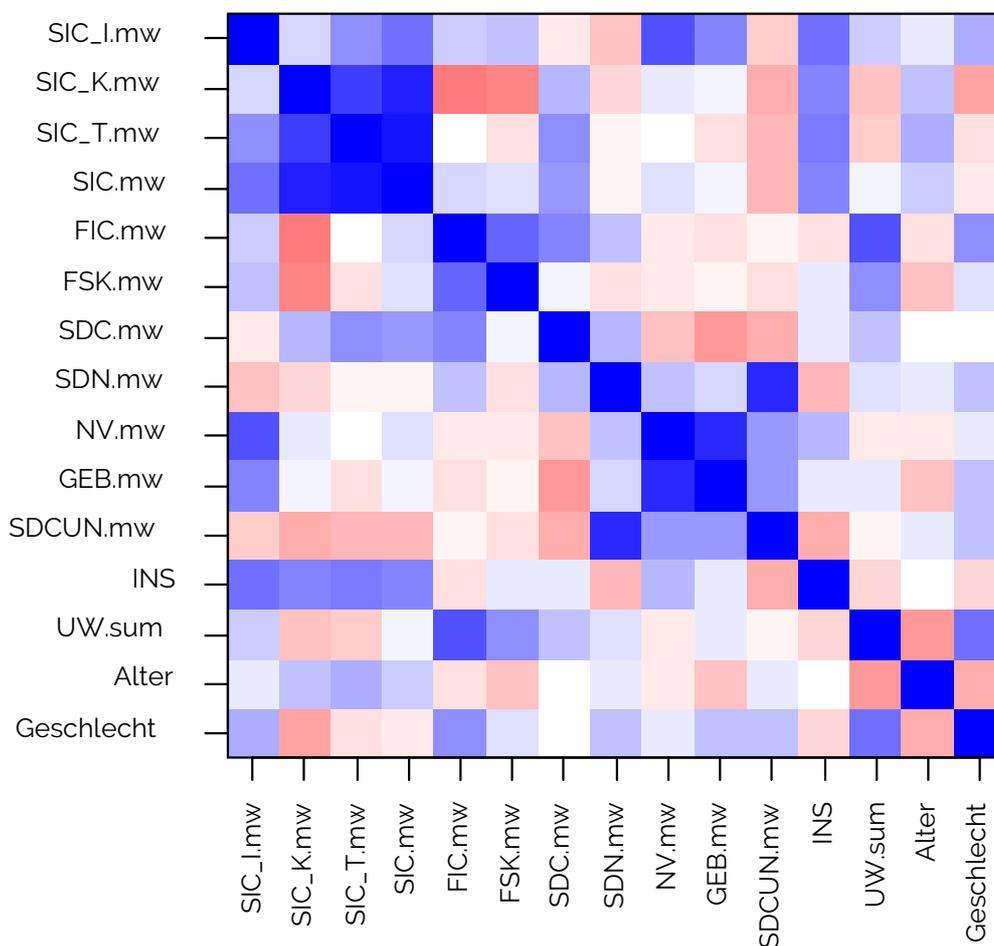


Abbildung 26: Die Korrelationswerte aller Variablen sind optisch in unterschiedlich intensiven Blau- und Rottönen dargestellt. Die dunkelblaue Diagonale entspricht einer Korrelation von Eins, während weiße Felder eine Korrelation von Null und rote Felder eine negative Korrelation anzeigen.

Ergebnisse der begleitenden Evaluation

Für die Auswertung der begleitenden Evaluation wurde zunächst überprüft, ob die Daten der zweigeteilten CHEMIE PUR Lerneinheit „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ zusammengelegt werden können. Wie in Tabelle 19 dargestellt, ergeben sich hierbei keine signifikanten Unterschiede des aktuellen Interesses ($W = 384$, $p = 0.55$, $r < 0.1$) oder der kognitiven Belastung ($W = 344.5$, $p = 0.75$, $r < 0.1$) zwischen den zwei Teilbereichen, sodass diese fortan als eine Einheit betrachtet werden.

Der Median des aktuellen Interesses liegt bei allen Einheiten im positiven Bereich über dem neutralen Skalenmittelpunkt von 2.5, sodass diese deskriptiv als interessant eingestuft werden können. Die Unterschiede im aktuellen Interesse zwischen den Einheiten ($\chi^2(3) = 4.55$, $p = 0.21$) oder über die fünf Testzeitpunkte hinweg ($\chi^2(4) = 5.30$, $p = 0.26$) sind nicht signifikant (vgl. Tabelle 19). Selbst der beobachtete größte Unterschied zwischen der Lerneinheit „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ und „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“ von 17.68 erreicht nicht den kritischen Unterschied von 23.86. Gleiches gilt für die Testzeitpunkte T2 zu T5, die einen beobachteten Unterschied von 14.0 zum kritischen Unterschied von 19.85 aufweisen. Hier tritt allerdings ein großer Effekt von $r = -0.60$ auf. Beide Ergebnisse sind grafisch in Abbildung 27 veranschaulicht.

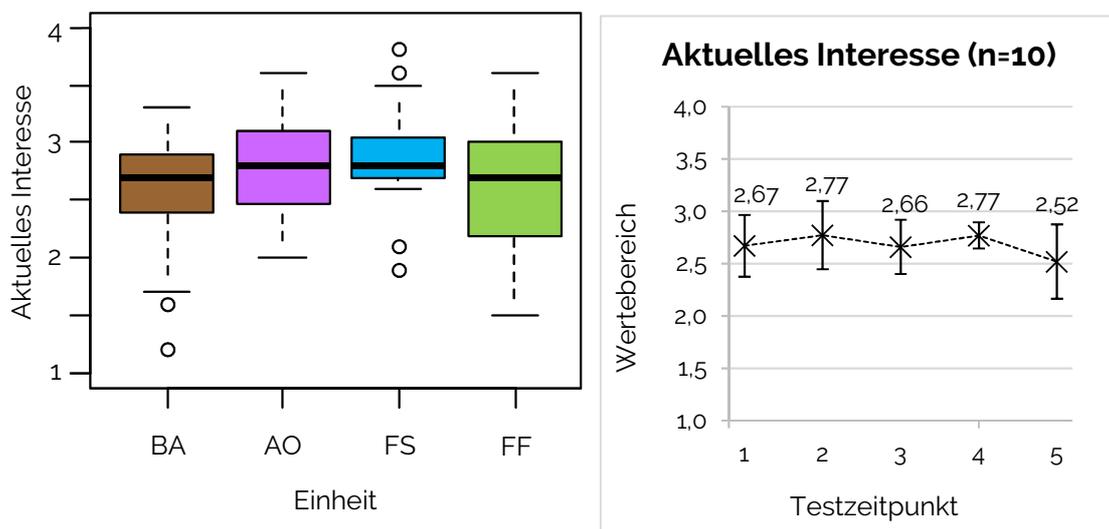


Abbildung 27: Das aktuelle Interesse zwischen den CHEMIE PUR Lerneinheiten BA = Bodenanalyse mit Organischen Säuren, AO = Ätherischen Ölen auf der Spur, FS = Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur, FF = Farbenpracht im Freiland und über die fünf Testzeitpunkte T1 – T5 ist konstant.

Der Median der kognitiven Belastung liegt bei allen Lerneinheiten deskriptiv auf dem Skalenmittelpunkt, sodass die Probanden die kognitive Belastung der Lerneinheiten als angemessen bewerten. Die kognitive Belastung unterscheidet sich signifikant zwischen den Lerneinheiten und ist post-hoc auf den Vergleich aus Abbildung 28 von BA in braun und AO in violett zurückzuführen ($\chi^2(3) = 10.95, p = 0.01$). Hier erreicht der beobachtete Unterschied zwischen der Lerneinheit „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ und „Ätherischen Ölen auf der Spur“ von 23.91 knapp den kritischen Unterschied von 23.96. Über die Testzeitpunkte hinweg gibt es allerdings keine signifikanten Unterschiede ($\chi^2(4) = 1.15, p = 0.89$). Der größte Unterschied von T2 zu T5 von 6.0 liegt weit unterhalb des kritischen Unterschieds von 21.74, wobei sich allerdings ein kleiner Effekt von $r = -0.14$ ausprägt. Beide Ergebnisse sind grafisch in Abbildung 28 veranschaulicht.

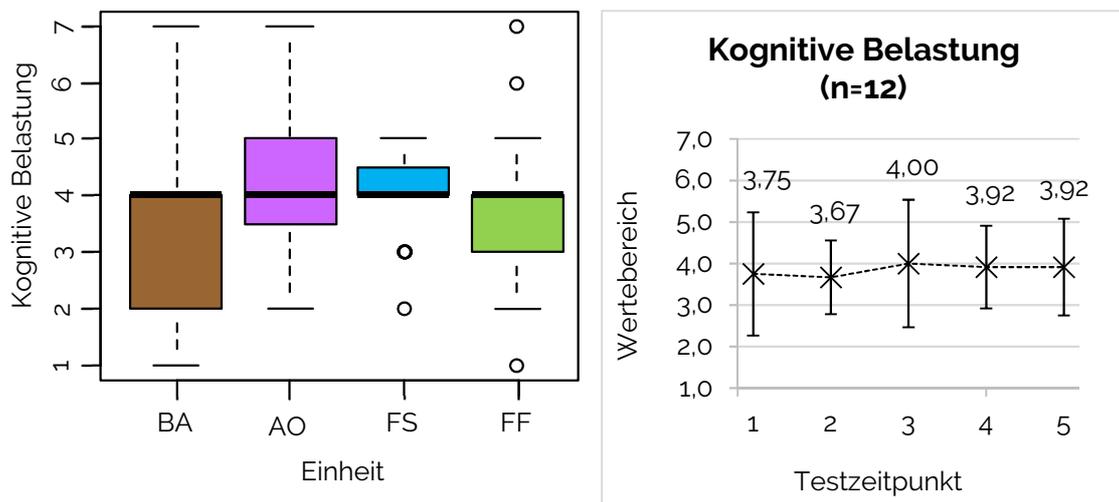


Abbildung 28: Die kognitive Belastung zwischen den CHEMIE PUR Lerneinheiten BA = Bodenanalyse mit Organischen Säuren und AO = Ätherischen Ölen auf der Spur unterscheidet sich, bleibt aber über die fünf Testzeitpunkte T1 – T5 ist konstant.

Alle Testwerte der begleitenden Datenerhebung mit ihren Voraussetzungen sind in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 19: Für die Konstrukte AI_Boden = aktuelles Interesse an den zwei Teilen der Lerneinheit „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ wurden die Voraussetzungen der Normalverteilung mit dem Shapiro-, der Varianzhomogenität mit dem Levene- und bei Messwiederholung der Sphärizität mit dem Mauchly-Test überprüft, um anschließend den Mann-Whitney Test, den Kruskal-Wallis Rangsummentest oder die Friedman's Varianzanalyse durchzuführen. Die Effektgrößen r wurden falls möglich auf Grundlage des Post-hoc Tests Crit. Diff. = kritische Differenz des paarweisen Mittelwertvergleichs mit Bonferroni-Korrektur berechnet. Besonderheiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Konstrukt	Testvoraussetzung	Unterschiedsprüfung	Post-hoc Test mit Effektgröße
AI_Boden	$W = 0.93$, $p = 0.004$ $F(1, 51) = 3.65$, $p = 0.06$	$W = 384$, $p = 0.55$	$r < 0.1$
CL_Boden	$W = 0.88$, $p < 0.001$ $F(1, 52) = 0.01$, $p = 0.94$	$W = 344.5$, $p = 0.75$	$r < 0.1$
AI_Einheit	$W = 0.97$, $p = 0.01$ $F(3, 128) = 1.08$, $p = 0.36$	$\chi^2(3) = 4.55$, $p = 0.21$	BA – FS: Crit. Diff. = 23.86
AI_TZP	$W = 0.96$, $p = 0.12$ $F(4, 45) = 2.35$, $p = 0.07$ $W = 0.65$, $p = 0.96$	$\chi^2(4) = 5.30$, $p = 0.26$	T2 – T5: Crit. Diff. = 19.85 $r = -0.60$
CL_Einheit	$W = 0.91$, $p < 0.001$ $F(3, 129) = 4.35$, $p = 0.006$	$\chi^2(3) = 10.95$, $p = 0.01$	BA – AO: Crit. Diff. = 23.96
CL_TZP	$W = 0.92$, $p < 0.001$ $F(4, 55) = 0.29$, $p = 0.88$ $W = 0.05$, $p = 0.001$	$\chi^2(4) = 1.15$, $p = 0.89$	T2 – T5: Crit. Diff. = 21.74 $r = -0.14$

Ergebnisse der Poweranalyse

Zur Abschätzung der Stichprobengröße für die Hauptstudie wurden Poweranalysen durchgeführt. Damit die empirisch bestimmten kleinen Effekte der Unterschiede bei einfaktoriellem, messwiederholten Varianzanalysen über drei Testzeitpunkte signifikant ausfallen, müsste bei einer Testpower von 0.8 die Stichprobe rund 160 Probanden umfassen. Große Effekte, wie beispielsweise die Unterschiede im tätigkeitsbezogenen Sachinteresse werden schon ab einer Stichprobengröße von zwölf Probanden signifikant. In der Hauptstudie werden allerdings Interaktionseffekte über drei Testzeitpunkte zwischen zwei Gruppen verglichen. Bei dieser gemischten, messwiederholten Varianzanalyse können kleine Effekte bei einer Testpower von 0.8 ab einer Stichprobengröße von 164 Probanden aufgedeckt werden.

Pilotierungsteilstudie II

Die Skalen der Einstellung zu Chemie und Natur und des chemiebezogenen Fachwissens wurden in einer separaten Studie zu Zwecken der Testkonstruktion eingesetzt (*Teilstudie II*). Die Stichprobe umfasste 39 Probanden (Alter: $M = 17$ Jahre, $SD = 0.7$; ♀ = 64 %, $n_{♀} = 25$) zweier städtischer, allgemeinbildender Gymnasien aus einem Chemie Leistungs- und Grundkurs der Jahrgangsstufe elf. Der erhöhte Frauenanteil begründet sich dadurch, dass der Grundkurs aus einem privaten Mädchengymnasium stammte.

Ergebnisse der Itemanalyse

Die Itemanalyse in Tabelle 20 identifizierte bei jeweils zwei Items der CUN-Skala Deckeneffekte und unzureichende Trennschärfen. Größere Optimierung war bei der FW-Skala notwendig, bei der drei Items Bodeneffekte sowie 17 Items zu geringe Itemkorrelationen aufwiesen und die Reliabilität nicht zufriedenstellend ausfiel.

Tabelle 20: Für die Konstrukte CUN = Einstellung zu Chemie und Natur und FW = Chemiebezogenes Fachwissen sind die Itemkennwerte MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Min = Minimum, Max = Maximum, Schiefe, Exzess, d = Schwierigkeitsindex nach Dahl, r_{it} = Korrigierte Trennschärfe, α = Reliabilität nach Cronbach und der Dropout der Items auf Grundlage der Itemanalyse angegeben. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Konstrukt	MW SD	Min Max	Schiefe Exzess < 2 / < 7	d 20 > d < 80	r_{it} > 0.30	α > 0.5	Drop- out
CUN	1.74 – 3.77 0.48 – 0.96	1 – 4	-1.88 – 0.80 -1.32 – 2.74	43.59 – 94.23	-0.01 – 0.67	0.73	0 % 0/15
FW	Richtig absolut: 3 – 15 8.56 / 2.70	Richtig relativ: 3 % – 79 % 0.35 / 0.04		-29.91 – 72.65	-0.14 – 0.57	0.31	37.5 % 15/40

Ergebnisse der explorativen Faktorenanalyse

Die neu entwickelte Skala der Einstellung zu Chemie und Natur wurde nach der Itemanalyse einer explorativen Faktorenanalyse unterzogen. Der Datensatz ist dazu geeignet, wenn die Werte des Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) Kriteriums größer als 0.5 sind (Field et al., 2012). Deshalb wurden sieben Items ausgeschlossen. Anschließend wurde die Sphärizität als Voraussetzung der Faktorenanalyse mit dem Bartlett-Test überprüft ($\chi^2(28) = 88.24, p < 0.001$). Die H_0 wurde abgelehnt, sodass die Werte der Items als nicht voneinander unabhängig gelten. Diese Gemeinsamkeiten der Items wurden als Korrelationsplot grafisch in Abbildung 29 dargestellt. Auffällig ist die geringe Skalenkorrelation

des Items CUN_A12.r ($r_{max} = 0.35$ mit CUN_A8) im Gegensatz zu den restlichen Items.

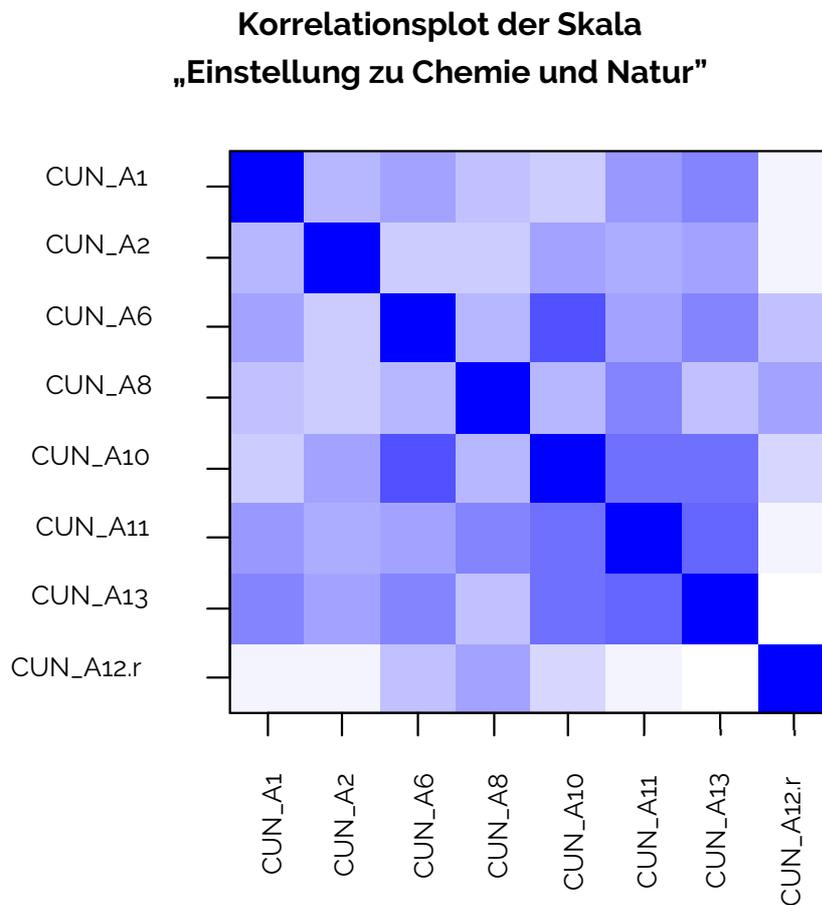


Abbildung 29: Die Korrelationswerte jedes Items mit sich selbst und den restlichen Items der Skala sind optisch in unterschiedlich intensiven Blautönen dargestellt. Die dunkelblaue Diagonale entspricht einer Korrelation von Eins, während weiße Felder eine Korrelation von Null anzeigen.

Die explorative Faktorenanalyse errechnete mittels Maximum-Likelihood-Verfahren und Oblimin-Rotation die über Faktorladungen verbundene Kommunalität der Items (Field et al., 2012). Nur das Item CUN_A12.r unterschritt die vorgegebene Faktorladung von kleiner als .30 (Luhmann, 2015). Das Screeplot in Abbildung 30 trägt die Eigenwerte gegen die Anzahl der Faktoren auf und zeigt anhand des typischen Ellenbogenkurvenverlaufs, dass die Skala eindimensional ist (Moosbrugger & Schermelleh-Engel, 2012).

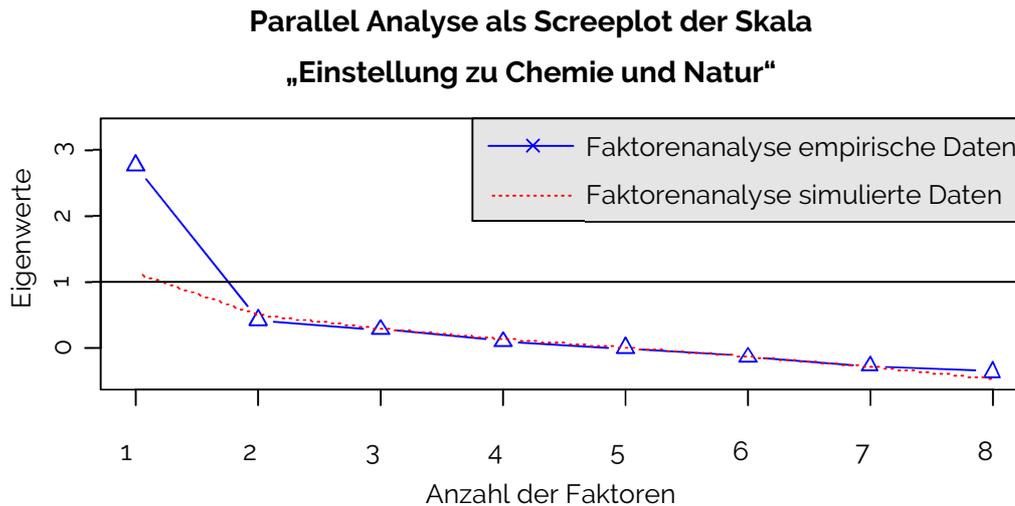


Abbildung 30: Das Screeplot der Parallel Analyse vergleicht die empirischen Daten in Blau mit dem simulierten Datenverlauf in Rot. Die rote Linie schneidet die blaue Linie zwischen dem ersten und zweiten Datenpunkt. Außerdem ist die Differenz der Eigenwerte zwischen dem ersten und zweiten Faktor höher als zwischen den übrigen Datenpunkten. Zusätzlich ist nur ein Faktor vor dem Knick des Ellenbogenkurvenverlaufs aufgetragen. Alle drei Charakteristika sprechen für eine eindimensionale Skala.

Ergebnisse der Skalenanpassung

Die Erkenntnisse der Item- und explorativen Faktorenanalyse zeigen Handlungsbedarf bei acht Items auf, deren Überarbeitung in Tabelle 21 veranschaulicht wird. Die Items CUN_A4.r und CUN_A9.r wurden abgeschwächt, sodass Deckeneffekte minimiert werden. Die drei Items CUN_A3.r, CUN_A7.r und CUN_A12.r mit konkreten Handlungsabfragen wurden allgemeiner formuliert und um das Item CUN_A16.r ergänzt. Die Formulierungen der zwei Items CUN_A5 und CUN_A15 wurden präzisiert und abschließend um das Item CUN_A17.r mit einer pauschalen Aussage erweitert. Die finale Skala ist als Bestandteil des Testhefts im Anhang V a) aufgeführt.

Tabelle 21: Die Formulierungen der Items vor der Überarbeitung sind durchgestrichen und danach in normaler Schrift. Die Skala zum Konstrukt „Einstellung zu Chemie und Natur“ wurde zusätzlich um zwei Items erweitert.

Itemnummer	Itemformulierung
3) CUN_A3.r	Wenn ich krank bin, nehme ich pflanzliche Medikamente ohne Chemie. Pflanzliche Medikamente funktionieren ohne Chemie.
4) CUN_A4.r	Chemie und Natur hat für mich nichts miteinander zu tun. Chemie und Natur hat für mich wenig miteinander zu tun.
5) CUN_A5	Ich ärgere mich über die gegensätzliche Darstellung der Werbung von Chemie und Natur. Die gegensätzliche Darstellung von Chemie und Natur der Werbung stört mich.
7) CUN_A7.r	Beim Einkauf von Lebensmitteln greife ich zu Bio-Artikeln, weil da weniger Chemie drin ist. In Bio-Lebensmitteln ist keine Chemie drin.
9) CUN_A9.r	Die Natur ist frei von Chemie. In der Natur ist kaum Chemie zu finden.
12) CUN_A12.r	Ich nutze lieber Naturkosmetikprodukte, weil hier keine Chemie verwendet wird. Bei Naturkosmetikprodukten wird keine Chemie verwendet.
15) CUN_A15r	Mir fällt auf, dass in der breiten Bevölkerung Chemie und Natur als Gegensatz wahrgenommen wird. Ich nehme Chemie und Natur als Gegensatz wahr.
16) CUN_A16.r	Ökologische Wasch- und Putzmittel wirken ohne Zusatz von Chemie.
17) CUN_A17.r	Natur statt Chemie!

Bei der Skala zum chemiebezogenen Fachwissen wurden schrittweise problematische Items umformuliert, Attraktoren oder Distraktoren verändert und nur falls nicht anders möglich gelöscht. Tabelle 22 stellt ein Item im ersten Schritt vor- und nach der Überarbeitung dar. Die hohe Unsicherheit von 97 Prozent sowie die geringe Wahl der korrekten Lösung von drei Prozent zeigen, dass die Itemschwierigkeit zu hoch lag. Die Fragestellung wurde angepasst, sodass eine Lösung mit chemischem Grundverständnis oder punktuelltem Fachwissen möglich war.

Tabelle 22: Das Item FW3 wurde vollständig umformuliert. Die korrekte Antwortmöglichkeit wurde zu drei Prozent ausgewählt. Der Inhalt wird nach der Überarbeitung durch Reaktionsgleichungen abgefragt, wovon Antwortmöglichkeit vier richtig ist.

3) FW3	Bei der Reaktion von Calciumchlorid mit Oxalsäure kann beobachtet werden, dass...	
3 %	...ein schwer löslicher Feststoff ausfällt.	
33 %	...eine charakteristische Färbung auftritt.	
51 %	...ein Gas freigesetzt wird.	
13 %	...eine farblose Lösung entsteht.	
Bei meiner Antwort bin ich mir...		
	...unsicher. 97 %	...sicher. 3 %

3) FW3	Calciumchlorid reagiert mit Oxalsäure nach folgender Reaktionsgleichung:	
<input type="radio"/>	$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + \text{CO}\uparrow + 2 \text{HCl}$	
<input type="radio"/>	$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2 \text{HCl} + \text{H}_2\uparrow$	
<input type="radio"/>	$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{Ca} + 2 \text{HCl} + 2 \text{CO}_2\uparrow$	
<input type="radio"/>	$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow + 2 \text{HCl}$	
Bei meiner Antwort bin ich mir...		
	...unsicher. <input type="radio"/>	...sicher. <input type="radio"/>

Im zweiten Schritt wurden fünf Items der FW-Skala ausgeschlossen, da auf die Fragestellung keine sinnvollen Distraktoren gefunden wurden. Tabelle 23 zeigt beispielsweise ein Item, bei dem eine Reaktionsgleichung einer der maximal vier Reaktionsarten in der allgemeinen Chemie zuzuordnen ist.

Tabelle 23: Das Item FW7 hat zwei Distraktoren, die nur in drei bis fünf Prozent der Fälle genutzt wurden. Die korrekte Antwort wurde zu 54 Prozent ausgewählt.

7) FW7	Welcher allgemeinen Reaktionsart kann folgende Reaktionsgleichung zugeordnet werden? $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$
38 %	Redoxreaktion.
54 %	Säure-Base-Reaktion.
5 %	Komplexbildungsreaktion.
3 %	Fällungsreaktion.
Bei meiner Antwort bin ich mir...	
	...unsicher. 67 % ...sicher. 33 %

Im weiteren Verlauf bis zur Hauptstudie wurden als letzter Schritt zehn weitere Items aufgrund fehlender inhaltlicher Passung entfernt. Entweder steht der abgefragte Inhalt nicht im Fokus der Intervention oder wird nur in der Kontroll- oder Experimentalgruppe erarbeitet. Das Item aus Tabelle 24 deutet anhand der ähnlichen Verteilung der Antwortmöglichkeiten und der hohen Unsicherheit von 85 Prozent das Raten der richtigen Lösung an. Der Begriff der Mesomerie wird beispielsweise nur am Rand der pH-Wert abhängigen Farbveränderung oder Fluoreszenzerscheinung erklärt.

Tabelle 24: Der Inhalt des Item FW32 wird zwar in Kontroll- und Experimentalgruppe aber nicht schwerpunktmäßig thematisiert. Die korrekte Antwortmöglichkeit zwei wurde zu 23 Prozent ausgewählt.

32) FW32	Mesomerie bedeutet, dass...
23 %	...die geometrische Struktur zweier Moleküle sich zueinander verhalten wie Bild und Spiegelbild.
23 %	...die Bindungsverhältnisse eines Moleküls nicht durch eine definierte Strukturformel dargestellt werden kann, sondern mehrere Grenzformeln benötigt werden.
38 %	...zwei Moleküle die gleiche empirische Formel (Summenformel) haben, aber unterschiedliche Strukturformeln aufweisen.
15 %	...die räumliche Anordnung eines nicht frei drehbaren Moleküls eindeutig definiert werden kann.
Bei meiner Antwort bin ich mir...	
	...unsicher. 85 % ...sicher. 15 %

5.4 Hauptstudie

Die Ergebnisse der Hauptstudie (Engl & Risch, 2018) basieren auf einer Gelegenheitsstichprobe von 191 Probanden (Alter: $M = 17$ Jahre, $SD = 0.8$; $\text{♀} = 49\%$, $n_{\text{♀}} = 90$) dreier städtischer, allgemeinbildender Gymnasien aus 13 Chemie Grund- und Leistungskursen der Jahrgangsstufe elf und zwölf.

Ergebnisse der Itemanalyse

Die deskriptiven Verteilungen der Itemanalyse unabhängig vom Testzeitpunkt sind für das Konstrukt „Einstellung zu Chemie und Natur“ grafisch dargestellt. Abbildung 31 zeigt die relative Häufigkeitsverteilung der vierstufigen Likert-Skala sortiert nach einseitiger Antworttendenz. Beispielsweise wählten nur vier Prozent der Probanden die Antwortmöglichkeit eins oder zwei beim Item CUN_A9.r, während 16 Prozent die Antwortmöglichkeit drei oder vier beim Item CUN_A13 ankreuzten.

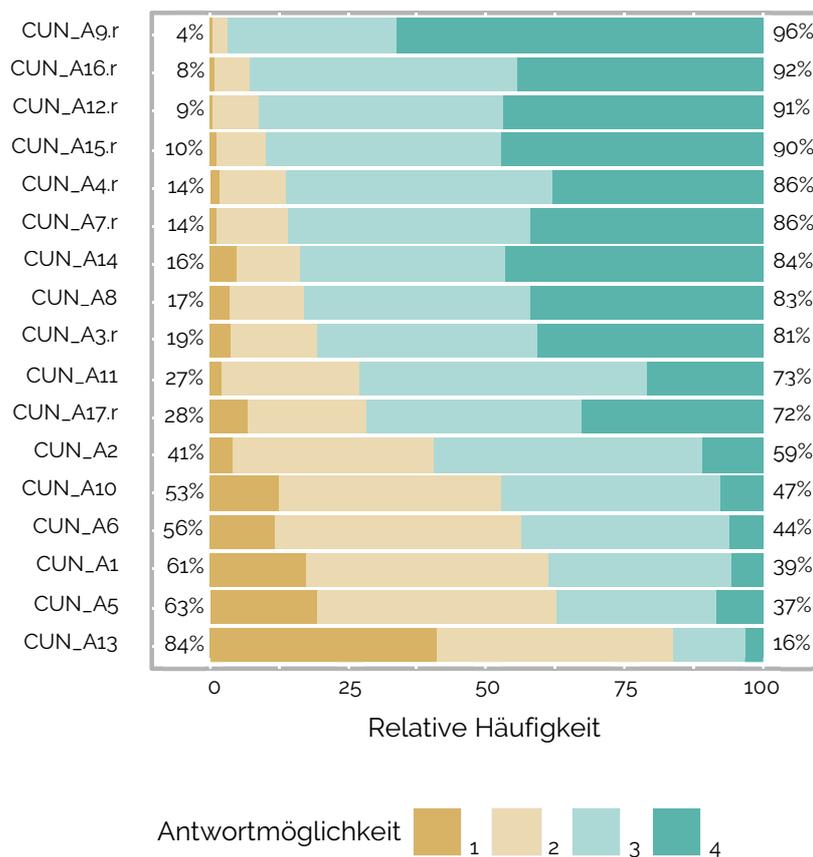


Abbildung 31: Häufigkeitsverteilungen der vierstufigen Likert-Skalen zum Konstrukt CUN = „Einstellung zu Chemie und Natur“. Die relativen Häufigkeitsangaben beziehen sich links auf die erste und zweite Antwortmöglichkeit und rechts auf die dritte und vierte Antwortmöglichkeit.

Die Boxplot Grafiken in Abbildung 32 stellen den Verteilungsbereich derselben Items dar. Das Item CUN_A9.r deutet anhand der Lage des Medians einen Deckeneffekt an. Im Idealfall umfasst der Wertebereich das gesamte Dispersionsmaß ohne Ausreißer (Bühner 2011), beispielsweise vergleichbar mit dem Box-Whisker Diagramm zu Item CUN_A1.

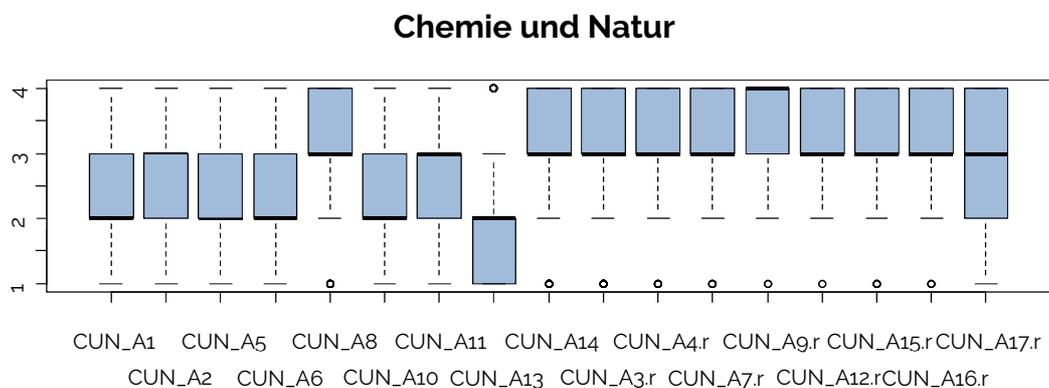


Abbildung 32: Boxplot Diagramme der Items zum Konstrukt CUN = „Einstellung zu Chemie und Natur“.

Die Kennwerte der Itemanalyse über alle Testzeitpunkte sind in Tabelle 25 aufgelistet. Minimum und Maximum zeigen an, dass bei jeder Skala der gesamte Wertebereich ausgeschöpft wurde. Kein Item verletzt die Normalverteilung gravierend anhand einer Schiefe von größer als zwei und einem Exzess von größer als sieben. Der Schwierigkeitsindex liegt bei nahezu allen Items im Bereich der Empfehlung von 20 bis 80 Prozent Lösungswahrscheinlichkeit (Tepner & Dollny, 2014), sodass nur bei einem Item des semantischen Differenzials der Einstellung zur Natur ein minimaler Deckeneffekt angezeigt wird. Beim Konstrukt Fachwissen wird allein der Post-Test herangezogen, da erst nach der Intervention die lernzielbezogenen Items vollständig möglich zu lösen sind. Neben der Itemschwierigkeit mit Inangriffnahme- und Zufallskorrektur wird zusätzlich die absolute und relative Lösungshäufigkeit herangezogen. Von elf auswertbaren Fragen werden zwischen ein und elf richtig beantwortet, was gemittelt 6.74 korrekten Lösungen entspricht. Der Bereich deckt Items mit 48 bis 79 Prozent – im Mittel 0.62 – richtiger Lösungshäufigkeit ab. Auch die korrigierte Trennschärfe entspricht bei allen Items der Vorgabe von größer als 0.3 (Field et al., 2012). Die Reliabilität aller Skalen weist akzeptable Werte für Gruppenvergleiche auf (Lienert & Raatz, 1998).

Tabelle 25: Für die Konstrukte FSK = Chemiebezogenes Fähigkeitsselbstkonzept, FIC = Chemiebezogenes Fachinteresse, SIC = Chemiebezogenes Sachinteresse, SDC = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Wissenschaft Chemie, SDN = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Natur, CUN = Einstellung zu Chemie und Natur, NV = Naturverbundenheit, FW = Fachwissen im Posttest, AI = Aktuelles Interesse und CL = Kognitive Belastung sind die Itemkennwerte MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Min = Minimum, Max = Maximum, Schiefe, Exzess, d = Schwierigkeitsindex nach Dahl, r_{it} = Korrigierte Trennschärfe, α = Reliabilität nach Cronbach und der Dropout der Items auf Grundlage der Itemanalyse angegeben. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Konstrukt	MW SD	Min Max	Schiefe Exzess < 2 / < 7	d 20 > d < 80	r_{it} > 0.30	α > 0.5	Drop-out
FSK	2.83 – 3.08 0.93 – 1.00	1 – 4	-0.71 – -0.37 -0.91 – -0.45	70.77 – 77.04	0.68 – 0.89	0.89	28,6 % 2/7
FIC	2.04 – 3.13 0.84 – 1.02	1 – 4	-0.71 – 0.50 -0.99 – -0.37	51.02 – 78.16	0.78 – 0.85	0.89	20,0 % 1/5
SIC	2.17 – 3.13 0.72 – 0.92	1 – 4	-0.53 – 0.21 -0.89 – 0.14	54.36 – 78.16	0.48 – 0.74	0.92 0.77 – 0.88	50,0 % 20/40
SDC	2.98 – 3.95 0.96 – 1.17	1 – 6	-0.43 – 0.28 -0.27 – 0.49	49.61 – 65.79	0.43 – 0.62	0.74	50,0 % 6/12
SDN	3.98 – 4.83 0.90 – 1.27	1 – 6	-0.51 – 0.00 -0.59 – -0.14	66.28 – 80.54	0.33 – 0.60	0.68	50,0 % 6/12
CUN	1.79 – 3.21 0.73 – 0.90	1 – 6	-0.83 – 0.79 -0.61 – 0.12	44.69 – 80.36	0.37 – 0.73	0.83	41,2 % 7/17
NV	1.17 – 1.56 0.25 – 0.50	1 – 2 1 – 5	-0.22 – 1.71 -2.00 – 0.93	48.70 – 77.21	0.32 – 0.79	0.80	62,5 % 25/40
FW Post	Richtig absolut: 1 – 11 6.74 / 2.45	Richtig relativ: 48 % – 79 % 0.62 / 0.04		30.64 – 72.09	0.35 – 0.58	0.63	54,2 % 13/24
AI	2.04 – 3.05 0.76 – 0.85	1 – 4	-0.62 – 0.48 -0.49 – 0.12	50.90 – 76.25	0.61 – 0.73	0.85	36,4 % 4/11
CL	3.44 – 3.57 1.17 – 1.25	1 – 7	-0.07 – 0.04 -0.07 – 0.52	49.20 – 51.07	0.50 – 0.51	0.54	0,0 % 0/2

Exemplarisch an der Skala zum Konstrukt „Chemiebezogenes Sachinteresse“ werden die Teilschritte berichtet, die zu den Ergebnissen in Tabelle 25 und Tabelle 27 führen. Neben den deskriptiven Hinweisen durch die Häufigkeitsverteilungen und Boxplot Diagramme identifizierte die Itemanalyse fünf Items mit Deckeneffekten und ein Item mit mangelhafter Trennschärfe, die gelöscht wurden. 14 weitere Items wurden aufgrund mangelnder inhaltlicher Passung gestrichen beispielsweise, weil die Lerneinheiten der Intervention weder den Inhalt Energetik thematisieren, noch den Kontext aus industriellen

Verfahren aufgreifen oder Tätigkeiten mit Modellen vorsehen (vgl. V Anhang a) SIC_I_B7, SIC_K_B8 und SIC_T_B38).

Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse

Im Anschluss wurden die bereinigten Skalen einer konfirmatorischen Faktorenanalyse unterzogen. Als Bedingung des essentiell τ -äquivalenten Messmodells wurde mit den Konstanten a bis c festgelegt, dass identische Ladungen vorliegen. Dieses Messmodell wurde im Fall des Konstrukts „Chemiebezogenes Sachinteresse“ nach zwei Möglichkeiten aufgebaut – entweder mit Differenzierung in die Subskalen links oder ohne Einbezug rechts:

$$\begin{array}{l|l}
 \text{'SIC} \sim \text{SIC_I} + \text{SIC_K} + \text{SIC_T} & \text{'AI} \sim a \cdot \text{SIC_I1.p} + a \cdot \text{SIC_I2.p} + \\
 \text{SIC_I} \sim a \cdot \text{SIC_I1.p} + a \cdot \text{SIC_I2.p} & a \cdot \text{SIC_K1.p} + a \cdot \text{SIC_K2.p} + \\
 \text{SIC_K} \sim b \cdot \text{SIC_K1.p} + b \cdot \text{SIC_K2.p} & a \cdot \text{SIC_T1.p} + a \cdot \text{SIC_T2.p}' \\
 \text{SIC_T} \sim c \cdot \text{SIC_T1.p} + c \cdot \text{SIC_T2.p} & \\
 \text{SIC_T} \sim o \cdot \text{SIC_T}' &
 \end{array}$$

Das Sachinteresse (SIC) setzt sich aus den Subskalen Inhalt (I), Kontext (K) und Tätigkeit (T) zusammen (Brandt, 2005; Busker, 2010). Jede Subskala besteht aus zwei Itempäckchen mit zwei bis vier Items. Da die Varianzen des tätigkeitsbezogenen Sachinteresses negativ geschätzt wurden, sind diese im linken Fall null gesetzt worden. Laut den Grenzwerten zu Schiefe und Exzess aus Tabelle 25 ist die Voraussetzung der Normalverteilung gegeben. Das Messmodell gilt als identifiziert (Eid et al., 2017), da die notwendige empirische Information durch die Stichprobe von $n = 516$ in einem größeren Verhältnis als fünf zu eins zu den 17 oder 13 zu schätzenden Modellparameter liegt. Die Fit-indices der zwei Möglichkeiten mit robustem Maximum-Likelihood-Verfahren und FIML-Schätzer für fehlende Werte sind in Tabelle 26 aufgelistet.

Tabelle 26: Vergleich der zwei Messmodelle anhand des χ^2 -Tests mit zugehörigen p -Werten im Verhältnis des χ^2 -Werts mit der dreifachen Anzahl der Freiheitsgrade df . Faustregel der Identifizierbarkeit ist, dass weniger Modellparameter als ein Fünftel der Stichprobe frei geschätzt werden. CFI = Comparative Fit Index, TLI = Tucker-Lewis Index, RSMA = Root Mean Square Error of Approximation, SRMR = Standardized Root Mean Residual, AIC = Akaike information criteria und BIC = Bayesian information criteria, es. τ = essentiell τ -äquivalenten Messmodell, τ ko. = τ -kongenerische Messmodell. Alle Werte wurden mit dem robusten MLR- und FIML-Schätzer berechnet. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Messmodell	Frei geschätzte Modellparameter	χ^2 -Test	CFI	RSMA	SRMR	AIC
		$p > 0.05$ $\chi^2 < 3 \cdot df$	TLI > 0.95	< 0.08 $p > 0.05$	< 0.10	BIC
es. τ mit Subskalen	17 < 0.2*(n = 516)	< 0.001 45.83 > 3*10	0.98 0.97	0.09 0.01	0.08	4551.06 4623.24
es. τ ohne Subskalen	13 < 0.2*(n = 516)	< 0.001 109.1 > 3*14	0.94 0.94	0.12 < 0.001	0.13	4608.76 4663.96
τ ko. mit Subskalen	20 < 0.2*(n = 516)	0.38 7.50 < 3*7	1.00 1.00	0.01 0.93	0.01	4517.72 4602.65
τ ko. ohne Subskalen	18 < 0.2*(n = 516)	0.01 29.58 < 3*9	0.99 0.98	0.07 0.12	0.02	4538.81 4615.24

Das essentiell τ -äquivalente Messmodell weist in beiden Fällen unzureichende Fitindices auf, sodass dieses verworfen werden muss. Das τ -kongenerische Messmodell mit 20 oder 18 zu schätzenden Modellparametern ohne die Konstanten a bis c zeigt jedoch passende Fitindices, sodass die Reliabilität nach Cronbach als untere Schranke angesehen werden muss (Scher-melleh-Engel & Werner, 2012). Weiterhin sind geringere Werte von AIC und BIC bei der Modellierung mit Subskalen zu beobachten, sodass diese zu bevorzugen ist. Ein Überblick der Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalysen aller Konstrukte mit der Faustregel der Identifizierbarkeit und den Fitindices berechnet mit robustem Maximum-Likelihood-Verfahren und FIML-Schätzer für fehlende Werte sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Für die Konstrukte FSK = Chemiebezogenes Fähigkeitsselbstkonzept, FIC = Chemiebezogenes Fachinteresse, SIC = Chemiebezogenes Sachinteresse mit Subskalen, SDC = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Wissenschaft Chemie, SDN = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Natur, CUN = Einstellung zu Chemie und Natur, NV = Naturverbundenheit sind die frei geschätzten Modellparameter und Fitindices tabelliert. Faustregel der Identifizierbarkeit ist, dass weniger Modellparameter als ein Fünftel der Stichprobe frei geschätzt werden. χ^2 -Test mit zugehörigen p -Werten im Verhältnis des χ^2 -Werts mit der dreifachen Anzahl der Freiheitsgrade df , CFI = Comparative Fit Index, TLI = Tucker-Lewis Index, RSMA = Root Mean Square Error of Approximation, SRMR = Standardized Root Mean Residual, AIC = Akaike information criteria und BIC = Bayesian information criteria, es. τ = essentiell τ -äquivalenten Messmodell, τ ko. = τ -kongenerische Messmodell. Alle Werte wurden mit dem robusten MLR- und FIML-Schätzer berechnet. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Konstrukt	Frei geschätzte Modellparameter	χ^2 -Test $p > 0.05$ $\chi^2 < 3 \cdot df$	CFI TLI > 0.95	RSMA < 0.08 $p > 0.05$	SRMR < 0.10	AIC BIC
FSK (τ ko.)	15 < 0.2*(n = 516)	0.35 5.56 < 3*5	1.00 1.00	0.02 0.90	0.01	5660.81 574.50
FIC (τ ko.)	12 < 0.2*(n = 516)	0.02 8.27 > 3*2	0.99 0.98	0.09 0.13	0.01	4207.77 4258.72
SIC_I/K/T (τ ko.)	20 < 0.2*(n = 516)	0.38 7.50 < 3*7	1.00 1.00	0.01 0.93	0.01	4517.72 4602.65
SDC (τ ko.)	18 < 0.2*(n = 516)	< 0.001 49.02 > 3*9	0.90 0.83	0.11 < 0.001	0.05	8392.84 8469.24
SDN (τ ko.)	18 < 0.2*(n = 516)	0.46 8.71 < 3*9	1.00 1.00	0.00 0.98	0.02	8154.22 8230.62
CUN (τ ko.)	12 < 0.2*(n = 516)	0.03 7.19 > 3*2	0.99 0.98	0.07 0.20	0.02	3296.73 3347.69
NV (τ ko.)	15 < 0.2*(n = 516)	0.01 14.98 < 3*5	0.99 0.97	0.06 0.24	0.02	-461.68 -397.98
AI (es. τ)	15 < 0.2*(n=768)	< 0.001 69.99 > 3*20	0.96 0.96	0.06 0.19	0.05	11159.23 11228.89

Ergebnisse der personenbezogenen Analyse

Nach der Optimierung der Skalen wird die personenbezogene Analyse durchgeführt. Die Maxima an fehlenden Werten pro Proband betragen beim Pre-Test 17 Items, beim Post-Test 20 Items und beim Follow Up-Test 32 Items. Im letzten Fall wurde beispielsweise eine gesamte Skala nicht angekreuzt. Bei keinem der Probanden wurden aufgrund von fehlenden Werten Daten geändert oder ausgeschlossen. Unabhängig vom Testzeitpunkt wurden Kreuzungsmuster von Probanden durch eine Standardabweichung von kleiner als 0.2 innerhalb einer Skala identifiziert. Die einheitlichsten Antworten wurden bei den Konstrukten des chemiebezogenen Fähigkeitsselbstkonzepts (58 Probanden) und Fachinteresses (40 Probanden) sowie der zweistufigen Skala zur Naturverbundenheit (45 Probanden) aufgedeckt. Bei null bis 58 Probanden pro Konstrukt wurden diese Items als fehlende Werte gekennzeichnet (Döring & Bortz, 2016).

Abhängig von Testzeitpunkt und Gruppenzugehörigkeit (KG/EG) wurden zwischen null und 13 Probanden pro Konstrukt mit Ausreißerwerten identifiziert, die ebenfalls als NA gesetzt wurden (Field et al., 2012). Die meisten High- und Lowscorer waren bei den Konstrukten des aktuellen Interesses (15 Probanden), des chemiebezogenen Sachinteresses (8-13 Probanden) und der Einstellung zur Wissenschaft Chemie zu finden (9 Probanden).

Um eine Wirkung der Intervention zu ermöglichen, wurden 39 Probanden aus dem Datensatz ausgeklammert, die mehr als einen Fehltermin aufweisen. Falls nicht anders aufgeführt, beziehen sich alle nachfolgenden Ergebnisse auf 64 Probanden in der Kontroll- und 85 Probanden in der Experimentalgruppe ($n = 149$, Alter: $M = 17$ Jahre, $SD = 0.8$; $\varphi = 52\%$, $n_{\varphi} = 77$).

Ergebnisse der Analyse der Kovariablen

Für die anknüpfenden hypothesengeleitenden Unterschiedsprüfungen wird im ersten Schritt getestet, ob sich die Werte der Kovariablen zum Testzeitpunkt T1 zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe unterscheiden. Die deskriptiven Ausprägungen der Kovariablen und die Ergebnisse der Signifikanztests sind in Tabelle 28 dargestellt. Zwar ist die Testvoraussetzung der Normalverteilung für den t-Test bei allen Kovariablen verletzt, allerdings liegt die Gruppengröße über $n = 30$, sodass durch den zentralen Grenzwertsatz von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann. Bis auf das Fachwissen sind alle Kovariablen in Kontroll- und Experimentalgruppe gleich ausgeprägt. Die Probanden der Experimentalgruppe weisen mit einem kleinen Effekt ein signifikant höheres Fachwissen auf als die Probanden in der Kontrollgruppe.

Zur Parallelisierung wurden die zwei leistungsstärksten Kurse der Experimentalgruppe und der leistungsschwächste Kurs der Kontrollgruppe von der Analyse des Fachwissens ausgeschlossen. So konnten mit jeweils fünf Kursen in beiden Gruppen vergleichbare Ausgangsbedingungen geschaffen werden.

Tabelle 28: Unterschiede zwischen Experimental- und Kontrollgruppe der Kovariablen zum ersten Testzeitpunkt mit den Testvoraussetzungen zur Analyse und der zugehörigen Effektgröße. FSK = chemiebezogenes Fähigkeits-selbstkonzept, FW = chemiebezogenes Fachwissen, FWS = Sicherheit des chemiebezogenen Fachwissens, _sub = Subgruppe, EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, OR = Odds Ratio. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Kovariable	Deskriptive Statistik	Testvoraussetzung	Unterschiedsprüfung und Effektgröße
Geschlecht	EG: n♀ = 39, n♂ = 31 KG: n♀ = 45, n♂ = 32	-	$\chi^2(1) = 0.03, p = 0.87$ OR = 1.12
Alter	EG: MW = 17.00, SD = 0.81 KG: MW = 17.06, SD = 0.82	$W = 0.85, p < 0.001$ $F(1, 145) = 0.10, p = 0.75$	$t(145) = 0.47, p = 0.64$ $d = 0.09$
Note Biologie	EG: MW = 2.30, SD = 0.72 KG: MW = 2.23, SD = 0.80	$W = 0.93, p < 0.001$ $F(1, 140) = 0.69, p = 0.41$	$t(140) = -0.55, p = 0.59$ $d = -0.09$
Note Chemie	EG: MW = 2.49, SD = 0.90 KG: MW = 2.51, SD = 1.03	$W = 0.97, p = 0.002$ $F(1, 141) = 2.20, p = 0.14$	$t(141) = 0.15, p = 0.89$ $d = 0.03$
Note Geografie	EG: MW = 2.32, SD = 0.77 KG: MW = 2.19, SD = 0.71	$W = 0.94, p < 0.001$ $F(1, 136) = 0.41, p = 0.52$	$t(136) = -1.01, p = 0.32$ $d = -0.17$
Zeugnis-schnitt	EG: MW = 2.31, SD = 0.58 KG: MW = 2.28, SD = 0.60	$W = 0.98, p = 0.05$ $F(1, 129) = 0.57, p = 0.45$	$t(129) = -0.26, p = 0.79$ $d = -0.05$
FSK	EG: MW = 2.96, SD = 0.80 KG: MW = 3.03, SD = 0.82	$W = 0.93, p < 0.001$ $F(1, 127) = 0.15, p = 0.70$	$t(127) = 0.53, p = 0.59$ $d = 0.10$
FW	EG: MW = 5.74, SD = 1.82 KG: MW = 5.03, SD = 1.77	$W = 0.97, p = 0.002$ $F(1, 145) = 0.08, p = 0.78$	$t(145) = -2.36, p = 0.02$ $d = -0.39$
FWS	EG: MW = 2.58, SD = 1.70 KG: MW = 1.92, SD = 1.78	$W = 0.92, p < 0.001$ $F(1, 145) = 0.14, p = 0.71$	$t(145) = -2.28, p = 0.02$ $d = -0.37$
FW_sub	EG: MW = 5.49, SD = 1.84 KG: MW = 5.22, SD = 1.85	$W = 0.97, p = 0.009$ $F(1, 112) = 0.05, p = 0.82$	$t(112) = -0.80, p = 0.43$ $d = -0.15$
FWS_sub	EG: MW = 2.38, SD = 1.72 KG: MW = 2.16, SD = 1.71	$W = 0.92, p < 0.001$ $F(1, 112) = 0.01, p = 0.93$	$t(112) = -0.69, p = 0.49$ $d = -0.13$

Neben der Unterschiedsprüfung der Kovariablen wurde ebenfalls untersucht, in wie weit die erhobenen Variablen unabhängig von der Intervention untereinander zusammenhängen. Diese Gemeinsamkeiten der Konstrukte wurden

als Korrelationsplot zum Testzeitpunkt T1 grafisch in Abbildung 33 dargestellt. Hierbei wird besonderes Augenmerk auf die Korrelationen mit den Variablen „chemiebezogenes Fachwissen“ und „Sicherheit des chemiebezogenen Fachwissens“ gelegt, da diese sich zwischen Experimental- und Kontrollgruppe zum ersten Testzeitpunkt unterscheiden. Diese hängen mit einem kleinen bis mittleren Effekt mit den Kovariablen „Schulnoten“ ($r_{N_Geo-FW} = -0.21$ bis $r_{N_Che-FWS} = -0.44$) und „chemiebezogenes Fähigkeitsselbstkonzept“ ($r_{FSK-FW} = 0.26$ und $r_{FSK-FWS} = 0.35$) zusammen. Die Korrelation der Schulnoten mit dem Fachwissenstest stellt ein Indiz der konkurrenten Kriteriumsvalidität dar. Weiterhin liegt eine kleine bis mittlere Korrelation mit den abhängigen Variablen „chemiebezogenes Fachinteresse“ ($r_{FIC-FW} = 0.24$ und $r_{FIC-FWS} = 0.35$), „inhalts- und tätigkeitsbezogenes Sachinteresse“ ($r_{SIC_I-FW} = 0.29$ bis $r_{SIC_I-FWS} = 0.37$) sowie mit der „Einstellung zu Chemie und Natur“ ($r_{CUN-FW} = 0.20$ und $r_{CUN-FWS} = 0.32$) vor. Diese Korrelationen stellen ein Indiz der diskriminanten Konstruktvalidität dar.

Außerdem werden Skalen zu ähnlichen Konstrukten ebenfalls in Zusammenhang gesetzt. Die Skala zur „Einstellung zu Chemie und Natur“ korreliert mit einem mittleren Effekt mit dem einzelnen Item zur „Einstellung zu Chemie und Natur“ basierend auf überlappenden Kreisen ($r_{CUN-KCUN} = 0.45$). Diese Korrelation stellt ein Indiz der konvergenten Konstruktvalidität dar. Beide Skalen korrelieren hingegen nur mit einem kleinen Effekt mit dem semantischen Differenzial als „Differenz der Einstellung zu Natur und Chemie“ ($r_{CUN-SDCUN} = -0.11$ und $r_{KCUN-SDCUN} = -0.22$). Diese Korrelation stellt ein Indiz der diskriminanten Konstruktvalidität dar. Die Skala zur „Naturverbundenheit“ hängt mit einem großen Effekt mit dem einzelnen Item zu „Inclusion of Nature in Self“ basierend auf überlappenden Kreisen zusammen ($r_{NV-INS} = 0.69$).

Korrelationsplot aller Variablen zum Testzeitpunkt T1

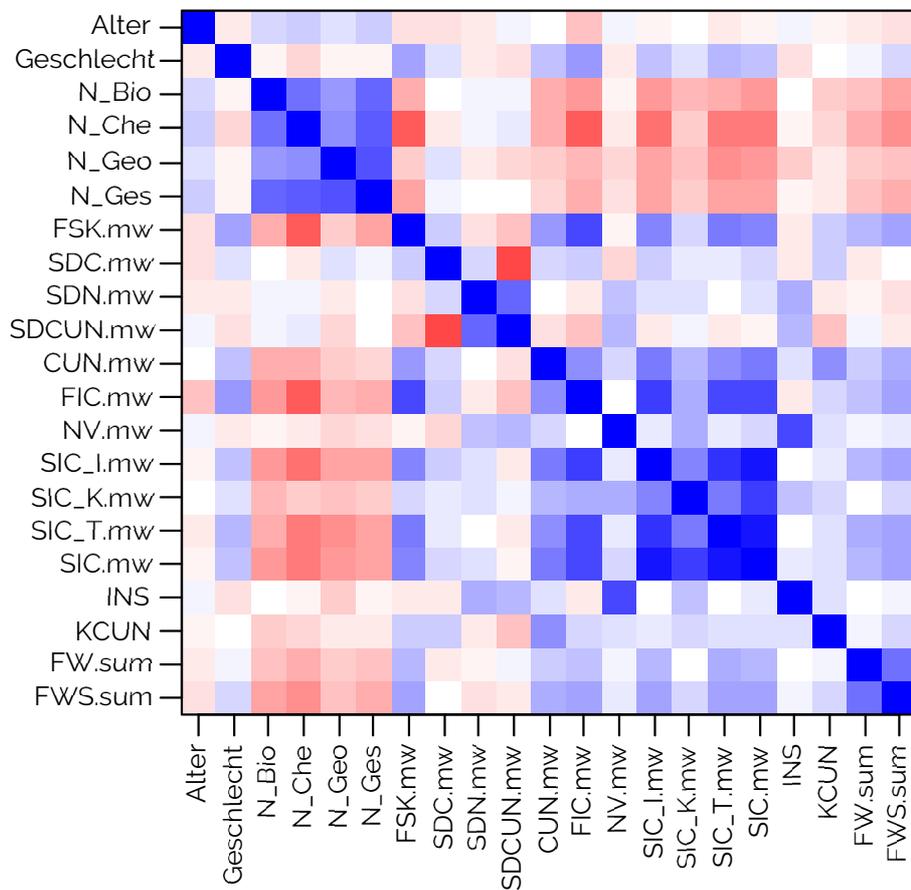


Abbildung 33: Die Korrelationswerte aller Variablen sind optisch in unterschiedlich intensiven Blau- und Rottönen dargestellt. Die dunkelblaue Diagonale entspricht einer Korrelation von Eins, während weiße Felder eine Korrelation von Null und rote Felder eine negative Korrelation anzeigen.

Ergebnisse der begleitenden Evaluation

Im zweiten Schritt wird in Bezug auf die Interventionsmaßnahme getestet, ob das aktuelle Interesse und die kognitive Belastung der Probanden vergleichbar zwischen Experimental- und Kontrollgruppe sind. Außerdem wird der Aufenthalt im Freiland der Experimentalgruppe charakterisiert.

Für die Auswertung der begleitenden Evaluation wurde zunächst überprüft, ob sich das Interesse und die kognitive Belastung der zweigeteilten Lerneinheiten „Bodenanalyse mit organischen Säuren“, „Farbenpracht im Freiland“, „Dem Blut auf der Spur“ und „Kunterbunte Farbenpracht“ zwischen den zwei Doppelstunden unterscheiden. Wie in Tabelle 29 dargestellt, zeigen sich lediglich signifikante Unterschiede in den Einheiten der Kontrollgruppe. Der

erste Teil der Lerneinheit „Dem Blut auf der Spur“ schätzten die Probanden mit einem kleinen Effekt interessanter und leichter verständlich ein als den zweiten Teil ($t(91) = -2.13, p = 0.04, d = -0.44$; $t(91) = -2.13, p = 0.04, d = -0.44$). Da allerdings alle Probanden an der besser bewerteten Einheit teilnahmen (vgl. Kapitel 4.4.1 Tabelle 11), wird dieser Unterschied vernachlässigt. Bei der Lerneinheit „Kunterbunte Farbenpracht“ wird der zweite Teil mit einem mittleren Effekt interessanter bewertet ($t(54) = -2.24, p = 0.03, d = -0.59$). Diese wurde jedoch nur von drei Kursen bearbeitet, sodass auch dieser Unterschied zwischen den zwei Teilbereichen vernachlässigt wird und fortan alle zweigeteilten Lerneinheiten als eine Einheit betrachtet werden.

Tabelle 29: Ergebnisse der Unterschiedsprüfungen zwischen den zweigeteilten Lerneinheiten mit den Testvoraussetzungen zur Analyse und der zugehörigen Effektgröße. UV = unabhängige Variable, AV = abhängige Variable, AI = aktuelles Interesse, CL = kognitive Belastung, BA = Bodenanalyse mit organischen Säuren, FF = Farbenpracht im Freiland, BS = Dem Blut auf der Spur und KF = Kunterbunte Farbenpracht. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Kovariable	Testvoraussetzung	Unterschiedsprüfung und Effektgröße
UV: BA AV: AI	$W = 0.94, p < 0.001$ $F(1, 93) = 0.003, p = 0.95$	$t(93) = 0.25, p = 0.81$ $d = 0.05$
UV: BA AV: CL	$W = 0.96, p = 0.008$ $F(1, 94) = 0.87, p = 0.35$	$t(94) = 0.25, p = 0.80$ $d = 0.05$
UV: FF AV: AI	$W = 0.98, p = 0.08$ $F(1, 140) = 0.87, p = 0.35$	$t(140) = 0.52, p = 0.60$ $d = 0.09$
UV: FF AV: CL	$W = 0.95, p < 0.001$ $F(1, 147) = 0.22, p = 0.64$	$t(147) = 0.32, p = 0.75$ $d = 0.05$
UV: BS AV: AI	$W = 0.98, p = 0.12$ $F(1, 89) = 2.15, p = 0.15$	$t(89) = 2.33, p = 0.02$ $d = 0.47$
UV: BS AV: CL	$W = 0.96, p = 0.003$ $F(1, 91) = 0.12, p = 0.73$	$t(91) = -2.13, p = 0.04$ $d = -0.44$
UV: KF AV: AI	$W = 0.96, p = 0.09$ $F(1, 54) = 0.80, p = 0.37$	$t(54) = -2.24, p = 0.03$ $d = -0.59$
UV: KF AV: CL	$W = 0.87, p = 0.35$ $F(1, 53) = 0.87, p = 0.35$	$t(53) = 0.80, p = 0.43$ $d = 0.22$

Der Median des aktuellen Interesses liegt bei allen Einheiten im positiven Bereich über dem neutralen Skalenmittelpunkt von 2.5, sodass diese deskriptiv als interessant eingestuft werden können. Im zusammenfassenden Vergleich schätzen die Probanden der Kontrollgruppe ihre Lerneinheiten mit einem

kleinen Effekt signifikant interessanter ein, als die Probanden der Experimentalgruppe ($t(739.97) = -5.68, p < 0.001, d = -0.40$). Dieser Unterschied kommt zustande, weil beispielsweise das aktuelle Interesse an den Lerneinheiten „Dem Blut auf der Spur“ und „Kunterbunte Farbenpracht“ der Kontrollgruppe mit einem kleinen Effekt signifikant höher ist, als an den Lerneinheiten „Bodenanalyse mit organischen Säuren“ und „Farbenpracht im Freiland“ der Experimentalgruppe ($F(7, 277.67) = 6.14, p < 0.001, \omega^2 = 0.05$).

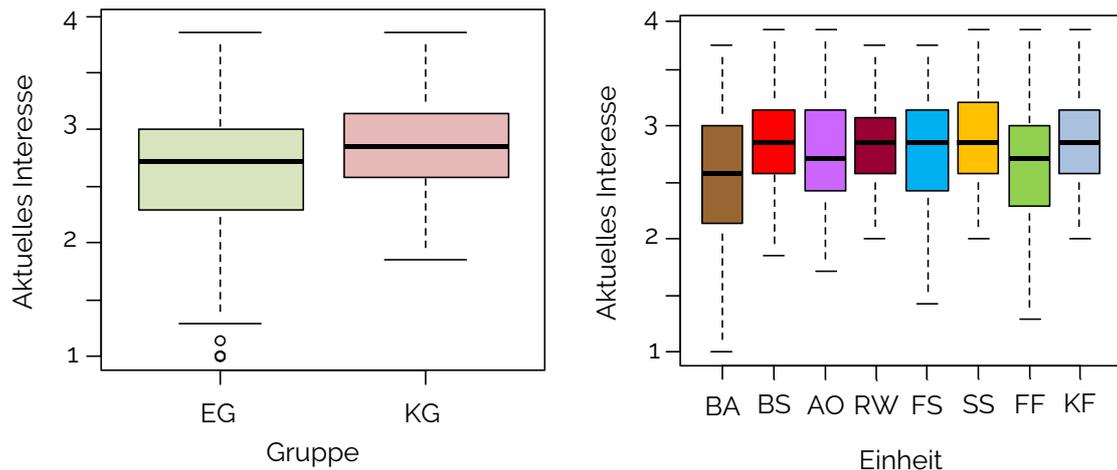


Abbildung 34: Das aktuelle Interesse unterscheidet sich mit einem kleinen Effekt signifikant zwischen Experimentalgruppe (EG) in Grün und Kontrollgruppe (KG) in Rot. Dies begründet sich durch die mit einem kleinen Effekt signifikant interessanteren Einheiten „Dem Blut auf der Spur“ (BS) in Rot und „Kunterbunte Farbenpracht“ (KF) in Hellblau.

Die unterschiedliche Ausprägung des aktuellen Interesses liegt hauptsächlich an einem besonders interessierten Leistungskurs in der Kontrollgruppe (S1), der seine Lerneinheiten mit einem mittleren Effekt signifikant interessanter einstuft ($F(12, 278.46) = 12.40, p < 0.001, \omega^2 = 0.12$) als beispielsweise vier Kurse in der Experimentalgruppe (J, T, K, W), aber auch vier Kurse in der Kontrollgruppe (S, T1, M1, K1). Dass dies tatsächlich auf einen Kurseffekt zurückzuführen ist und nicht an die Lehrperson geknüpft ist, zeigt die Analyse des aktuellen Interesses zwischen zwei Kursen, die beide von der betroffenen Lehrperson unterrichtet worden sind (S, S1). Hier liegt trotz selber Lehrperson ein signifikanter Unterschied mit einem großen Effekt zwischen den Kursen vor ($t(103) = -6.40, p < 0.001, d = -1.06$). Auch wenn der identifizierte Kurs im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe ausgeschlossen werden würde, bleibt der aufgedeckte signifikante Unterschied mit einem kleinen Effekt weiterhin bestehen ($t(641.46) = -3.68, p < 0.001, d = -0.27$). Unabhängig von

der Zugehörigkeit zu Experimental- und Kontrollgruppe, gibt es keine geschlechtsspezifischen Unterschiede im aktuellen Interesse ($t(751) = 1.76, p = 0.08, d = 0.13$). Zwar ist die Interaktion des aktuellen Interesses von Geschlecht und Einheit mit einem kleinen Effekt signifikant ($F(7, 737) = 2.31, p = 0.03, \omega^2 = 0.01$), jedoch sind diese aufgedeckten Unterschiede im Post-hoc-Verfahren nicht auf geschlechtsspezifische Unterschiede innerhalb derselben Lerneinheit zurückzuführen ($p > 0.05$), sondern auf den Interessensvergleich von weiblichen Probanden an der Lerneinheit zu männlichen Probanden an einer anderen Lerneinheit. Allerdings sind die weiblichen Probanden der Experimentalgruppe mit einem kleinen Effekt signifikant weniger interessiert an den Lerneinheiten als die männlichen Probanden der Experimentalgruppe, aber auch als die weiblichen und männlichen Probanden der Kontrollgruppe ($F(1, 749) = 9.68, p = 0.002, \omega^2 = 0.01$).

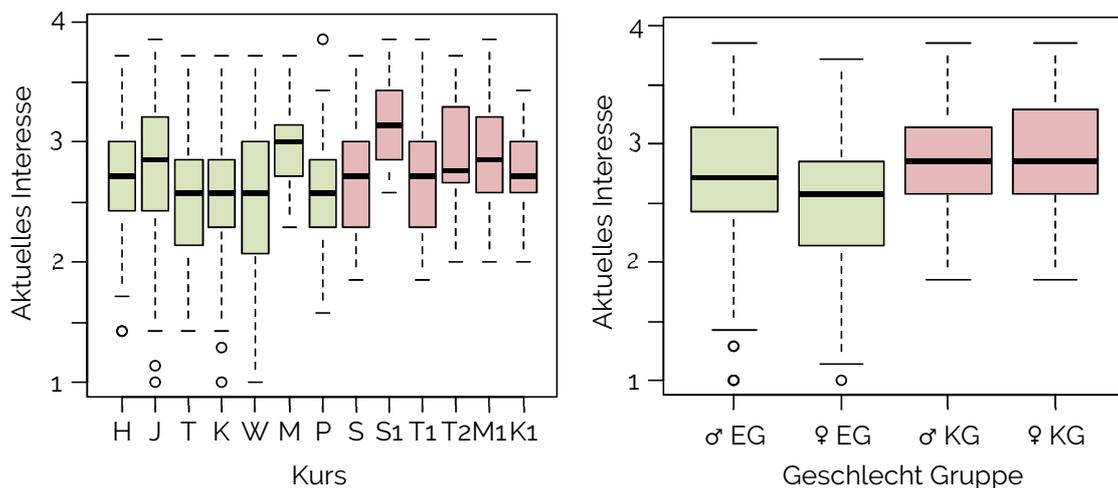


Abbildung 35: Zwischen den Kursen liegen signifikante Unterschiede im aktuellen Interesse vor. Besonders auffällig ist der Kurs S1 der Kontrollgruppe in Rot, aber auch der Kurs M der Experimentalgruppe in Grün. Die weiblichen Probanden der Experimentalgruppe (EG) haben ein signifikant niedrigeres aktuelles Interesse als die männlichen Probanden der Experimentalgruppe, aber auch als die weiblichen und männlichen Probanden der Kontrollgruppe (KG).

In Bezug auf die kognitive Belastung liegt der Median bei allen Lerneinheiten deskriptiv nahe am Skalenmittelpunkt, sodass die Probanden sie als leicht verständlich und wenig anstrengend bewerten. Die kognitive Belastung der Lerneinheiten der Experimentalgruppe ist mit einem kleinen Effekt signifikant geringer, als die der Kontrollgruppe ($t(733.32) = -4.69, p < 0.001, d = -0.33$). Dieser Unterschied kommt zustande, weil beispielsweise die kognitive Belastung

der Lerneinheit „Farbenpracht im Freiland“ der Experimentalgruppe mit einem mittleren Effekt signifikant niedriger ist, als bei der Lerneinheit „Kunterbunte Farbenpracht“ der Kontrollgruppe ($F(12, 281.27) = 4.91, p < 0.001, \omega^2 = 0.09$).

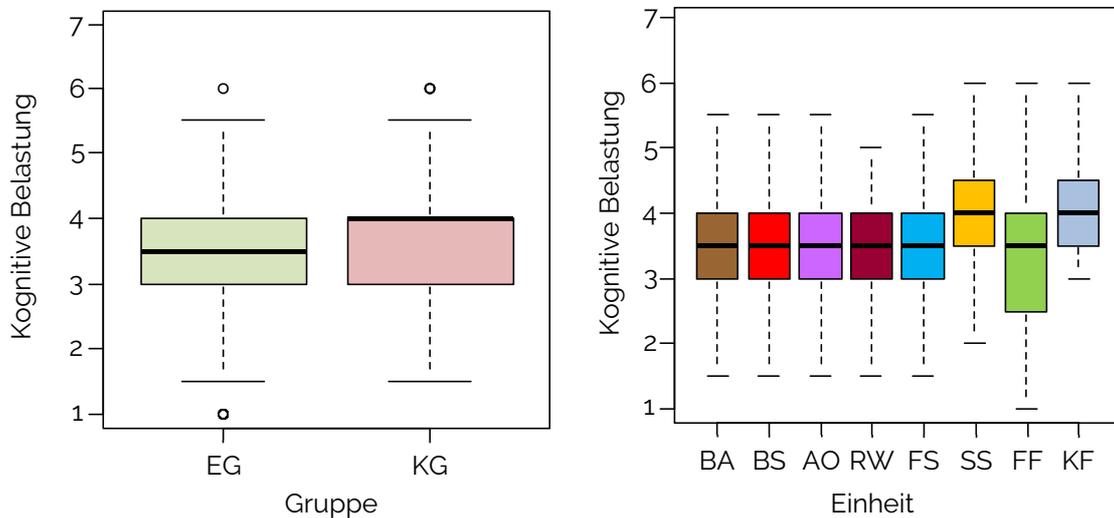


Abbildung 36: Die Lerneinheiten der Experimentalgruppe (EG) in Grün sind mit einem kleinen Effekt signifikant leichter verständlich als die der Kontrollgruppe (KG) in Rot. Dies begründet sich durch die mit einem mittleren Effekt signifikant höhere kognitive Belastung der Einheit „Kunterbunte Farbenpracht“ (KF) in Hellblau im Vergleich zur Einheit „Farbenpracht im Freiland“ (FF) in Grün.

Die unterschiedliche Ausprägung der kognitiven Belastung liegt hauptsächlich an einem Grund- und Leistungskurs in der Experimentalgruppe (J, K), die ihre Lerneinheiten mit einem mittleren Effekt signifikant leichter verständlich und weniger anstrengend einstufen ($F(12, 281.27) = 4.91, p < 0.001, \omega^2 = 0.06$) als beispielsweise vier Kurse in der Kontrollgruppe (S1, T1, T2, K1), aber auch ein Kurs in der Experimentalgruppe (M). Auch wenn die identifizierten Kurse im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe ausgeschlossen werden würden, bleibt der aufgedeckte signifikante Unterschied mit einem kleinen Effekt weiterhin bestehen ($t(622) = -2.64, p = 0.009, d = -0.21$). Unabhängig von der Zugehörigkeit zu Experimental- und Kontrollgruppe, gibt es keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in der kognitiven Belastung ($t(760) = 1.85, p = 0.06, d = 0.13$). Auch die Interaktion der kognitiven Belastung von Geschlecht und Lerneinheit ist vergleichbar ($F(7, 746) = 1.24, p = 0.28, \omega^2 = 0.002$). Allerdings ist die kognitive Belastung bei den weiblichen Probanden der Kontrollgruppe mit einem kleinen Effekt signifikant höher als bei den männlichen Probanden der Kontrollgruppe, aber auch im Vergleich zu den weiblichen

und männlichen Probanden der Experimentalgruppe ($F(1, 758) = 8.79, p = 0.003, \omega^2 = 0.01$).

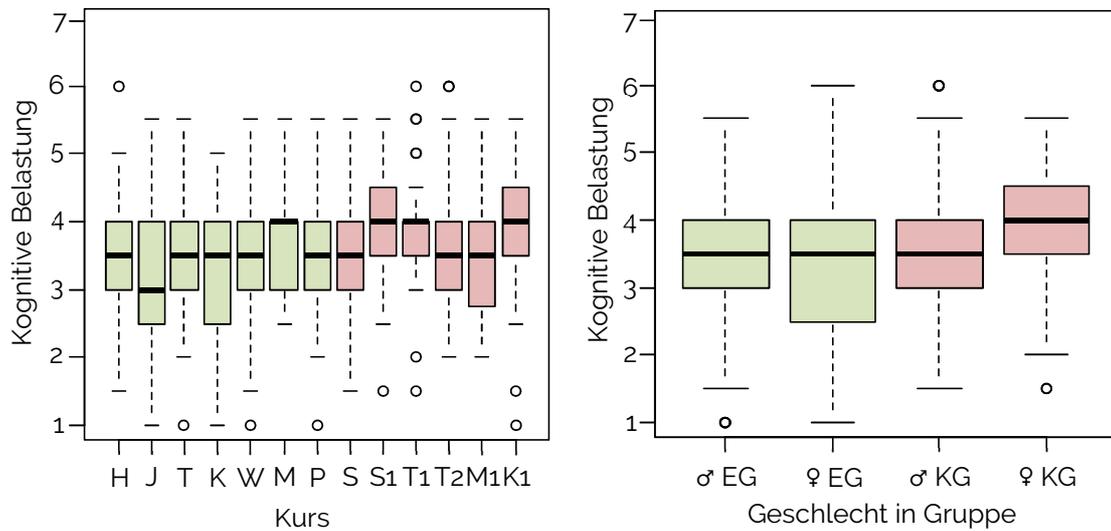


Abbildung 37: Zwischen den Kursen liegen signifikante Unterschiede im aktuellen Interesse vor. Besonders auffällig ist der Kurs S1 der Kontrollgruppe in Rot, aber auch der Kurs M der Experimentalgruppe in Grün. Die weiblichen Probanden der Experimentalgruppe (EG) haben ein signifikant niedrigeres aktuelles Interesse als die männlichen Probanden der Experimentalgruppe, aber auch als die weiblichen und männlichen Probanden der Kontrollgruppe (KG).

Alle Ergebnisse mit den zugehörigen Testvoraussetzungen sind in Tabelle 30 zusammengefasst.

Tabelle 30: Ergebnisse der Unterschiedsprüfungen der begleitenden Daten mit den Testvoraussetzungen zur Analyse und der zugehörigen Effektgröße. UV = unabhängige Variable, AV = abhängige Variable, AI = aktuelles Interesse, CL = kognitive Belastung. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Kovariable	Testvoraussetzung	Unterschiedsprüfung und Effektgröße
UV: Gruppe AV: AI	$W = 0.98$, $p < 0.001$ $F(1, 751) = 7.42$, $p = 0.007$	$t(739.97) = -5.68$, $p < 0.001$ $d = -0.40$
UV: Einheit AV: AI	$W = 0.98$, $p < 0.001$ $F(7, 745) = 1.98$, $p = 0.05$	$F(7, 277.67) = 6.14$, $p < 0.001$ $\omega^2 = 0.05$
UV: Kurs AV: AI	$W = 0.98$, $p < 0.001$ $F(12, 740) = 4.75$, $p < 0.001$	$F(12, 278.46) = 12.40$, $p < 0.001$ $\omega^2 = 0.12$
UV: Lehrperson S AV: AI	$W = 0.98$, $p < 0.05$ $F(1, 103) = 2.08$, $p = 0.15$	$t(103) = -6.40$, $p < 0.001$ $d = -1.06$
UV: Gruppe AV: AI ohne Kurs S1	$W = 0.98$, $p < 0.001$ $F(1, 696) = 7.90$, $p = 0.005$	$t(641.46) = -3.68$, $p < 0.001$ $d = -0.27$
UV: Geschlecht AV: AI	$W = 0.98$, $p < 0.001$ $F(1, 751) = 0.97$, $p = 0.33$	$t(751) = 1.76$, $p = 0.08$ $d = 0.13$
UV: Geschlecht*Einheit AV: AI	$W = 0.98$, $p < 0.001$ $F(15, 737) = 1.38$, $p = 0.15$	$F(7, 737) = 2.31$, $p = 0.03$ $\omega^2 = 0.01$
UV: Geschlecht*Gruppe AV: AI	$W = 0.98$, $p < 0.001$ $F(3, 749) = 2.24$, $p = 0.08$	$F(1, 749) = 9.68$, $p = 0.002$ $\omega^2 = 0.01$
UV: Gruppe AV: CL	$W = 0.97$, $p < 0.001$ $F(1, 760) = 3.17$, $p = 0.08$	$t(733.32) = -4.69$, $p < 0.001$ $d = -0.33$
UV: Einheit AV: CL	$W = 0.97$, $p < 0.001$ $F(7, 754) = 2.92$, $p = 0.005$	$F(7, 279.63) = 13.051$, $p < 0.001$ $\omega^2 = 0.09$
UV: Kurs AV: CL	$W = 0.97$, $p < 0.001$ $F(12, 749) = 2.15$, $p = 0.01$	$F(12, 281.27) = 4.91$, $p < 0.001$ $\omega^2 = 0.06$
UV: Gruppe AV: CL ohne Kurs J und K	$W = 0.97$, $p < 0.001$ $F(1, 622) = 0.03$, $p = 0.87$	$t(622) = -2.64$, $p = 0.009$ $d = -0.21$
UV: Geschlecht AV: CL	$W = 0.97$, $p < 0.001$ $F(1, 760) = 1.74$, $p = 0.19$	$t(760) = 1.85$, $p = 0.06$ $d = 0.13$
UV: Geschlecht*Einheit AV: CL	$W = 0.97$, $p < 0.001$ $F(15, 746) = 1.63$, $p = 0.06$	$F(7, 746) = 1.24$, $p = 0.28$ $\omega^2 = 0.002$
UV: Geschlecht*Gruppe AV: CL	$W = 0.97$, $p < 0.001$ $F(3, 758) = 2.60$, $p = 0.05$	$F(1, 758) = 8.79$, $p = 0.003$ $\omega^2 = 0.01$

Die Probanden der Experimentalgruppe schätzen anhand eines sechsstufigen Items den Aufenthalt im Freiland als „eher angenehm“ bis „ziemlich angenehm“ ein ($M = 4,41$, $SD = 1,43$, $n = 333$). An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass aufgrund von schlechten Wetterverhältnissen nur einer von sieben Kursen alle CHEMIE PUR Lerneinheiten der Experimentalgruppe draußen durchgeführt hat. Bei fünf von sieben Kursen fanden jeweils zwei Einheiten und bei einem Kurs eine Einheit drinnen statt. Dies entspricht einer gemittelten Häufigkeit von 34 % der Lerneinheiten, die in der Experimentalgruppe nicht, wie laut Design vorgesehen, im Freiland durchgeführt worden sind. Das offene Item mit der Fragestellung „Für mich stand heute im Fokus...“ wurde in der Experimentalgruppe insgesamt 334-mal beantwortet. Davon drehten sich 67 Aussagen (20 %) um die Beziehung von Chemie und Natur zum Beispiel: „...das Entdecken der Chemie in der Natur“ oder „...den Zusammenhang zwischen Natur und Chemie.“. Der Großteil der sonstigen Antworten griffen entweder inhaltliche Facetten (123-mal, 37 %) oder Arbeitsweisen (122-mal, 37 %) auf, beispielsweise „...das Donator-Akzeptor-Prinzip.“ oder „...die saubere Durchführung der Experimente.“.

Ergebnisse der latenten Unterschiedsprüfung

Im dritten Schritt werden mit Latent-State-Modellen die Voraussetzungen für die messfehlerbereinigte, längsschnittliche Modellierung überprüft. Zum einen wird durch die Festlegung der starken faktoriellen Messäquivalenz gewährleistet, dass die psychometrischen Eigenschaften der Messinstrumente über die drei Testzeitpunkte konstant bleiben (Geiser, 2011). Zum anderen werden indicatorspezifische Methodeneffekte modelliert, die den Teil der reliablen Varianz repräsentieren, der nicht durch einen Referenzindikator erklärt wird (Kelava & Schermelleh-Engel, 2012). Ein Überblick der Ergebnisse aller Konstrukte mit frei geschätzten Modellparametern und den Fitindices berechnet mit robustem Maximum-Likelihood-Verfahren und FIML-Schätzer für fehlende Werte sind in Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31: Für die Konstrukte FIC = Chemiebezogenes Fachinteresse, SIC = Chemiebezogenes Sachinteresse mit Subskalen, SDC = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Wissenschaft Chemie, SDN = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Natur, CUN = Einstellung zu Chemie und Natur, NV = Naturverbundenheit, FW = chemiebezogenes Fachwissen, _sub = Subgruppe sind die frei geschätzten Modellparameter und Fitindices der Latent-State-Modelle tabelliert. Faustregel der Identifizierbarkeit ist, dass weniger Modellparameter als ein Fünftel der Stichprobe frei geschätzt werden. χ^2 -Test mit zugehörigen p -

Werten im Verhältnis des χ^2 -Werts mit der dreifachen Anzahl der Freiheitsgrade df , CFI = Comparative Fit Index, TLI = Tucker-Lewis Index, RSMA = Root Mean Square Error of Approximation, SRMR = Standardized Root Mean Residual, AIC = Akaike information criteria und BIC = Bayesian information criteria, α & λ gleich = Intercept α und Ladung λ sind bei starker Messäquivalenz identisch. Alle Werte wurden mit dem robusten MLR- und FIML-Schätzer berechnet. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Konstrukt	Frei geschätzte Modellparameter	χ^2 -Test $p > 0.05$ $\chi^2 < 3 \cdot df$	CFI TLI > 0.95	RSMA < 0.08 $p > 0.05$	SRMR < 0.10	AIC BIC
FIC	22	0.53	1.00	0.00		1092.56
(α & λ gleich)	< 0.2*(n = 149)	8.09 < 3*9	1.00	0.75	0.02	1145.89
SIC	33	0.01	0.98	0.07		1034.26
(α & λ gleich)	> 0.2*(n = 149)	49.43 < 3*29	0.97	0.16	0.09	1109.19
SIC_I	22	0.22	0.99	0.05		973.91
(α & λ gleich)	< 0.2*(n = 149)	11.90 < 3*9	0.99	0.47	0.04	1027.74
SIC_K	21	0.37	1.00	0.03		1198.87
(α & λ gleich)	< 0.2*(n = 149)	10.89 < 3*10	0.99	0.65	0.06	1249.82
SIC_T	22	0.38	1.00	0.02		1037.66
(α & λ gleich)	< 0.2*(n = 149)	9.69 < 3*9	1.00	0.63	0.04	1091.36
SDC	22	0.20	0.98	0.05		1597.09
(α & λ gleich)	< 0.2*(n = 149)	12.27 < 3*9	0.97	0.45	0.06	1650.91
SDN	21	0.18	0.98	0.05		1576.47
(α & λ gleich)	< 0.2*(n = 149)	13.93 < 3*10	0.98	0.43	0.05	1627.53
SDCUN	22	0.28	0.99	0.04		2008.22
(α & λ gleich)	< 0.2*(n = 149)	10.87 < 3*9	0.98	0.55	0.06	2062.05
CUN	33	0.05	0.98	0.06		1459.74
(α & λ gleich)	> 0.2*(n = 149)	42.62 < 3*29	0.98	0.36	0.07	1534.84
NV	33	0.86	1.00	0.00		-467.13
(α & λ gleich)	> 0.2*(n = 149)	21.07 < 3*29	1.02	0.98	0.04	-392.03
NV_sub	33	0.71	1.00	0.00		-387.04
(α & λ gleich)	> 0.2*(n = 127)	24.32 < 3*29	1.02	0.93	0.05	-315.94
FW	22	0.04	0.98	0.08		3306.33
(α & λ gleich)	< 0.2*(n = 149)	17.45 < 3*9	0.97	0.17	0.08	3360.40
FW_sub	22	0.21	0.99	0.05		2551.28
(α & λ gleich)	< 0.2*(n = 115)	12.08 < 3*9	0.98	0.41	0.07	2600.69

Nachdem alle relevanten Voraussetzungen erfüllt sind, wurde die Veränderung der latenten State-Variable als latente Differenzvariable modelliert. Diese Differenz wird unter anderem durch die Gruppenzugehörigkeit (Kon-

troll- oder Experimentalgruppe) als Prädiktor erklärt. Um den Effekt der geschachtelten Daten zu erfassen, wurde als zusätzlicher Prädiktor die Kurszugehörigkeit aufgenommen, der die Levels von Kursen, Jahrgangsstufen und Schulen berücksichtigt. Ein Überblick der Ergebnisse aller Konstrukte mit frei geschätzten Modellparametern und den Fitindices berechnet mit robustem Maximum-Likelihood-Verfahren und FIML-Schätzer für fehlende Werte sind in Tabelle 32 dargestellt.

Tabelle 32: Für die Konstrukte FIC = Chemiebezogenes Fachinteresse, SIC = Chemiebezogenes Sachinteresse mit Subskalen, SDC = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Wissenschaft Chemie, SDN = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Natur, CUN = Einstellung zu Chemie und Natur, NV = Naturverbundenheit, FW = chemiebezogenes Fachwissen und _sub = Subgruppe sind die frei geschätzten Modellparameter und Fitindices der Latent-Change-Modelle tabelliert. Faustregel der Identifizierbarkeit ist, dass weniger Modellparameter als ein Fünftel der Stichprobe frei geschätzt werden. χ^2 -Test mit zugehörigen p-Werten im Verhältnis des χ^2 -Werts mit der dreifachen Anzahl der Freiheitsgrade df, CFI = Comparative Fit Index, TLI = Tucker-Lewis Index, RSMA = Root Mean Square Error of Approximation, SRMR = Standardized Root Mean Residual, AIC = Akaike information criteria und BIC = Bayesian information criteria, ohne Kurs = Kursspezifischer Prädiktor konnte nicht modelliert werden. Alle Werte wurden mit dem robusten MLR- und FIML-Schätzer berechnet. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Konstrukt	Frei geschätzte Modellparameter	χ^2 -Test $p > 0.05$ $\chi^2 < 3 \cdot df$	CFI TLI > 0.95	RSMA < 0.08 $p > 0.05$	SRMR < 0.10	AIC BIC
FIC	28 < 0.2*(n = 149)	0.08 23.13 < 3*15	0.99 0.98	0.06 0.33	0.03	1928.74 2000.83
SIC	39 > 0.2*(n = 149)	0.005 68.25 < 3*41	0.97 0.96	0.07 0.16	0.08	1873.18 1966.30
SIC_I (ohne Kurs)	25 < 0.2*(n = 149)	0.03 22.84 < 3*12	0.98 0.96	0.08 0.16	0.05	1189.63 1252.71
SIC_K	27 < 0.2*(n = 149)	0.26 19.27 < 3*15	0.99 0.98	0.04 0.61	0.05	2037.84 2106.93
SIC_T	28 < 0.2*(n = 149)	0.33 16.74 < 3*15	1.00 0.99	0.03 0.67	0.04	1877.80 1949.90
SDC	28 < 0.2*(n = 149)	0.14 21.02 < 3*15	0.97 0.94	0.05 0.43	0.06	2433.86 2505.96
SDN	27 < 0.2*(n = 149)	0.28 18.70 > 3*16	0.99 0.98	0.03 0.64	0.04	2404.56 2473.65

Ergebnisse

SDCUN	28 < 0.2*(n = 149)	0.20 19.37 > 3*15	0.98 0.96	0.04 0.52	0.05	2835.39 2907.49
CUN	39 > 0.2*(n = 149)	0.01 64.47 < 3*41	0.97 0.96	0.06 0.23	0.07	2295.86 2388.98
NV	39 > 0.2*(n = 149)	0.89 30.36 < 3*41	1.00 1.03	0.00 0.99	0.04	369.23 462.35
NV_sub	39 > 0.2*(n = 127)	0.85 31.87 < 3*41	1.00 1.03	0.00 0.98	0.05	300.63 388.80
FW (ohne Kurs)	25 < 0.2*(n = 149)	0.02 23.62 < 3*12	0.98 0.96	0.08 0.14	0.07	3503.90 3566.99
FW_sub (ohne Kurs)	25 > 0.2*(n = 115)	0.18 16.24 < 3*12	0.99 0.98	0.06 0.40	0.06	2712.84 2770.48

Im Anschluss erfolgt die hypothesengeleitete Unterschiedsprüfung, deren Ergebnisse abschließend in Tabelle 33 zusammengefasst werden:

(H1) Bei beiden Vergleichsgruppen steigt das chemiebezogene Fach- und Sachinteresse an.

Abbildung 38 zeigt die Interessensabnahme am Fach Chemie über den Zeitraum von März (T1) bis Juli (T2) und September (T3). Zum ersten Testzeitpunkt liegen deskriptiv Unterschiede zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe vor, die aufgrund der größeren Standardabweichung allerdings nicht signifikant ausfallen ($p = 0.08$). Bei beiden Vergleichsgruppen sinkt das Fachinteresse von T1 zu T3 signifikant mit einem großen Effekt (KG: $p = 0.02$, $d = -1.52$; EG: $p < 0.001$, $d = -1.20$). Es treten keine Kurs- oder Interaktionseffekte auf. Die Interessensabnahme in der Kontrollgruppe mit 0.43 Punkten unterscheidet sich nicht deutlich von 0.32 Punkten in der Experimentalgruppe.

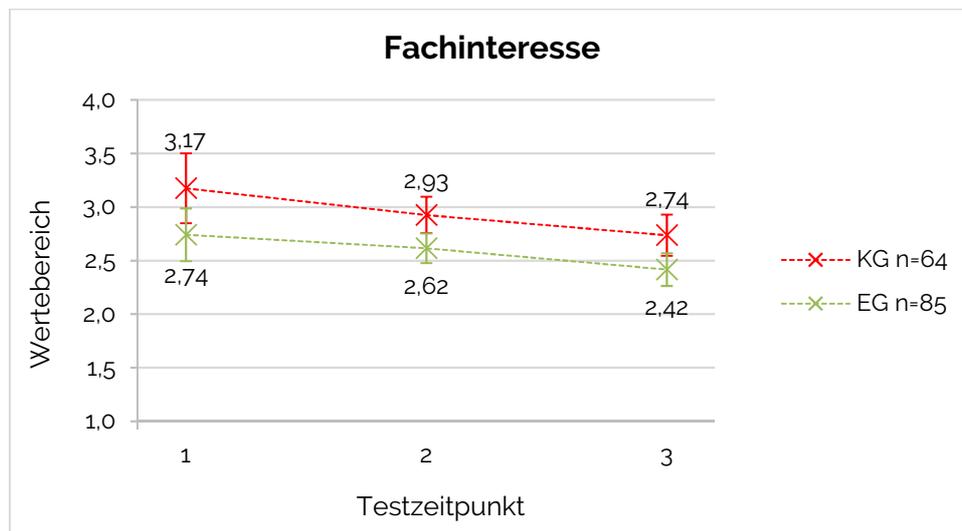


Abbildung 38: Entwicklung des Fachinteresses zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- in Rot und Experimentalgruppe in Grün. Ein hoher Zahlenwert bedeutet ein hohes Interesse am Fach Chemie.

Die Entwicklung des allgemeinen Sachinteresses an Inhalten, Kontexten und Tätigkeiten im Fach Chemie ist in Abbildung 39 dargestellt. In der Experimentalgruppe sinkt das Sachinteresse von T1 zu T3 signifikant mit einem großen Effekt um 0.25 Punkte ($p < 0.001$, $d = -1.01$). Auch in der Kontrollgruppe ist von T1 zu T3 ein großer Effekt mit 0.26 Punkten zu verzeichnen, der fast signifikant ausfällt ($p = 0.07$, $d = -1.07$). Es treten keine Kurs- oder Interaktionseffekte auf.

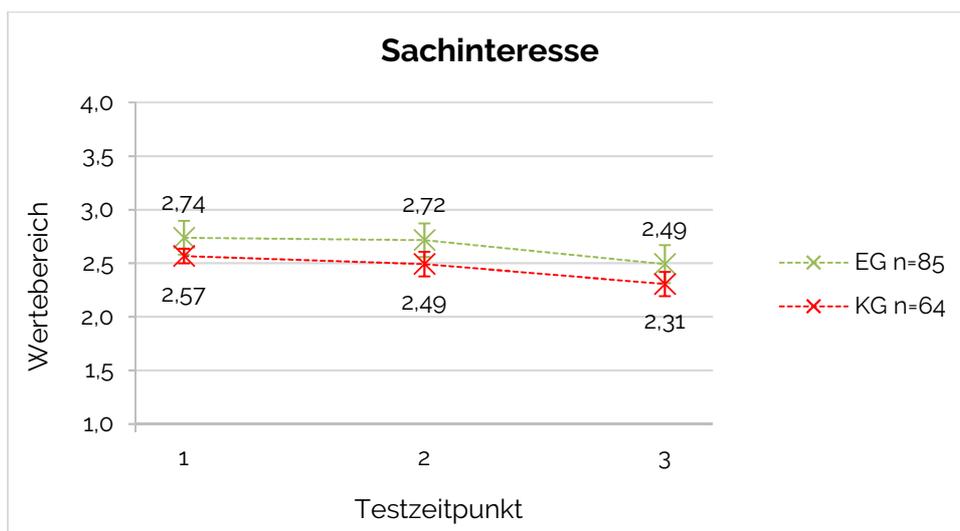


Abbildung 39: Entwicklung des Sachinteresses zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- in Rot und Experimentalgruppe in Grün. Ein hoher Zahlenwert bedeutet ein hohes chemiebezogenes Sachinteresse.

Abbildung 40 deckt weitere Ergebnisse in der Subskala des Sachinteresses auf. Im Gegensatz zum abnehmenden Trend des allgemeinen Sachinteresses steigt das inhaltsbezogene Sachinteresse von T1 zu T2 in der Experimentalgruppe signifikant mit einem kleinen Effekt ($p = 0.007$, $d = 0.45$). Es treten keine Interaktionseffekte auf, da die Interessenszunahme von T1 zu T2 in der Experimentalgruppe mit 0.11 Punkten nicht deutlich höher ist als 0.05 Punkte in der Kontrollgruppe.

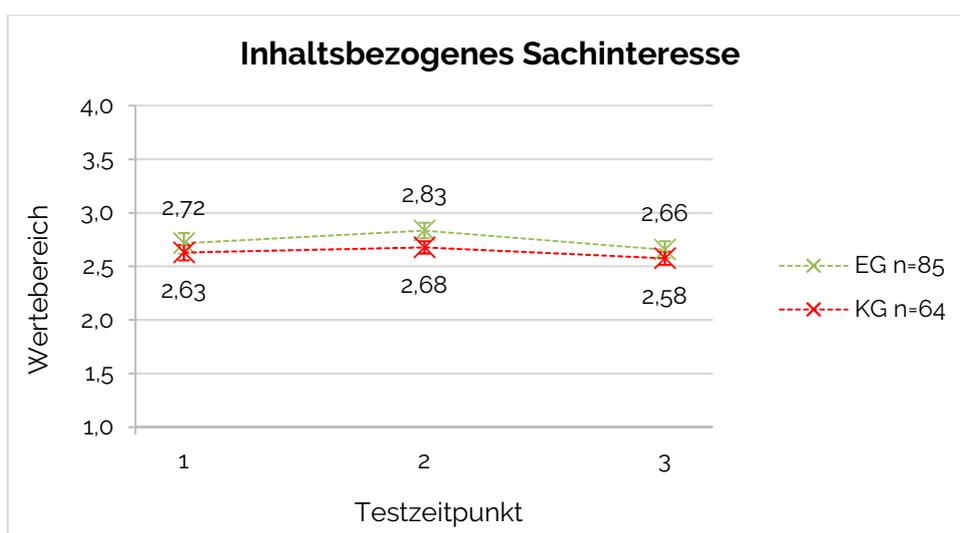


Abbildung 40: Entwicklung des inhaltsbezogenen Sachinteresses zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- in Rot und Experimentalgruppe in Grün. Ein hoher Zahlenwert bedeutet ein hohes Interesse an den Inhalten im Fach Chemie.

(H2) Die Einstellung zu Chemie und Natur verbessert sich in der Experimentalgruppe.

Die Einstellung zu Chemie und Natur wurde sowohl indirekt anhand der Differenz der Einstellung zur Natur und der Einstellung zur Wissenschaft Chemie abgeleitet, als auch über zwei zusätzliche Skalen, die Chemie und Natur in Zusammenhang bringen, direkt erfragt. Die Ergebnisse der indirekten Erfassung sind in Abbildung 41 veranschaulicht. Die Einstellung zur Natur schwankt über alle Testzeitpunkte hinweg bei einem Wertebereich von eins bis sechs um den Mittelwert von 4,51 mit einer Standardabweichung von 0,27, während die Einstellung zur Wissenschaft Chemie sich bei einem Mittelwert von 3,29 mit einer Standardabweichung von 0,24 einpendelt. Daraus errechnet sich die grafisch veranschaulichte Differenz, bei der die Natur mit einem großen Effekt signifikant positiver wahrgenommen wird als die Wissenschaft Chemie ($t(816,44) = -20,92, p < 0,001, d = 1,46$). Es treten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen und Testzeitpunkten sowie keine Kurs- oder Interaktionseffekte auf.

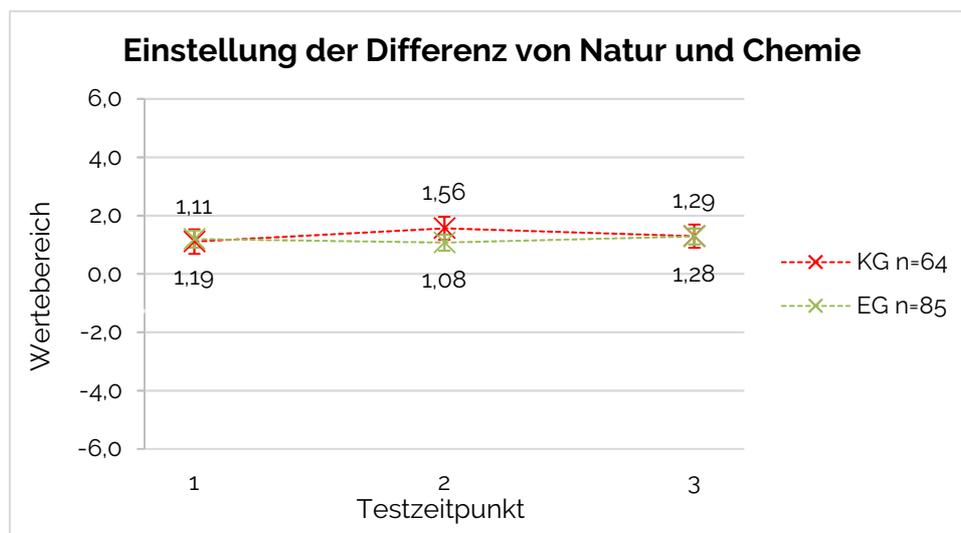


Abbildung 41: Entwicklung der Einstellung als Differenz von Natur und Chemie zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- in Rot und Experimentalgruppe in Grün. Ein positiver Zahlenwert bedeutet, dass die Einstellung zur Natur positiver ist als die Einstellung zur Wissenschaft Chemie. Ein negativer Zahlenwert bedeutet, dass die Einstellung zur Wissenschaft Chemie positiver ist als die Einstellung zur Natur. Ein Zahlenwert von Null bedeutet, dass die Einstellung zur Natur identisch mit der Einstellung zur Wissenschaft Chemie ist.

Allerdings zeigt die direkte Erfassung der Einstellung zu Chemie und Natur in Abbildung 42 durchaus Veränderungen in Kontroll- und Experimentalgruppe. Im Vergleich von T1 zu T3 bleibt in der Kontrollgruppe die Einstellung zu Chemie und Natur unverändert, während diese sich in der Experimentalgruppe deskriptiv um 0.29 Punkte verbessert. Diese Interaktion ist signifikant mit einem kleinen Effekt ($p = 0.01$, $d = 0.48$).

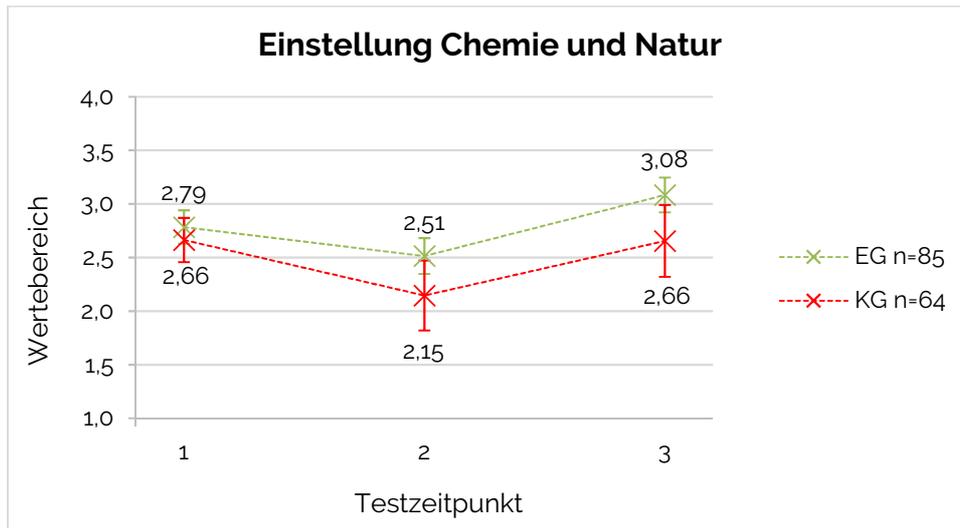


Abbildung 42: Entwicklung der Einstellung zu Chemie und Natur zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- in Rot und Experimentalgruppe in Grün. Ein hoher Zahlenwert bedeutet eine positive Einstellung zu Chemie und Natur, das heißt, Chemie und Natur werden nicht als Gegensatz wahrgenommen, sondern stehen im Einklang miteinander.

Dieses hypothesenkonforme Ergebnis wird durch die Auswertung des einzelnen Items zur Einstellung zu Chemie und Natur auf Grundlage von sich überlappenden Kreisen untermauert (vgl. Abbildung 12 in Kapitel 4.3.1 Testkonstruktion). Da sich zum Testzeitpunkt T1 Experimental- und Kontrollgruppe mit einem kleinen Effekt signifikant unterscheiden ($W = 0.91$, $p < 0.001$; $F(1, 107) = 0.71$, $p = 0.40$; $t(107) = 2.07$, $p = 0.04$, $d = 0.40$), wurde ein Kurs der Experimentalgruppe ausgeschlossen. Nun zeigen sich in Abbildung 43 vergleichbare deskriptive Veränderungen zu Abbildung 42: Während die Einstellung zu Chemie und Natur in der Kontrollgruppe von T1 zu T3 nahezu konstant bleibt, verbessert sich diese in der Experimentalgruppe um 0.44 Punkte. Aufgrund der geringeren Stichprobe ist dieser kleine Interaktionseffekt allerdings nicht signifikant ($W = 0.91$, $p < 0.001$; $F(5, 285) = 1.00$, $p = 0.42$; $Q = 1.04$, $p = 0.36$, $r = 0.11$).

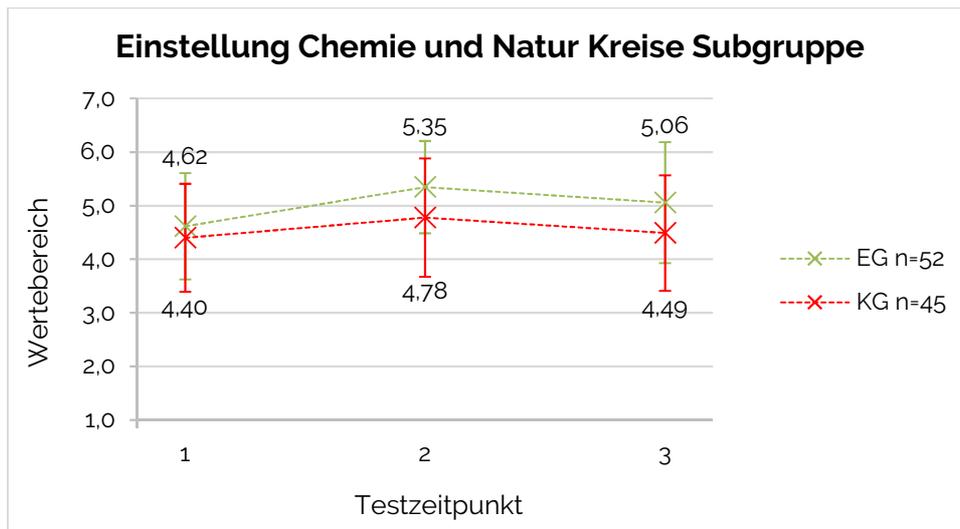


Abbildung 43: Entwicklung der Einstellung zu Chemie und Natur zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- in Rot und Experimentalgruppe in Grün. Ein hoher Zahlenwert bedeutet eine positive Einstellung zu Chemie und Natur, das heißt, Chemie und Natur werden nicht als Gegensatz wahrgenommen, sondern stehen im Einklang miteinander.

(H3) Die Naturverbundenheit nimmt in der Experimentalgruppe zu.

Die Analyse der Naturverbundenheit zeigt zunächst einen kleinen Interaktionseffekt ($p = 0.0009$, $d = -0.39$), der auf einer signifikanten Zunahme von T1 zu T2 in der Kontrollgruppe beruht. Allerdings wird in Tabelle 33 ebenfalls ein kursspezifischer Effekt in der Veränderung der Naturverbundenheit aufgedeckt. Dies deutet an, dass der Interaktionseffekt lediglich durch vereinzelte Kurse ausgelöst wird und nicht auf die Einteilung in Kontroll- und Experimentalgruppe zurückzuführen ist. Um vergleichbare Ergebnisse ohne Kurseffekte zu erhalten, wurde eine Subgruppe gebildet, bei der zwei Kurse der Kontrollgruppe ausgeklammert wurden, die deskriptiv die größte Steigung von T1 zu T2 aufwiesen. Wie vermutet, sind dadurch keine signifikanten Unterschiede mehr innerhalb und zwischen den Gruppen festzustellen (vgl. Tabelle 33). Grafisch wird das Ergebnis zur dritten Hypothese in Abbildung 44 veranschaulicht. Zwar steigt die Naturverbundenheit in der Kontrollgruppe von T1 zu T2 um 0.07 Punkte weiterhin an, bleibt allerdings bis zu T3 nahezu unverändert. Ein ähnliches Muster ist auch in der Experimentalgruppe erkennbar. Hier bleibt die Naturverbundenheit allerdings von T1 zu T2 konstant und steigt erst zu T3 um 0.11 Punkte an.

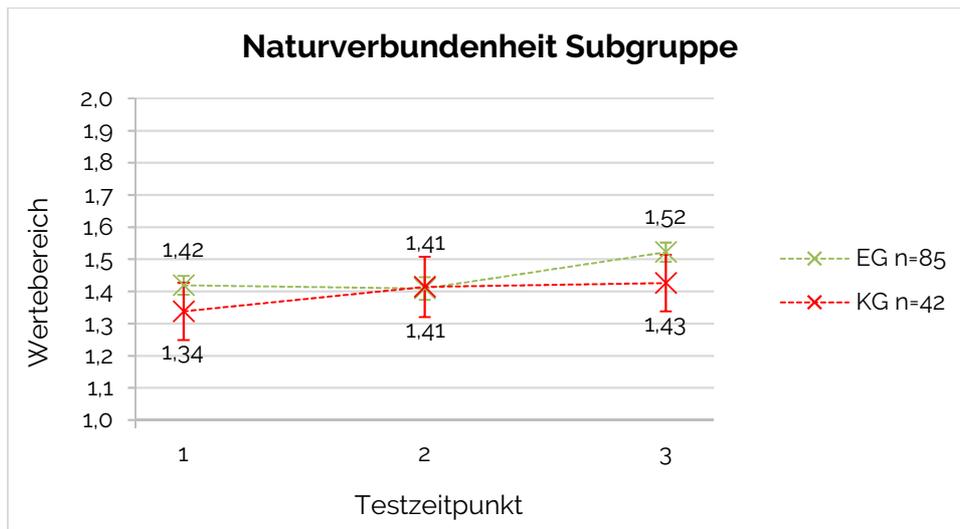


Abbildung 44: Entwicklung der Naturverbundenheit zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- in Rot und Experimentalgruppe in Grün. Ein hoher Zahlenwert bedeutet eine hohe Naturverbundenheit.

Auch das einzelne Item des Konstrukts „Inclusion of Nature in Self“ in Abbildung 45 generiert vergleichbare Ergebnisse. Die Naturverbundenheit steigt deskriptiv von T1 zu T3 in der Kontrollgruppe um 0.23 Punkte und in der Experimentalgruppe um 0.43 Punkte an. Diese Zunahme ist mit einem kleinen Effekt signifikant ($W = 0.94$, $p < 0.001$; $F(5, 342) = 3.96$, $p = 0.002$; $Q = 6.98$, $p = 0.002$, $r = 0.21$), allerdings tritt keine signifikante Interaktion auf ($Q = 0.28$, $p = 0.76$, $r = 0.07$).

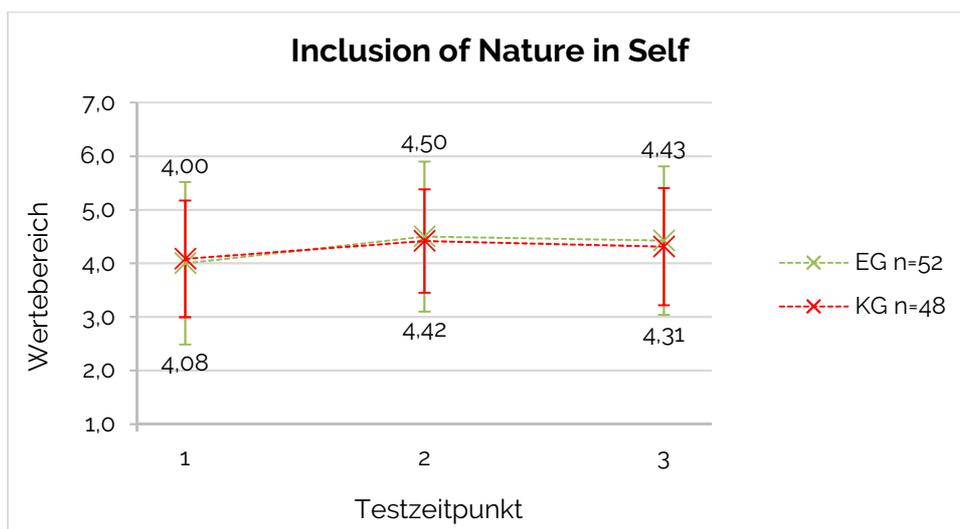


Abbildung 45: Entwicklung der Naturverbundenheit zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- in Rot und Experimentalgruppe in Grün. Ein hoher Zahlenwert bedeutet eine hohe Naturverbundenheit.

Hypothesenunabhängige Analyse der Lernwirksamkeit

Anknüpfend an die vorgenommene Parallelisierung der Kovariable des Fachwissens in Tabelle 31 wurde die Lernwirksamkeit der Intervention längsschnittlich überprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 33 aufgelistet und in Abbildung 46 veranschaulicht. Beide Gruppen weisen nach der Intervention mit einem großen Effekt ein signifikant höheres Fachwissen als zu T1 auf, das auch zwei Monate später zu T3 abgerufen werden kann. Während die Probanden der Kontrollgruppe 1.2 Punkte von T1 zu T2 mehr erreichen, steigt das Fachwissen in der Experimentalgruppe um 2.2 Punkte. Diese Interaktion ist mit einem kleinen Effekt signifikant ($p = 0.006$, $d = 0.32$).

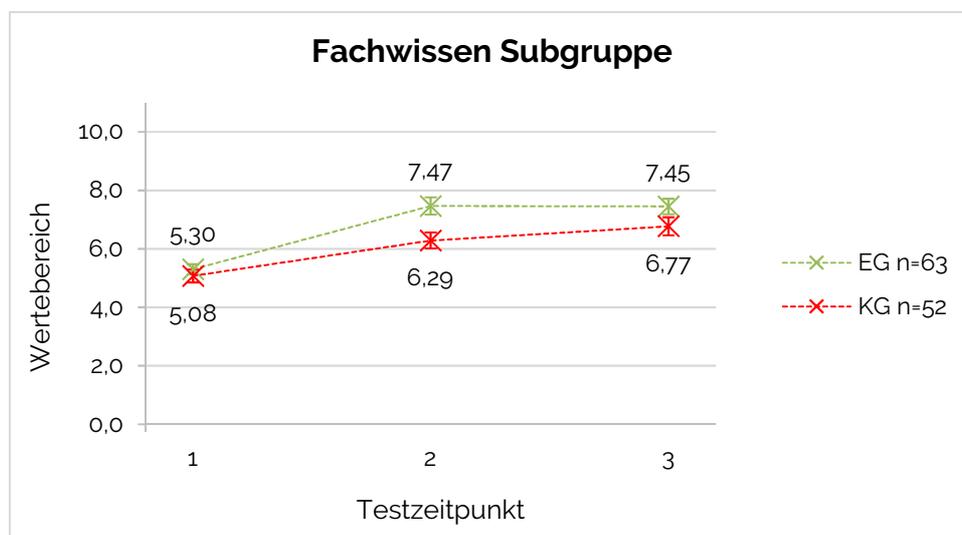


Abbildung 46: Entwicklung des Fachwissens zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- in Rot und Experimentalgruppe in Grün. Ein hoher Zahlenwert bedeutet ein hohes Fachwissen.

Alle Ergebnisse der längsschnittlichen Modellierung mit den zugehörigen Irrtumswahrscheinlichkeiten und Effektgrößen sind in Tabelle 33 zusammengefasst. Die H_0 des latenten Differenzenmodells nimmt keine Unterschiede zwischen Kontroll- und Experimentalgruppe oder zwischen den Kursen über mehrere Testzeitpunkte an.

Tabelle 33: Für die Konstrukte FIC = Chemiebezogenes Fachinteresse, SIC = Chemiebezogenes Sachinteresse mit Subskalen, SDC = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Wissenschaft Chemie, SDN = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Natur, CUN = Einstellung zu Chemie und Natur, NV = Naturverbundenheit, FW = chemiebezogenes Fachwissen, _sub = Subgruppe sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten der latenten Unterschiedsprüfungen als p -Wert und Effektgrößen als Cohen's d angegeben. Die Werte beziehen sich auf die Testzeit-

punkte T1 bis T3 im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe oder zwischen den jeweiligen Kursen. Die Interaktionseffekte sind in den letzten zwei Spalten dargestellt. Signifikante Unterschiede sind fett markiert.

Kon- strukt	T1	T1	T1-T2	T1-T3	T1-T2	T1-T3	T1-T2	T1-T3	T1-T2	T1-T3
	KG_EG	Kurs	KG	KG	EG	EG	Kurs	Kurs	KG_EG	KG_EG
	p/d	p/d	p/d	p/d	p/d	p/d	p/d	p/d	p/d	p/d
FIC	0.08	0.06	0.15	0.02	0.07	<0.001	0.38	0.46	0.38	0.46
	-0.30	-0.35	-0.88	-1.52	-0.45	-1.20	0.22	0.19	0.22	0.19
SIC	0.28	0.48	0.63	0.07	0.66	<0.001	0.44	0.21	0.68	0.90
	0.18	0.12	-0.29	-1.07	-0.09	-1.01	0.17	0.27	0.10	0.03
SIC_I	0.36	-	0.40	0.37	0.007	0.22	-	-	0.33	0.94
	0.09	-	0.18	-0.22	0.45	-0.24	-	-	0.13	-0.01
SIC_K	0.97	0.89	0.61	0.44	0.70	0.003	0.47	0.48	0.63	0.68
	-0.01	-0.03	-0.43	-0.47	-0.14	-0.67	0.23	0.16	0.14	-0.10
SIC_T	0.14	0.26	0.85	0.54	0.17	0.001	0.92	0.99	0.43	0.39
	0.28	0.22	0.16	-0.38	-0.37	-0.80	-0.03	-0.002	-0.26	-0.21
SDC	0.51	0.16	0.25	0.34	0.89	0.26	0.24	0.18	0.13	0.49
	-0.13	-0.28	-0.98	-0.63	-0.05	-0.28	0.35	0.33	0.46	0.17
SDN	0.92	0.60	0.27	0.87	0.39	0.85	0.16	0.17	0.03	0.91
	-0.02	0.10	0.63	0.10	-0.23	0.05	-0.30	-0.28	-0.43	-0.02
SDCUN	0.77	0.33	0.31	0.75	0.56	0.71	0.22	0.21	0.06	0.81
	0.05	0.17	0.58	0.19	-0.15	0.09	-0.26	-0.27	-0.36	-0.05
CUN	0.44	0.43	0.09	0.98	0.29	0.30	0.30	0.10	0.08	0.01
	0.13	0.13	-1.57	-0.03	-0.82	0.94	0.23	0.35	0.37	0.48
NV	0.23	0.18	0.009	0.26	0.11	0.02	0.006	0.22	0.009	0.67
	0.20	0.21	1.09	0.52	0.31	0.36	-0.45	-0.22	-0.39	-0.08
NV_ sub	0.26	0.16	0.13	0.75	0.41	0.12	0.12	0.64	0.11	0.83
	0.21	0.25	0.72	0.18	0.18	0.27	-0.27	-0.09	-0.26	0.04
FW	0.005	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-	<0.001	0.04
	0.28	-	0.78	1.03	1.48	1.44	-	-	0.35	0.20
FW_ sub	0.32	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	-	-	0.006	0.20
	0.11	-	0.82	1.08	1.46	1.36	-	-	0.32	0.14

6 Diskussion

In der Diskussion werden zunächst die eingesetzten Methoden kritisch reflektiert, anschließend die aus der theoretischen Rahmung entnommenen Wirkungsweisen mit der empirischen Studie verknüpft, die Konzeption bewertet und abschließend die Ergebnisse hypothesengeleitet interpretiert sowie diskutiert. Eine zusammenfassende Übersicht stellt Tabelle 34 dar, deren Inhalte in den nachfolgenden Unterkapiteln ausführlicher beschrieben werden.

Tabelle 34: Übersicht der methodischen und inhaltlichen Diskussion.

Methodische Diskussion

- Die Zielgruppe scheint für eine Veränderung der ausgewählten Konstrukte ungeeignet zu sein. Im Sinne der ökologischen Validität wurde den Inhalten der Intervention Vorrang gegeben.
- Die Testgüte in der Vorstudie wurde nicht bewertet. Deshalb wurden nur absolute und relative Häufigkeiten interpretiert.
- Die Lerneinheiten wurden in der Prepilottierung mit unterschiedlichen Methoden an nur bedingt vergleichbaren Probanden getestet, sodass eine vergleichende Übertragbarkeit nicht gewährleistet ist.
- In der Pilotierung wurden die neu entwickelten Messinstrumente an einer zu geringen Stichprobengröße getestet, sodass diese in der Hauptstudie gegebenenfalls erneut optimiert werden müssen.
- Im Rahmen der Hauptstudie wird das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR als multifaktoriell wirksame Lernumgebung eingestuft und deshalb in seiner Gesamtheit und nicht in einem ebenfalls denkbaren 2x2 Design evaluiert.
- Durch den gewählten anspruchsvollen aber fairen Vergleich könnte die Kontrollgruppe auch als zweite Experimentalgruppe angesehen werden, sodass eine weitere Kontrollgruppe nötig wäre, die beispielsweise den Themenbereich Umweltanalytik nach dem Lehrplan im Regelunterricht bearbeitet.
- Ein eventuell auftretender Neuigkeitseffekt wurde durch die mehrfache Durchführung der Intervention minimiert.
- Die eingeschränkte Vergleichbarkeit der Interventionen (keine Randomisierung, Reihenfolgeeffekte, unterschiedliche Vor- und Nachbereitung im Regelunterricht, wechselnde Lernumgebung, Testleiter- und Lehrervariable) wurden falls möglich und nötig in der Auswertung berücksichtigt oder als vernachlässigbar eingeschätzt.
- Die Testgüte der eingesetzten Instrumente in der Hauptstudie wird als akzeptabel bewertet. Lediglich bezüglich der Validität der neu konstruierten Testinstrumente kann noch keine abschließende Aussage getroffen werden.

Inhaltliche Diskussion

- Laut der theoretischen Rahmung sollte die Intervention der Experimentalgruppe einen Effekt auf die Konstrukte des Interesses, der Einstellung zur Wissenschaft Chemie, der Einstellung zur Natur und der Naturverbundenheit ausüben, während die Intervention der Kontrollgruppe lediglich auf das Interesse und die Einstellung zur Wissenschaft Chemie wirkt.
 - Die Lerneinheiten beider Vergleichsgruppen wurden evidenzbasiert optimiert, sodass eine abschließende Praxistauglichkeit gewährleistet wird und diese für die Zielgruppe als adressatengerecht eingeschätzt werden.
 - Die erste Hypothese bezüglich des Anstiegs des Fach- und Sachinteresses in beiden Vergleichsgruppen wird falsifiziert, da nur das inhaltsbezogene Sachinteresse in der Experimentalgruppe kurzfristig angestiegen ist.
 - Die zweite Hypothese wird angenommen, da sich die Einstellung zu Chemie und Natur in der Experimentalgruppe langfristig verbessert hat.
 - Die dritte Hypothese bezüglich einer Zunahme der Naturverbundenheit in der Experimentalgruppe wird falsifiziert, da widersprüchliche Effekte in beiden Vergleichsgruppen festgestellt wurden.
 - Lernende im Freiland erreichen einen höheren Wissenszuwachs als im Klassenraum. Dieser Interaktionseffekt wird mit der Attention Restoration Theory erklärt.
-

6.1 Methodenkritik

Sowohl bei den Methoden der Datenerhebung als auch bei den Methoden der Datenauswertung ergeben sich mögliche Kritikpunkte, die die Aussagekraft der Ergebnisse einschränken. Da es sich bei den teilnehmenden Probanden um Gelegenheitsstichproben und nicht um Zufallsstichproben handelt, ist die generelle Übertragbarkeit der Ergebnisse nur bedingt gewährleistet (Döring & Bortz, 2016). Zusätzlich scheint die Wahl der Stichprobe im Bereich der Sekundarstufe II für die zu untersuchenden abhängigen Variablen, wie Interesse und Einstellung unpassend, da diese sich mit zunehmendem Alter nach der Pubertät bereits gefestigt haben (Krapp, 2006). Dies mag zutreffen, allerdings wäre damit auch der Rückschluss verknüpft, dass ein geglückter Interessens- oder Einstellungswandel in der Sekundarstufe II wohl weitreichendere Effekte in der Sekundarstufe I erzielen könnte. Im Sinne der ökologischen Validität begründet sich die Wahl der Stichprobe durch die Inhalte des entwickelten Unterrichtskonzepts. Naturstoffe weisen zumeist komplexe Strukturformeln und vielseitige Reaktionsmöglichkeiten auf, für die ein chemisches Grundverständnis erforderlich ist. Die sich daraus ergebenden Inhalte der konzipierten CHEMIE PUR Lerneinheiten sind deshalb vor allem im Lehrplan der Sekundarstufe II wiederzufinden.

Vorstudie

Die Qualität des Online-Fragebogens der Vorstudie wurde nicht anhand von einer Itemanalyse überprüft, sondern lediglich das Dispersionsmaß und die Anzahl an fehlenden Werten berichtet. Denkbar wären Korrelationen der Items auszuwerten oder die Test-Retest-Reliabilität zu erfassen. Allerdings sollte die Vorstudie lediglich als Bedarfsanalyse für und Bestandserhebung von Outdoor Chemieunterricht dienen, um entsprechende deskriptive Indizien mit absoluten und relativen Häufigkeiten zu liefern. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist ebenfalls der geringe Ausschöpfungsgrad der Online-Umfrage zu berücksichtigen. Die 47 befragten Lehrpersonen können dabei auch eine Positivauswahl darstellen.

Prepilotierung

Bei der Prepilotierung wurden zur Datenerhebung heterogene Stichproben genutzt (z. B. Chemie-Lehramts- oder Medizinstudierende, Medizintechnische Assistent- oder Chemielaborant-Auszubildende, Lernende aus Chemie Grund- oder Leistungskursen), die teilweise nur in einem geringen Maß mit

der Zielgruppe der Sekundarstufe II vergleichbar sind. Allerdings ist allen Probanden gemeinsam, dass ihre Ausbildung in Bezug zur Wissenschaft Chemie steht.

Die Methode der Videografie unterliegt einer unvermeidbaren subjektiven Interpretation des Filmenden, da die Kameraführung oder Perspektiven- und Szenenwahl die Objektivität entsprechend beeinflussen (Brückmann & Duit, 2014). Der Einsatz einer GoPro Action Cam in Ego-Perspektive legt die Kameraführung in die Hände des Probanden ohne subjektive Vorauswahl des Forschenden. Allerdings führt dies zu einer mangelnden Standardisierbarkeit der Aufnahmen und durch die vorgegebene Perspektive können relevante Bereiche, wie beispielsweise das Gesicht des Filmenden, nicht erfasst werden.

Bei der Methode des lauten Denkens ist die kontinuierliche Verbalisierung kritisch zu sehen. Häufig werden die Gedanken im Verlauf der Bearbeitung immer weniger verbalisiert und es bedarf einer kontinuierlichen Anregung, um dem entgegen zu wirken (Sandmann, 2014). Als Methodentraining wurde deshalb vor der eigentlichen Datenerhebung eine Übungsaufgabe eingesetzt, bei der beispielsweise beim Falten eines Papierflugzeugs alle Gedanken verbalisiert werden sollen (ebd.).

Bei den Methoden der Datenauswertung wurde ebenfalls keine Überprüfung der Gütekriterien durchgeführt. Es bleibt ungeklärt in wie weit beispielsweise die genutzten Kategoriensysteme zur Auswertung der Daten im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse objektiv, reliabel oder valide sind. Allerdings werden Daten aus Videos und lautem Denken generell eine hohe Validität zugesprochen (Brückmann & Duit, 2014).

Bei der Textoberflächenanalyse wurde der Lesbarkeitsindex LIX sowie der Verständlichkeitsindikator K herangezogen, um die Schwierigkeit der Texte der Durchführung und Deutung zu bewerten. Hierbei ist kritisch zu hinterfragen, ob Versuchsskripte oder Experimentieranleitungen als typische Texte anzusehen sind, da beispielsweise Strukturierungshilfen, wie die Nummerierungen der Arbeitsschritte die Fließtextform auflösen. Dies könnte möglicherweise zu Verzerrungen der berechneten Textschwierigkeit führen, was bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollte.

Pilotierung

Bei der Pilotierung wäre zur Berechnung von psychometrischen Itemkennwerten eine Gruppengröße von mindestens 40 Personen nötig gewesen (Riese & Reinhold, 2014). Obwohl die Voraussetzung mit 30 beziehungsweise

39 Probanden nicht gegeben war, wurde trotzdem eine Itemanalyse durchgeführt. Daher sind diese Ergebnisse nur eingeschränkt belastbar und werden anhand der größeren Stichprobe in der Hauptstudie gefestigt.

Bei der Testkonstruktion der Skala zur Einstellung zu Chemie und Natur messen die zwei Items CUN_A4 und CUN_A11 keine unterschiedlichen Aspekte des Konstrukts, sondern maximieren lediglich die Reliabilität, weshalb ein Item gelöscht wurde (Bühner, 2011). Die Items CUN_A3.r, CUN_A7.r und CUN_A12.r messen eher ein Verhalten anstatt die Einstellung und wurden daher umformuliert (Bühner, 2011). Zusätzlich zu dieser Skala hätte mit drei Items begleitend der Bezug der Lerneinheiten zum Konstrukt gewährleistet werden können, beispielsweise mit der Formulierung: „Die heutige Einheit verbinde ich mit Chemie / Natur / Natur und Chemie“.

Die Skala zum chemiebezogenen Fachwissen enthält ein logisch abhängiges Item, das ebenfalls gelöscht wurde (Bühner, 2011). Das Item FW_8 kann durch den Aufgabentext des Items FW_9 gelöst werden. Auch das Item FW_15 wurde von der Auswertung ausgeschlossen, da die Strukturformel des Items erst im Posttest eingesetzt wurde. Weiterhin wurde mit einem dichotomen Item abgefragt, wie sicher sich die Probanden bei ihrer Antwort sind (Theyßen, 2014). Hier hätte auch eine mehrstufige Likert-Skala mit der zusätzlichen Antwortmöglichkeit „keine Angabe“ eingesetzt werden können. Durch das dichotome forced choice Format wird vermutlich die Wahl „unsicher“ begünstigt, da dies die Selbstkonzept-wahrende Option darstellen könnte. Die Skala zum Fachwissen wurde deshalb sowohl nur anhand der richtigen Antworten der multiple Choice Fragen als auch aus der Kombination von korrekter und sicherer Antwort ausgewertet.

Hauptstudie

Das gewählte Forschungsdesign der Evaluationsstudie mit Experimental- und Kontrollgruppe wirft Fragen und Probleme auf. Es wird der Anschein erweckt, dass zwei unabhängige Merkmale (Lernumgebung drinnen vs. draußen und Nichtnaturkontext vs. Naturkontext) gleichzeitig variiert wurden, so dass ein 2x2 Design notwendig gewesen wäre. Allerdings lag der Fokus der Forschungsfrage nicht auf diesen zwei unabhängigen Variablen, sondern auf der Evaluation des Unterrichtskonzepts CHEMIE PUR als Gesamtpaket im Vergleich zu herkömmlichen schulischen Experimentiersettings (Parchmann & Kuhn, 2018). Sind hierbei Unterschiede in der Wirkungsweise auf die gewählten abhängigen Variablen festzustellen, wäre es sicherlich im zweiten Schritt denkbar Lernumgebung und Kontext gezielter zu analysieren. Ähnlich argu-

mentierte auch Weßnigk und Euler (2014), die beispielsweise den Besuch eines Schülerlabors als multifaktoriell wirksame Lernumgebung ansehen und diese in ihrer Gesamtheit evaluieren. Allerdings stellt sich die Frage, ob es sich bei der Kontrollgruppe um realistische schulische Experimentiersettings handelt oder ob die durchgeführten Einheiten als zweite Experimentalgruppe einzustufen sind und eine weitere Kontrollgruppe nötig gewesen wäre (Bennett et al., 2007), die beispielsweise den verfügbaren Themenvorschlag für die fächerübergreifende Unterrichtseinheit „Umweltanalytik: Wasser – Boden – Luft“ im Regelunterricht bearbeitet (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz, 1998). Hier wurde zu Gunsten eines fairen, aber durchaus anspruchsvolleren Vergleichs beider Gruppen entschieden, passgenaue Lerneinheiten auch für die Kontrollgruppe zu entwickeln (Theyßen, 2014). Nach Rost (2000) hätte gegebenenfalls auf eine Kontrollgruppe verzichtet werden können, da bei der Untersuchung einer komplexen Lernumgebung diese schwierig zu definieren ist, zu einem artifiziellen, realitätsfernen Gegenpol führen kann und deren Erkenntnisse mangels externer Validität wenig aussagekräftig sein können.

Da es sich bei CHEMIE PUR um ein neues Unterrichtskonzept handelt und auch nicht davon ausgegangen wird, dass die Probanden in ihrem Regelunterricht mehrmals im Schulhalbjahr einen außerschulischen Lernort besuchen, könnte ein Neuigkeitseffekt auftreten, der besonders das aktuelle, situationalen Interesse beeinflusst (Theyßen, 2014). Dieser Eventcharakter wurde in beiden Vergleichsgruppen minimiert, indem sich die Probanden durch mehrere Lerneinheiten über einen Zeitraum von drei Monaten an die Intervention gewöhnen konnten (ebd.). Außerdem wurde versucht die Intervention beider Vergleichsgruppen vergleichbar interessant zu gestalten, sodass ein Neuigkeitseffekt zu mindestens bei den ersten Lerneinheiten in Kauf genommen wurde (ebd.).

Die randomisierte Zuweisung der Probanden zu Experimental- und Kontrollgruppe war aufgrund von organisatorischen Rahmenbedingungen nicht möglich (ebd.). Zum einen wurden alle Probanden einer Schule aufgrund der größeren Entfernung zum Campus der Experimentalgruppe zugeordnet. Diese Schule befindet sich am Stadtrand, wo zurzeit das Schülerlabor Freilandmobil seinen Standort hat und so als Ausgangspunkt für die CHEMIE PUR Lerneinheiten genutzt werden konnte. Die Probanden der anderen zwei Schulen nutzten entweder in der Kontrollgruppe verschiedene Ausbildungslabore am Campus oder in der Experimentalgruppe die naturnahe Umge-

bung der Fortanlage um den Campus. Dadurch konnte innerhalb beider Vergleichsgruppen die Lernumgebung nicht konstant gehalten werden. Die Unterschiede werden allerdings als vernachlässigbar eingeschätzt.

Zum anderen wurden zur maximalen Probandenakquise Wünsche der beteiligten Lehrpersonen berücksichtigt. Eine Lehrperson interessierte sich mehr für die CHEMIE PUR Lerneinheiten und wurde deshalb der Experimentalgruppe zugeordnet, zwei andere Lehrpersonen mehr für die Lerneinheiten der Kontrollgruppe. Aus diesen Gründen war selbst für die Parallelisierung auf Grundlage der Pre-Test Ergebnisse nur wenig Spielraum. Eine Vergleichbarkeit der Stichprobe in Bezug auf die Einteilung von Leistungs- und Grundkursen sowie Jahrgangsstufen oder Schulzugehörigkeit konnte so nicht erreicht werden. Aufgrund der vorgenommenen Parallelisierung der abhängigen Variablen wurden diese Unterschiede zwischen Experimental- und Kontrollgruppe als irrelevant bewertet (ebd.). Einzige Ausnahme stellt die Kovariable des chemiebezogenen Fachwissens dar. Hierbei wird davon ausgegangen, dass Probanden der Chemie Leistungskurse oder der Jahrgangsstufe zwölf ein höheres Fachwissen aufweisen als Probanden der Chemie Grundkurse oder der Jahrgangsstufe elf.

Auch die Reihenfolge der Lerneinheiten in Experimental- und Kontrollgruppe war unterschiedlich. Zwar wurde der Vorschlag unterbreitet, dass die Abfolge der Themen so gewählt werden, wie es der Lehrplan inhaltlich vorsieht, allerdings entschieden sich elf der 13 Kurse für einen individuellen Ablauf, der besser zum Unterrichtsgang der Lehrperson passte. Zusätzlich konnten die Lehrpersonen aus jeweils vier Lerneinheiten, die insgesamt sechs Doppelstunden umfassen, fünf Doppelstunden auswählen, was ebenfalls zu Unterschieden führte. Diese mangelnde Vergleichbarkeit innerhalb von Experimental- und Kontrollgruppe wird als vernachlässigbar eingeschätzt, da weder von Reihenfolgeeffekten noch von themengebundenen Effekten durch unterschiedliche Inhalte ausgegangen wird.

Die Interventionsmaßnahme in Experimental- und Kontrollgruppe wurde über den Zeitraum eines Schulhalbjahres verteilt. Zwischen den durchgeführten Lerneinheiten fand Regelunterricht statt, den die Lehrpersonen zur Vor- und Nachbereitung der Inhalte der Lerneinheiten nutzen konnten. Die Einbettung in den Unterricht blieb den beteiligten Lehrpersonen überlassen. Daraus ergebenden sich Unterschiede, die Auswirkungen auf die Effektivität der Intervention – im konkreten Fall des Besuchs eines außerschulischen Lernorts – haben (Guderian, 2007). Da nur sporadische Informationen über die Qualität

und Quantität der Vor- und Nachbereitung der Lerneinheiten vorliegen, können diese Effekte bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden.

Die Interventionsmaßnahme der Experimentalgruppe fand nur bei zulässigen Wetterbedingungen im Freien statt. Dadurch konnte nicht das volle Potential des Unterrichtskonzepts CHEMIE PUR ausgenutzt werden. Da nahezu alle Kurse der Experimentalgruppe vergleichbar häufig regnerischem Wetter ausgesetzt waren, wird dieser Unterschied als nicht bedeutsam betrachtet.

Der verantwortliche Wissenschaftler war bei allen Datenerhebungen und Interventionen persönlich anwesend. Dies könnte zu einem Versuchsleitererwartungseffekt (Pygmalion-Effekt) führen, bei dem die (unter)bewussten Erwartungen des Forschers, selbst wenn er versucht neutral zu sein, zu einer Beeinflussung des tatsächlichen Verhaltens der Probanden führen kann (Rosenthal & Jacobson, 1968). Aus diesem Grund unterstützten mehrere studentische Hilfskräfte die Durchführungen der Intervention der Kontroll- und Experimentalgruppe, sodass sich der Versuchsleiter größtenteils zurückziehen und mehr in die Rolle eines außenstehenden Beobachters wechseln konnte. Zusätzlich sind die Lerneinheiten so konzipiert, dass die zentralen Informationen durch ein Skript vermittelt und die praktische Phase selbständig und eigenverantwortlich durchgeführt werden konnte, wodurch der Einfluss der Lehrperson so gering wie möglich gehalten wurde.

Bei den Methoden der Datenauswertung wurde auf Mehrebenenanalysen aufgrund der zu geringen Stichprobe pro Level verzichtet (Kuhn, 2014). Die Schachtelung der Daten in vier Levels (Testzeitpunkt, Kurs, Jahrgangsstufe, Schule) wurde lediglich in den latenten Differenzenmodellen mit einem kursspezifischen Prädiktor berücksichtigt. Alternativ hätten die Standardfehler mit dem R-Paket `lavaan.survey` korrigiert werden können, jedoch hätten hier alle fehlenden Werte listenweise ausgeschlossen werden müssen (Oberski, 2014), da bisher noch kein FIML-Verfahren entwickelt wurde.

Die Datenauswertung basiert durch Fehltermine auf einer selektierten Stichprobengröße von $n = 149$ aus $n = 191$ Probanden. Laut den Ergebnissen der Poweranalyse wären jedoch 164 Probanden nötig gewesen, um kleine Effekte nachzuweisen. Scrutton und Beames (2015) empfehlen in ihrer Metastudie für den Bereich Outdoor Education Stichprobengrößen von 80-100 Probanden, um die üblichen Effektgrößen von $d = 0.3$ oder $d = 0.4$ bei einer Testpower von 0.8 nachzuweisen. Allerdings weisen die Autoren ebenfalls darauf hin, dass sich durch die Einteilung in Subgruppen – wie auch im vorliegenden Fall in

Kontroll- (n = 64) und Experimentalgruppe (n = 85) – die Stichprobe weiter verkleinert und deshalb die Übertragbarkeit der Ergebnisse häufig nur auf eine spezifische größere Population möglich ist (ebd.).

Bewertung der Testinstrumente

Die genutzten Testinstrumente wurden literaturbasiert anhand der Kriterien von inhaltlicher Passung und Qualität des Instruments ausgewählt. Für die abhängige Variable des Interesses hätte zum jetzigen Zeitpunkt das RIASEC+N Modell herangezogen werden können, da dieses die verschiedenen Dimensionen des Interesses feiner auflöst und ein Abgleich der Ergebnisse mit aktuellen Studien möglich gewesen wäre (Dierks et al., 2014a; Blankenburg & Scheersoi, 2018). Allerdings überschneidet sich die Überarbeitung des Instruments (vgl. Blankenburg et al., 2016; Dierks et al., 2016) mit dem Zeitpunkt der Pilotierung und Hauptstudie dieser Arbeit. Für die Erfassung der Einstellung zur Wissenschaft Chemie hätte das am besten bewertete Instrument im Review von Blalock et al. (2008) verwendet werden können. Dieses Instrument wurde theoretisch abgeleitet, umfassend validiert und reliabel mit 700 Probanden erprobt (Germann, 1988). Trotz allem wurde der Einsatz der semantischen Differenziale (vgl. Kaufmann, 2000; Weßnigk, 2013; Krischer, 2015) bevorzugt, da diese direkt in Bezug zur Einstellung zur Natur gesetzt werden können und kein weiteres Instrument benötigt wird. Für die dritte abhängige Variable der Naturverbundenheit wurde sich der Fragebogenskala von Brügger et al. (2011) bedient, die aus fünf etablierten Instrumenten synthetisiert wurde und sich bereits vielfach in weiteren Studien bewährt hat (vgl. Roczen, 2011; Liefländer, 2012; Bogner, 2018).

Im Kapitel der Ergebnisse wurden bereits zahlreiche Kennwerte der Testgüte berichtet und diese anhand von psychometrischen Grenzwerten eingeordnet, allerdings wurde bisher noch keine Bewertung mit inhaltlich vergleichbaren empirischen Studien vorgenommen. Dazu wurde exemplarisch die interne Konsistenz der genutzten Fragebogenskalen herangezogen. Die jeweiligen α -Werte als Maß der Reliabilität (Cronbach, 1951) sind in Tabelle 35 aufgeführt. Hierbei zeigen sich nur geringe Abweichungen zu Vorgängerstudien, sodass die allgemeine Testgüte als akzeptabel und plausibel eingeschätzt werden kann. Lediglich die Reliabilität der kognitiven Belastung unterscheidet sich um den Wert von 0.21 bis 0.28. Dies lässt sich allerdings dadurch erklären, dass die Skala in Leppink et al. (2013) zehn Items und drei Subskalen umfasst, während in der vorliegenden Studie nur zwei übergeordnete Items, wie in der Studie von Koenen (2014), verwendet worden sind.

Tabelle 35: Für die Konstrukte FSK = Chemiebezogenes Fähigkeitsselbstkonzept, FIC = Chemiebezogenes Fachinteresse, SIC = Chemiebezogenes Sachinteresse, SDC = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Wissenschaft Chemie, SDN = Semantisches Differenzial der Einstellung zur Natur, NV = Naturverbundenheit, FW = Fachwissen im Posttest, AI = Aktuelles Interesse ohne Subskalen und CL = Kognitive Belastung ohne Subskalen sind die Itemkennwerte α = Reliabilität nach Cronbach der beschriebenen Hauptstudie mit Kennwerten aus der Literatur in Beziehung gesetzt. Auffälligkeiten und Abweichungen der Kennwerte sind fett markiert.

Konstrukt	α > 0.5	α_{LIT} > 0.5	Quelle
FSK	0.89	0.87	Köller et al. 2000
		0.83	Brandt, 2005
		0.86	Pawek, 2009
		0.93	Weßnigk, 2013
FIC	0.89	0.83	Köller et al. 2000
		0.87	Pawek, 2009
		0.87	Weßnigk, 2013
SIC	0.77 – 0.88	0.66 – 0.76	Brandt, 2005
		0.50 – 0.88	Busker, 2010
SDC	0.74	0.90	Weßnigk, 2013
		0.86	Krischer, 2015
SDN	0.68	0.87	Krischer, 2015
NV	0.80	0.89	Roczen, 2011
FW Post	0.63	0.74	Freyer, 2013
AI	0.85	0.66 – 0.90	Rheinberg et al., 2001
		0.63 – 0.95	Fechner, 2009
		0.64 – 0.86	Pawek, 2009
CL	0.54	0.75 – 0.82	Leppink et al. 2013

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die eingesetzten Testinstrumente als geeignet für die vorliegende Studie eingeschätzt werden und das Ziel der Pilotierung – die Qualität der Instrumente zu prüfen und notwendige Adaptionen zu identifizieren – als grundlegend erreicht betrachtet wird. Es sei jedoch anzumerken, dass ausgewählte Testinstrumente neu konstruiert worden sind und sich im Validierungsverfahren befinden, sodass hierzu noch keine endgültige Aussage getroffen werden kann. Die Ergebnisse der Validierung werden separat publiziert.

6.2 Diskussion der Hypothesen

Für die CHEMIE PUR Lerneinheiten wird in der Experimentalgruppe im Freiland ein sekundärer außerschulischer Lernort aufgesucht, der im Gegensatz zu primären außerschulischen Lernorten didaktisch nicht gestaltet wurde (Sauerborn & Brühne, 2012). Diese naturnahe Lernumgebung bewirkt in Form von curricular verankerter Outdoor Education ein gesteigertes Interesse am Lernen (Waite et al., 2015; Becker et al., 2017) und begünstigt eine positivere Umwelteinstellung (Stern et al., 2014; Becker et al., 2017). Zusätzlich sind der Kontakt zur Natur besonders in Begleitung und der Genuss des Naturaufenthaltes in der Experimentalgruppe die wesentlichen Faktoren zur Ausbildung von Naturverbundenheit (Chawla, 1998; Roczen, 2011). Die Lerneinheiten der Kontrollgruppe finden in den Laborräumlichkeiten am Campus statt, was am ehesten vergleichbar zu einem Besuch eines Schülerlabors ist. Wie Studien aus der Schülerlaborforschung zeigen, kann dieser das Interesse (Pawek, 2009), aber auch die Einstellung zur Wissenschaft Chemie (Weßnigk, 2013) positiv beeinflussen.

Generell könnten beide Lernumgebungen auch als Merkmal eines Makrokontexts definiert werden, während die tatsächlich bearbeiteten Themen und Inhalte als Mikrokontext zu verstehen sind (Parchmann & Kuhn, 2018). In der Unterrichtspraxis können diese beiden Perspektiven jedoch selten trennscharf unterschieden werden und wirken daher – wie auch beim Unterrichtskonzept CHEMIE PUR – meist zusammen (Gilbert, 2006). Die Kontextorientierung der Lerneinheiten beider Vergleichsgruppen können ebenfalls das Interesse (Fechner, 2009; Kölbach & Sumfleth 2013; Parchmann & Kuhn, 2018) und die Einstellung zur Wissenschaft Chemie (Bennett et al., 2007; Ültay & Çalik, 2012) positiv verändern, wobei besondere Kontexte (Van Vorst et al., 2018) mit persönlichem Bezug (Bromann & Parchmann, 2014) den größten Effekt haben. Nach dem Modell von Van Vorst (2013) werden die eingesetzten Kontexte großteils als alltäglich bewertet. Die Lerneinheiten zum Kontext Sonnenschutz weisen jahreszeitenspezifisch einen aktuellen und damit einen unmittelbar verknüpften persönlichen Bezug auf, weshalb diese vermutlich am interessantesten eingeschätzt worden sind. Zusätzlich ermöglichen die naturnahen Kontexte der CHEMIE PUR Lerneinheiten das Bewusstmachen einer antagonistischen Sichtweise von Chemie und Natur (Kaufmann, 2000; Krischer, 2015; Krischer et al., 2016).

Die genutzten Lehr-Lernmethoden orientieren sich an den catch- und hold-Faktoren der Theorie zur Interessensentwicklung (Krapp, 2002a) sowie an den basic needs der Selbstbestimmungstheorie der Motivation (Deci & Ryan,

1993), aber auch an Ansätzen der Einstellungsänderung im Bereich des außerschulischen Lernens oder der Umweltbildung und BNE. Förderliche Kriterien für eine Veränderung des Interesses und der Einstellung umfassen beispielsweise situiertes, eigenverantwortliches, schülerzentriertes und kooperatives Lernen in Gruppenarbeit mit handlungs- und erlebnisorientierten, problembasierten und forschend-experimentellen Aktivitäten an einem außerschulischen Lernort (Markic & Eilks, 2006, Hidi & Renninger, 2006; Potvin & Hasni, 2014; Stern et al., 2014; Becker et al., 2017; Blankenburg & Scheersoi, 2018). Zudem führen in der Experimentalgruppe naturwissenschaftliche, erkundende, ästhetische und ökologische Naturerfahrungen in authentischen Situationen zu einer ausgeprägten Naturverbundenheit (Bögeholz, 2006; Lude, 2006). Dieses aus der Literatur angenommene Wirkungsgefüge ist in Abbildung 47 zusammengefasst.

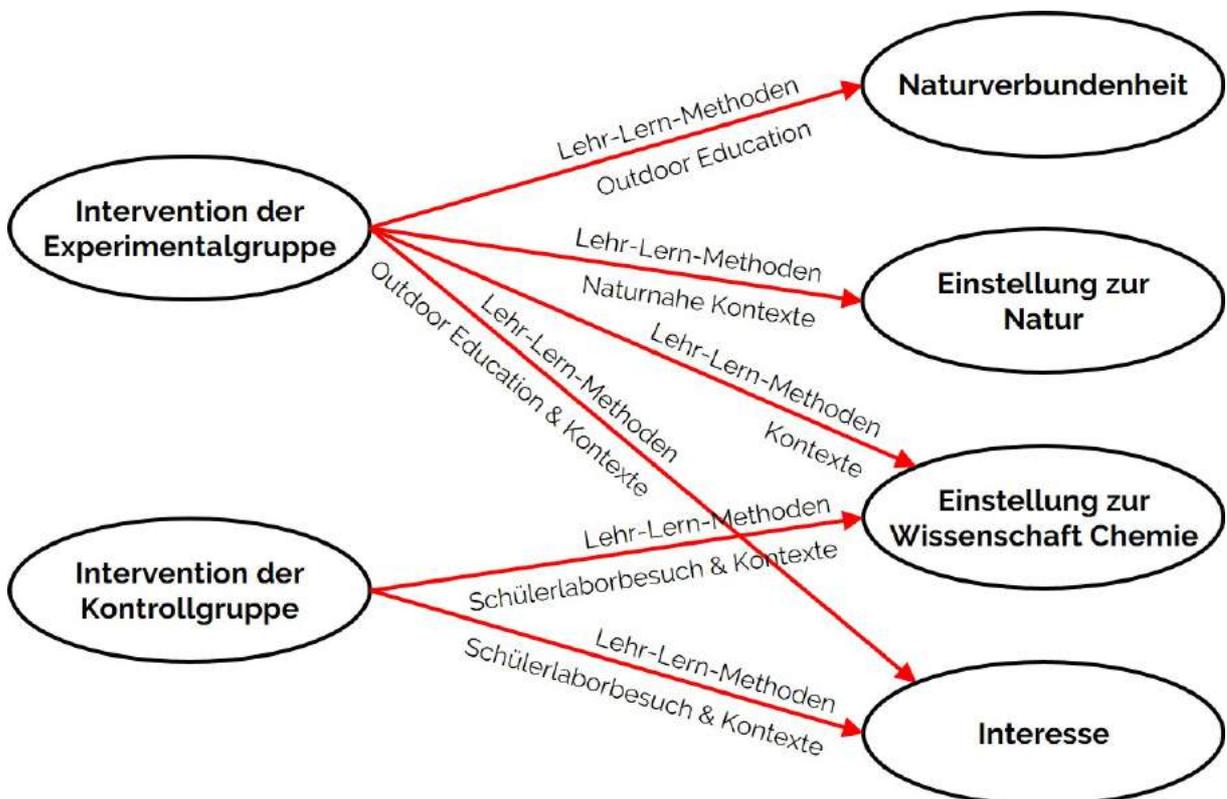


Abbildung 47: Aus der Literatur abgeleitetes Wirkungsgefüge der unabhängigen Variable auf die abhängigen Variablen.

Bewertung der Konzeption

Outdoor Education spielt in Deutschland, besonders in der Sekundarstufe, eine untergeordnete Rolle (Von Au, 2016). Für den Chemieunterricht gibt es bisher wenige Ansätze (vgl. Borrows, 2004; Borrows, 2006; Gröger et al., 2014; Hock, 2015; Spitzer & Lembens, 2017). Die Ergebnisse der Vorstudie zeigen, dass Lehrpersonen sich durchaus vorstellen können im Freiland zu unterrichten und auch entweder direkt auf dem Schulgelände oder in unmittelbarer Nähe eine geeignete Lernumgebung aufsuchen könnten. Allerdings schrecken sie noch vor dem zumeist erhöhten organisatorischen Aufwand zurück. Diese Erkenntnis deckt sich mit den identifizierten Barrieren von Outdoor Education im Review von Waite et al. (2015), aber auch mit den empirischen Ergebnissen bei der Arbeit in Schulgärten oder im naturnahen Schulgelände (Alisch, Zabler, Bay, Köhler & Lehnert, 2005). Zur Nutzung des Potentials und zur Reduktion der Hürden von Outdoor Education sprechen sich Dillon et al. (2005) für eine routinemäßige und curriculare Verankerung – auch im Bereich der Aus- und Weiterbildung – aus, wie es beispielsweise in Schottland (Beames et al., 2012) oder den skandinavischen Ländern Dänemark, Norwegen und Schweden üblich ist (Bentsen, 2016). Um dies zu verwirklichen, wünschen sich die befragten Lehrpersonen unterstützende Materialien, da sie bisher vor allem aufgrund sicherheitsrelevanter Experimente oder beim Thema Umweltanalytik, beispielsweise für Gewässeruntersuchungen, Unterricht draußen durchführten. Mit dem Unterrichtskonzept CHEMIE PUR wurde dieser Wunsch aufgegriffen und mehrere Lerneinheiten zu verschiedenen Themen der Sekundarstufe II entwickelt. Das Konzept und die Materialien wurden durch zahlreiche Vorträge, Workshops, Fortbildungen und Veröffentlichungen für die Unterrichtspraxis zugänglich gemacht. Die Rückmeldungen der beteiligten Lehrpersonen, aber auch die passende Einordnung in die Bildungsstandards und den Lehrplan zeigen, dass sich die Lerneinheiten für den Einsatz im Chemie Unterricht der Sekundarstufe II eignen. Auf Grundlage der mehrphasigen Durchführung und Optimierung (z. B. Ausdehnung von vier Lerneinheiten auf jeweils zwei Doppelstunden, Konkretisierung der Einführung und Abschlussbesprechung, Überarbeitung von mehreren Experimenten, Verzicht auf den Einsatz von GPS Geräten, Vereinfachung von Texten, Ergänzung von Abbildungen) können die CHEMIE PUR Lerneinheiten als praxistauglich angesehen werden. Durch die begleitenden Datenerhebungen ist zudem empirisch belegbar, dass die Lerneinheiten unabhängig vom Geschlecht zu keiner Unter- oder Überforderung der Schüler führen und zusätzlich aktuelles, situ-

ationales Interesse auslösen. Laut den Ergebnissen der Textoberflächenanalyse gelten die Texte im Versuchsskript, welche vom Komplexitätsniveau als Sachtexte einzuordnen sind (Lenhard & Lenhard, 2017), als verständlich für die Zielgruppe der gymnasialen Oberstufe. Vor diesem Hintergrund sind die Ziele der Prepilottierung – die Lerneinheiten evidenzbasiert zu optimieren und die Praxistauglichkeit zu evaluieren – als grundlegend erreicht anzusehen.

Bewertung der Hypothesen

Die Evaluationsstudie mit quasi-experimentellen Kontrollgruppendesign ging der leitenden Forschungsfrage nach, wie sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülern der Sekundarstufe II auswirkt (Engl & Risch, 2017). Dazu wurden drei Hypothesen formuliert.

(H1) Bei beiden Vergleichsgruppen steigt das chemiebezogene Fach- und Sachinteresse an.

Da das Interessenskonstrukt mit dem Fähigkeitsselbstkonzept korreliert (Daniels, 2008), wird zunächst der Einfluss dieser Kovariable diskutiert. Der Mittelwert beträgt bei beiden Vergleichsgruppen $MW = 3$ auf einer vierstufigen Skala, sodass zwar von einem ausgeprägten, aber signifikant nicht unterscheidbarem Fähigkeitsselbstkonzept ausgegangen werden kann.

Weder in der Experimental- noch in der Kontrollgruppe lässt sich ein Interessensanstieg am Fach Chemie nachweisen. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Interventionsmaßnahmen nicht geeignet waren, um das bereits gefestigte Fachinteresse in der Sekundarstufe II zu verändern (Krapp, 2006). Ganz im Gegenteil zeigt sich empirisch ein signifikanter Interessensabfall über den Testzeitraum von sechs Monaten. Dieses Ergebnis kann in Bezug zu zwei längsschnittlichen Interessensstudien im Fach Chemie gesetzt werden, die in der Oberstufe ein stagnierendes Interesse deutlich unterhalb des Niveaus der Orientierungsstufe nachweisen konnten (Höffler et al., 2014; Höft et al., 2019). Deskriptiv sinkt das Interesse in der Experimentalgruppe weniger als in der Kontrollgruppe. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant.

Für das Sachinteresse werden vergleichbare Tendenzen aufgedeckt. Während in beiden Vergleichsgruppen über die Dauer der Intervention das Sachinteresse nahezu konstant bleibt, fällt dieses, ausgelöst durch das kontext- und tätigkeitsbezogene Sachinteresse, über den Zeitraum der Sommerferien bis zu den Herbstferien signifikant ab. Auch hier können Rückschlüsse auf den allgemeinen Interessensverlust in einer Schullaufbahn gezogen wer-

den (ebd.). Die Wirkung der Interventionsmaßnahme gliedert sich in die bisherigen Befunde aus der Schülerlaborforschung ein, wo weder einmalige (Brandt, 2005) noch dreifache (Guderian, 2007) und durch die vorliegende Studie auch keine fünffachen Besuche eines außerschulischen Lernorts das allgemeine Sachinteresse verändern können. Möglicherweise sind die Kontexte und Tätigkeiten auf Basis von kognitiv-rationalen Überlegungen als nicht hinreichend bedeutsam bewertet worden, sodass eine individuelle Interessensentwicklung erschwert wurde (Krapp, 1998).

Allerdings zeigt sich bei näherer Betrachtung in der Experimentalgruppe kurzfristig mit einem kleinen Effekt ein signifikanter Anstieg des inhaltsbezogenen Sachinteresses vom ersten zum zweiten Testzeitpunkt und das obwohl die Lerneinheiten der Kontrollgruppe mit einem kleinen Effekt signifikant interessanter sowie kognitiv angemessener bewertet worden sind und laut Textoberflächenanalyse leichter verständlich sind. Van Vorst (2013) deckte in der Mittelstufe zudem auf, dass Mädchen im Vergleich zu Jungen mit einem kleinen Effekt interessierter an naturnahen Kontexten sind. Diese geschlechtsabhängige Interessensausprägung konnte in der vorliegenden Studie für Schüler der Oberstufe nicht repliziert werden. Die Veränderung des inhaltsbezogenen Sachinteresses könnte trotz aller bisherigen Effekte auf die aus der Theorie angenommene Wirkung der Interventionsmaßnahme zurückzuführen sein (vgl. Hidi & Renninger, 2006; Potvin & Hasni, 2014; Stern et al., 2014; Waite et al., 2015; Becker et al., 2017). Im Gegensatz zur Hauptstudie konnte in der Pilotierung das tätigkeitsbezogene Sachinteresse positiv beeinflusst werden. Allerdings basiert dieses Ergebnis nur auf einer geringen Stichprobe und ist deshalb nur eingeschränkt interpretierbar. Das Verschwinden des Effekts in der Hauptstudie könnte allerdings damit zu erklären sein, dass der Verzicht der Nutzung digitaler Medien (GPS Geräte und Lernmodule auf Tablet PCs) die Wirkungsmöglichkeit der catch-Faktoren bei der Interessensentwicklung minimiert hat (Hidi & Renninger, 2006).

Zusammenfassend muss die erste Hypothese abgelehnt werden, da nur das inhaltsbezogene Sachinteresse in der Experimentalgruppe kurzfristig anstiegen ist.

(H2) Die Einstellung zu Chemie und Natur verbessert sich in der Experimentalgruppe.

Bei der indirekten Erfassung der Einstellung zu Chemie und Natur durch die Verknüpfung der zwei semantischen Differenziale zeigen sich zwar mit einem großen Effekt der typische Unterschied der bereits mehrfach dokumentierten antagonistischen Sichtweise von Chemie und Natur (Scharf & Werth, 1989; Werth, 1991; Scharf & Werth, 1991; Kaufmann, 2000; Krischer, 2015; Krischer et al. 2016), jedoch treten keine signifikanten Veränderungen über die drei Testzeitpunkte und zwischen den Vergleichsgruppen auf. Scharf & Werth (1989) untersuchten ebenfalls mit semantischen Differenzialen Schüler der sechsten und elften Klasse, die bereits in der Orientierungsstufe, aber auch unverändert in der Oberstufe Chemie und Natur als Gegensatz wahrnehmen:

Daraus leiten wir folgende erste Arbeitshypothesen ab:

- 1. Die entsprechenden Einstellungen entstehen sehr früh, also kann der Einfluß des naturwissenschaftlichen Unterrichts nur gering sein.*
- 2. Die Einstellungen sind anscheinend stabil. Eine Querschnittsstudie lässt diese Aussage jedoch nur sehr bedingt zu (Scharf & Werth, 1989, S: 65).*

Diese Erkenntnis reiht sich in die Theorie zur Einstellungsänderung ein, die besagt, dass Einstellungen, die sich einmal gebildet haben, dauerhaft und schwierig zu verändern sind (Ajzen & Fishbein, 1980). Allerdings muss diese Arbeitshypothese verworfen werden, wenn die Einstellung zu Chemie und Natur, wie im Fall der vorliegenden Studie, direkt und zusammenhängend erhoben wird. In der Experimentalgruppe verbessert sich die Einstellung zu Chemie und Natur langfristig vom ersten zum dritten Messzeitpunkt mit einem signifikanten, kleinen Interaktionseffekt. Dies wurde empirisch sowohl anhand der neu konstruierten Fragebogenskala als auch mit dem adaptierten Einzelitem belegt, das die grafische Überlappung zweier Kreise erfasst. Dieser Effekt könnte auf die aus der Theorie angenommene Wirkung der Interventionsmaßnahme zurückzuführen sein (Bennett et al., 2007; Ültay & Çalik, 2012; Stern et al., 2014; Krischer, 2015; Krischer et al., 2016; Becker et al., 2017) und durch den Persuasionsprozess in Abhängigkeit der Attraktivität der Lerneinheit, des Framings der Inhalte und des aktuellen Gemütszustands der Lernenden erklärt werden (Maio et al., 2018). Die aufgedeckte Effektgröße ist vergleichbar zu den aus zwei Metastudien abgeleiteten Effekten von Outdoor Education ($d = 0.31$ bei Cason und Gillis (1994) sowie $d = 0.35$ bei Hattie et al.,

(1997)). Bezüglich der Interventionsmaßnahme schreibt Kaufmann (2000) im Ausblick seiner in seiner Dissertation:

Allerdings sind Themen, die mit „Natur“ assoziiert werden können und sollen und die gleichzeitig zeigen, daß es sich dabei auch um „Chemie“ handelt, hervorragend geeignet, sich die je eigene Sichtweise von „Natur“ und „Chemie“ bewußt zu machen und darüber hinaus mehr Klarheit über das eigene Naturbild zu erhalten. Für den Prozeß der Bewußtmachung, nicht aber für den der Überwindung der antagonistischen Sicht sind inhaltliche und methodische Änderungen im Unterricht durchaus gewinnbringend (Kaufmann, 2000, S: 193).

Die Probanden der Studie zu CHEMIE PUR nehmen die vorgenommenen Änderungen wahr. Dies lässt sich aus der offenen Fragestellung „Für mich stand heute im Fokus...“ der begleitenden Datenerhebung ableiten. Immerhin 20 % aller Antworten thematisierten in der Experimentalgruppe die Beziehung von Chemie und Natur, zum Beispiel: „...das Entdecken der Chemie in der Natur“ oder „...den Zusammenhang zwischen Natur und Chemie.“. Folglich eignet sich das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR, um sich die Einstellung zu Chemie und Natur bewusst zu machen und diese zu verändern, allerdings nicht, um den scheinbaren Antagonismus zu überwinden. Das Bild von Natur wird weiterhin deutlich positiver wahrgenommen als das Bild der Chemie.

Allerdings wurde bei der direkten Erfassung der Einstellung zu Chemie und Natur nicht spezifiziert, ob die Einstellung gegenüber der Wissenschaft Chemie oder des Unterrichtsfachs Chemie abgefragt wurde. Diese Ungenauigkeit kann weitreichende Folgen haben, da Lernende zumeist eine positive Einstellung zu Naturwissenschaften aufweisen, die naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer Chemie und Physik jedoch zumeist negativ belegt sind (Osborne et al. 2003; Blalock et al., 2008; Tytler & Osborne, 2012). Bei genauerer Betrachtung der Itemformulierungen könnte jedoch argumentiert werden, dass damit, wie intendiert, die Einstellung zur Wissenschaft Chemie erfasst wird (z. B. „Für mich ist Chemie eine Naturwissenschaft, die im Einklang mit der Natur steht.“). Nichtsdestotrotz stellt dieses Manko eine Einschränkung der Interpretierbarkeit der Ergebnisse dar.

Dennoch wird die zweite Hypothese angenommen, da sich die Einstellung zu Chemie und Natur in der Experimentalgruppe langfristig verbessert hat und deshalb Chemie und Natur stärker als Einheit wahrgenommen wird.

(H3) Die Naturverbundenheit nimmt in der Experimentalgruppe zu.

Für die Naturverbundenheit wurden widersprüchliche Ergebnisse berichtet. Nach Berücksichtigung des gruppenspezifischen Faktors treten keine signifikanten Unterschiede bei der Fragebogenskala zur Naturverbundenheit zwischen den Gruppen über die drei Testzeitpunkte auf. Jedoch erfasst das Messinstrument „Inclusion of Nature in self“ mit dem einzelnen Item zur grafischen Überlappung von zwei Kreisen mit einem kleinen Effekt in beiden Vergleichsgruppen signifikante Unterschiede vom ersten zum zweiten, aber auch zum dritten Testzeitpunkt. Folglich führt die Intervention nicht zwangsläufig zu einer Veränderung der Naturverbundenheit, da entweder keine Unterschiede, oder aber auch Effekte in der Kontrollgruppe auftreten, für die es keine theoretischen Begründungen gibt. Weiterhin ist die vorgenommene Auswertung der Skala zur Naturverbundenheit methodisch nicht vergleichbar zur vorgesehenen Rasch-Analyse laut Literatur (Brügger et al., 2011). Das fünf-stufige Antwortformat des ersten Teils der Skala wurde zusätzlich nicht in ein dreistufiges Format (ebd.), sondern zur Vereinheitlichung mit dem zweiten Teil der Skala in ein zweistufiges Format übersetzt.

Zwar ist der Kontakt zur Natur entscheidender Faktor für eine ausgeprägte Naturverbundenheit, allerdings spielt der Genuss des Naturaufenthalts eine ebenso wichtige Rolle (Roczen, 2011). Für die Experimentalgruppe wurde daher der Eindruck der naturnahen Lernumgebung mit einem Likert-Item bewertet. Die Probanden bezeichneten ihren Aufenthalt im Freiland als angenehm, sodass auch der zweite Faktor als erfüllt angesehen werden kann. Allerdings musste aufgrund schlechter Wetterverhältnisse 34 % der Intervention in der Experimentalgruppe drinnen stattfinden. Dadurch konnte das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR nicht seine maximale Wirkung entfalten, was als ein Indiz für den ausbleibenden, aber theoretisch erwarteten Effekt herangezogen werden kann (Chawla, 1998; Bögeholz, 2006; Lude, 2006; Roczen, 2011; Liefländer, 2012; Stern et al., 2014). Basierend auf den Daten zweier repräsentativer Studien zeigt sich, dass Jugendliche je nach Milieu oder zugehöriger Lebenswelt zwar ein hohes Umweltbewusstsein, aber eine geringe Naturverbundenheit aufweisen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Bundesamt für Naturschutz, 2018; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Umweltbundesamt, 2020), sodass die Zielgruppe der vorliegenden Studie generell als eher unzugänglich für eine Veränderung in der Naturverbundenheit eingeschätzt wird.

Zusammenfassend gilt die dritte Hypothese als falsifiziert. Je nach Messinstrument wurde keine signifikante Veränderung der Naturverbundenheit oder nur ein langfristig kleiner Effekt allerdings in beiden Vergleichsgruppen festgestellt.

Hypothesenunabhängige Analyse der Lernwirksamkeit

Beide Vergleichsgruppen weisen mit mittleren bis großen Effekten auch langfristig einen signifikanten Wissenszuwachs auf, sodass die Lernwirksamkeit der Intervention gewährleistet ist. Jedoch ist der Lernzuwachs der Probanden in der Experimentalgruppe mit einem kleinen Interaktionseffekt signifikant höher als bei den Probanden der Kontrollgruppe. Dies ist auf die verschiedenen Bedingungen vor der Intervention zurückzuführen: Die Probanden der Experimentalgruppe verfügen zum ersten Testzeitpunkt mit einem kleinen Effekt ein signifikant höheres Fachwissen. Dieser Unterschied lässt sich weder durch bessere Noten in den Fächern Biologie, Chemie und Geografie oder im gesamten Zeugnis erklären, noch durch ein erhöhtes Fähigkeitsselbstkonzept, welches mit der Lernleistung korreliert (Köller, et al., 2000). Es gibt keine signifikanten Unterschiede in der Ausprägung dieser Kovariablen zwischen den Gruppen. Eine Begründung des unterschiedlichen Lernertrags liefert der sogenannte Matthäus Effekt, abgeleitet aus dem Matthäus Evangelium mit dem Zitat „Denn wer da hat, dem wird gegeben (. . .)“ (Mt 25, 29). Dieser wurde ursprünglich von Merton (1968) beschrieben und besagt im Bildungskontext, dass Schüler mit hohem Vorwissen mehr von einer Lerngelegenheit profitieren können als Schüler mit niedrigerem Vorwissen (Hattie, 2018).

Um vergleichbare Startbedingungen zu erhalten und einem Matthäus Effekt vorzubeugen, wurden die Vergleichsgruppen für die messwiederholte Auswertung des Fachwissens nachträglich kursweise parallelisiert. Trotzdem bleibt der signifikante Interaktionseffekt in der Experimentalgruppe vom ersten zum zweiten Testzeitpunkt bestehen. Ein Erklärungsansatz liefern die Ergebnisse aus der Kontextforschung, bei der der Einfluss des Kontexts auf das Fachwissen untersucht wurde (Bennett et al., 2007; Ültay & Çalık, 2012). Allerdings wurden je nach Intervention keine oder widersprüchliche Effekte aufgedeckt, sodass bisher nicht eindeutig geklärt ist, ob Kontextorientierung tatsächlich zu größeren Lernleistungen führt (Taasoobshirazi & Carr, 2008, Podschatweit & Bernholt, 2018). Die theoretisch plausibelste Interpretation des Interaktionseffekts eröffnet die Attention Restoration Theory, gemäß der in naturnaher Umgebung weniger stresserzeugende Stimuli verarbeitet werden müssen, sodass mehr Aufmerksamkeit für kognitive Herausforderungen zur

Verfügung steht (Kaplan, 1995). Wie auch in der vorliegenden Studie zeigte Eaton (1998) mit vergleichbaren Effektgrößen (Post $d = 0.28$), dass Lernende im Freiland einen höheren Wissenszuwachs als im Klassenraum erreichen. Diese Erkenntnis ist neben den Ergebnissen zu den drei formulierten Hypothesen von zentraler Bedeutung für mögliche fortfolgende Studien, die im nächsten Kapitel kurz skizziert werden.

7 Ausblick

Anknüpfend an die vorliegende Studie sind weitere Forschungsvorhaben denkbar. Methodologisch könnte CHEMIE PUR verstärkt in das Paradigma der fachdidaktischen Entwicklungsforschung eingebettet werden, mit dem Ziel dieser unterrichtsnahen Vorgehensweise die oft beklagte Lücke zwischen Theorie und Praxis zu schließen (Prediger et al., 2012).

Inhaltlich könnte das Unterrichtskonzept durch weitere Lerneinheiten angereichert werden. Im Bereich der Arzneimittelchemie besteht die Möglichkeit, ausgehend von der Weidenborke, den Wirkstoff Aspirin zu synthetisieren (Schmidkunz-Eggler, 2000; Heidenreich & Sommer, 2003; Clay & McLeod, 2012). Als zweites Beispiel könnte der Ginkgobaum genutzt werden, um die Eigenschaften seiner Inhaltsstoffe als Radikalfänger und Antioxidans näher zu beleuchten (Punkt, 2000; Schäfer, 2015), oder aber den unangenehmen Duft seiner Samen in einen Fruchtester umzuwandeln. Weiterhin bietet sich der Walnussbaum an, um das Thema Allelopathie im Chemieunterricht aufzugreifen (Weiler & Nover, 2008). Es wäre ebenfalls denkbar, als Kontext den Schachtelhalm für das Prinzip der Biomineralisation oder Efeu für die Wirkung von Tensiden heranzuziehen (Schwedt, 2007).

Wie mit den Beispielen verdeutlicht, lässt sich eine Vielzahl an passgenauen Kontexten und Fachinhalten für das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR finden. Jedoch sollten alle Kontexte zunächst in das Modell von Van Vorst (2013) mit dem dafür entwickelten Kurzfragebogen von Experten oder von Schülern empirisch eingeordnet werden, da je nach Kontextmerkmal unterschiedliche Wirkungsweisen auftreten können. Außerdem könnten die Lerneinheiten im Sinne der BNE vom Kontext und Inhalt so angepasst werden (z. B. Verknüpfung von Umweltprozessen mit ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Domänen), dass in einer neuen Studie der Fokus auf eine Steigerung der Bewertungskompetenz gelegt wird (Eggert & Bögeholz, 2006).

Methodisch wurden bereits im Kapitel der Diskussion weitere Ideen skizziert. Zum einen sollte das Forschungsvorhaben auf die Sekundarstufe I ausgeweitet werden, da hier die ausgewählten Konstrukte gegebenenfalls noch leichter zu verändern sind (Krapp, 2006). Dafür müssten jedoch die bisherigen CHEMIE PUR Lerneinheiten elementarisiert und nochmals evaluiert oder neue Lerneinheiten explizit für die Mittelstufe entwickelt werden.

Nach wie vor sind aufgrund der Multikausalität im Bereich Outdoor Education Wirkmechanismen und Gründe für einen Erfolg oder Misserfolg noch nicht

ausreichend untersucht (Hattie et al., 1997; Scrutton & Beames, 2015). Parchmann und Kuhn (2018) ziehen für das Lernen im Kontext ein ähnliches Fazit:

Einschränkend muss jedoch beachtet werden, dass aufgrund der Vielfalt von Faktoren in einer gesamten Unterrichtseinheit keine kausalen Schlüsse auf einzelne Ursachen von Lerneffekten gezogen werden können, selbst wenn Wirkannahmen theoretisch begründet sind. Hier sind weiterführende, kontrollierte Untersuchungen einzelner Teilaspekte von Lernumgebungen nötig. (. . .) Für die Weiterentwicklung einer theoretischen Rahmung sind daher zunächst differenziertere Erkenntnisse über Effekte einer Kontextualisierung sowohl im Sinn einer inhaltlichen Situierung oder Rahmung als auch im Sinn einer Lernumgebung notwendig, um die eigentlichen Wirkungen der Kontextualisierung in einem Lernprozess zu verstehen und zu modellieren (Parchmann & Kuhn, 2018, S: 204).

Aus diesem Grund bietet sich anknüpfend an die Erkenntnisse dieser Studie ein stärker standardisiertes Laborexperiment mit einem faktoriellen 2x2 Design an (Döring & Bortz, 2016), bei dem sowohl die Lernumgebung im Sinne des Makrokontexts als auch die Themen der Lerneinheiten im Sinne des Mikrokontexts gleichzeitig variiert werden (Parchmann & Kuhn, 2018). So könnte darauf rückgeschlossen werden, ob die festgestellten Veränderungen tatsächlich auf eine der unabhängigen Variablen zurückzuführen sind. Beispielsweise würden dann naturnahe Kontexte sowohl im Freiland als auch anhand von mitgebrachten Naturmaterialien im Klassenraum eingesetzt werden. Unabhängig von der genauen Ausgestaltung des 2x2 Designs sollte eine möglichst dem Schulalltag vergleichbare Kontrollgruppe gewählt werden. Diese könnte beispielsweise den bestehenden Themenvorschlag für die fächerübergreifende Unterrichtseinheit „Umweltanalytik: Wasser – Boden – Luft“ im Regelunterricht bearbeiten (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz, 1998).

Neben dieser quantitativen Herangehensweise eignen sich auch qualitative Studien für eine tiefergreifende Interpretation der Wirkmechanismen. Pietsch und Barke (2014) bewerteten beispielsweise Schülerzeichnungen und leiteten daran die Einstellung zur Wissenschaft Chemie ab. Dieses Verfahren wird für die Validierung herangezogen und wurde bereits kurz in Kapitel 4.2.1 bei den Methoden der Datenerhebung im Exkurs zur Validierung dargestellt.

Angelehnt an Fechner (2009) könnte der fachbezogene Redeanteil durch die Videografie von Kleingruppen während der Intervention dokumentiert werden. Eine Arbeitshypothese könnte lauten, dass die Gruppen mit der höchsten

Ausprägung der naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen am wenigsten untereinander fachbezogen kommuniziert haben, da die Abläufe im Experimentierprozess bekannt waren. Außerdem könnten sich die Schüler intensiver über die expliziten Inhalte der Experimente ausgetauscht haben, was sich gegebenenfalls in einem höheren Fachwissenszuwachs bemerkbar macht; oder sie hatten mehr Kapazität sich verstärkt über das übergeordnete Konzept der chemischen Prozesse im Freiland zu unterhalten, was gegebenenfalls zu einer Veränderung der Einstellung zu Chemie und Natur führen könnte.

In einem abschließenden Schritt könnten mit den beteiligten Lehrpersonen Experteninterviews geführt werden (Bogner, Littig & Menz, 2014), um Gelingensbedingungen für den erfolgreichen Transfer des Unterrichtskonzepts in die schulische Praxis zu identifizieren (Schellenbach-Zell, Rürup, Fußangel & Gräsel, 2008).

Fazit

Mit „CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“ wurde ein kontextorientiertes Unterrichtskonzept im Bereich Outdoor Education entwickelt und evaluiert. Die exemplarischen vier CHEMIE PUR Lerneinheiten gelten als praxistauglich und adressatengerecht für die Sekundarstufe II. Empirisch hat sich zudem gezeigt, dass die Intervention im Freiland kurzfristig das inhaltsbezogene Sachinteresse steigert und langfristig die Einstellung zu Chemie und Natur positiv beeinflusst sowie ein erhöhten Fachwissenszuwachs ermöglicht. Die gewonnenen Erkenntnisse können die Grundlage für die Entwicklung und Evaluation von good-practice-Ansätzen naturwissenschaftlicher Lernsituationen bilden, Lehrpersonen an Schulen unterstützen und in die fachdidaktische Lehrerbildung der naturwissenschaftlichen Fächer implementiert werden.

I Danksagung

„CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“ klingt nach einem abwechslungsreichen Vorhaben. Besonders viel Abwechslung während der Stunden im Freiland bescherten mir Wind, Regen, Hitze, Schnee und Stechmücken. Trotz allem bin nach wie vor begeistert und freue mich darüber, dass ich mich mit diesem Thema über mehrere Jahre intensiv befassen konnte. Am Ende dieser Arbeit bleibt noch etwas Wichtiges zu sagen: Danke!

Mein Dank geht an meinen Erstbetreuer Herrn Prof. Dr. Björn Risch. Lieber Björn, danke für das vertrauensvolle, freundschaftliche und familiäre Verhältnis, für deine Verlässlichkeit und moralische, inhaltliche und organisatorische Unterstützung, auch kurzfristig zu jeder Tages- und Nachtzeit. Danke für die tolle Zeit und für alles was ich währenddessen von dir gelernt habe.

Mein Dank geht an meinen Zweitbetreuer Herrn Prof. Dr. Alexander Kauertz. Lieber Alexander, danke für deine theoretische und methodische Beratung in den unterschiedlichen Phasen meiner Arbeit sowie für deinen offenen, ehrlichen und humorvollen Umgang.

Mein Dank geht an Frau Prof. Dr. Ilka Parchmann für die zeitintensive, externe Begutachtung meiner Arbeit während der globalen Corona Pandemie.

Mein Dank geht an Herrn Prof. Dr. Dirk Felzmann für die krankheitsbedingte, spontane Übernahme des Prüfungsvorsitzes am Tag der Disputation.

Mein Dank geht an Frau Prof. Dr. Sandra Nitz als Institutsleiterin stellvertretend für die angenehme Arbeitsatmosphäre im Institut für naturwissenschaftliche Bildung. Liebe Sandra, danke für deine persönlichen Ratschläge.

Weiterhin möchte ich meinen ans Herz gewachsenen Kollegen der Arbeitsgruppe Chemiedidaktik und im Institut für naturwissenschaftliche Bildung danken. Auch in anstrengenden Phasen war bei uns eine gute Stimmung, wir haben viel zusammen gelacht und ein offenes Ohr füreinander. Ein besonderer Dank geht an unsere Laborengel Frau Ederer, Frau Brückmann und Frau Burgard für die Hilfe bei der Konzeption der Experimente.

Weiterhin danke ich dem Fonds der Chemischen Industrie, dem Ministerium für Bildung Rheinland-Pfalz sowie der Universität Koblenz-Landau für die finanzielle und strukturelle Unterstützung des Projekts.

Vielen Dank an das Team des Methodenzentrums sowie an den Fachbereich Psychologie für die methodische Ausbildung und statistische Beratung.

Ein herzliches Dankeschön an die Abschlusskandidaten und Hilfskräfte für die Unterstützung bei der Konzeption und Durchführung der Studie sowie an die Lehrpersonen und Schüler, die mit Freude daran teilgenommen haben.

Großer Dank gilt zudem Marie Schehl und Viktoriia Ovcharova, die sich dazu bereit erklärt haben, die vorliegende Arbeit Korrektur zu lesen.

Abschließend möchte ich mich von ganzem Herzen bei meiner Familie bedanken, die mir diese Arbeit überhaupt erst ermöglichten. Meine Eltern, Schwiegereltern und im Speziellen meine Frau begleiteten mich durch die Höhen und Tiefen der Promotion, führten mir immer wieder das Ziel vor Augen und gaben mir seelischen Beistand. Liebe Lisa, vielen Dank für deinen Rückhalt, dein Verständnis, deine aufbauenden Worte und besonders für die aufwändig verschafften Freiräume in der Schlussphase.

II Lebenslauf

Persönliche Daten

<i>Name</i>	Alexander Engl
<i>Geburtsdatum und Ort</i>	17. Mai 1988 in Filderstadt
<i>Anschrift</i>	Universität Koblenz-Landau Fortstr. 7 76829 Landau in der Pfalz
<i>Kontakt</i>	Tel.: 06341-28031822 E-Mail: engl@uni-landau.de
<i>Staatsangehörigkeit</i>	Deutsch
<i>Familienstatus</i>	Verheiratet, ein Sohn

Berufstätigkeit

<i>Universität Koblenz-Landau</i>	Campus Landau, Fachbereich 7: Natur- und Umweltwissenschaften, Institut für naturwissenschaftliche Bildung (InB), Arbeitsgruppe Chemiedidaktik <u>Seit April 2017:</u> Stellvertretender geschäftsführender Koordinator des InB <u>Seit April 2016:</u> Projektarbeit „Experimentier-Café“, „Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore“, „Transfer virtueller Labore in den schulischen Unterricht“, und „Reallabor Queichland“ <u>Seit April 2016:</u> Wissenschaftlicher Mitarbeiter (7 SWS Lehrverpflichtung) <u>Mai 2013 – März 2016:</u> Lehrkraft für besondere Aufgaben (10 SWS Lehrverpflichtung)
<i>Auszeichnungen</i>	Lehrzertifikat 2017/2018 „Beste Vorlesung“ für die Veranstaltung „Grundlagen der Chemie“ Posterpreis der GDGP Jahrestagung in Bremen für das Poster „CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur“

Ausbildung

Studium

Universität Koblenz-Landau, Campus Landau
Oktober 2011 – April 2013: Master of Education
der Fächer Bildungswissenschaften, Biologie
und Chemie für das Lehramt an Gymnasien
April 2009 – Dezember 2011: Bachelor of Edu-
cation der Fächer Bildungswissenschaften, Bi-
ologie und Chemie für das Lehramt an Gym-
nasien

Auslandsaufenthalte und Praktika

Colegio Alemán Stiehle de Cuenca – Ecuador
September 2012: Schulpraktikum
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y
de Chapingo – Mexico
März 2012: Blütenökologisches Seminar
Friedrich-Miescher-Laboratorium der Max-
Planck-Gesellschaft
Oktober 2008 – März 2009: Praktikum zur Be-
ruforientierung im Bereich Struktur- und Zell-
biologie

Freiwilliges Soziales Jahr

Glenstal Abbey School – Irland
September 2007 - Mai 2008: Assistenzlehrtä-
tigkeit in der Mittel- und Oberstufe

Schulausbildung

Max-Planck-Gymnasium Nürtingen
September 1998 – Juli 2007: Allgemeine
Hochschulreife
Friedrich-Glück-Grundschule Oberensingen
September 1995 – August 1998
Grundschule Unterensingen
September 1994 – August 1995

III Publikationsliste

Mit Peer-Review

- [3] Risch, B., Engl, A., Rieger, M., Rudolf, B. & Schehl, M. (2019). Reallabor Queichland – gemeinsames Gestalten einer Lernumgebung im Kontext Nachhaltigkeit. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, 42 (3), 22–26. doi: 10.31244/zep.2019.03.05.
- [2] Risch, B., Engl, A., Rieger, M., Rudolf, B. & Schehl, M. (2019). Reallabor Queichland – Bildung für nachhaltige Entwicklung in einer authentischen Lernumgebung. *Transfer Forschung ↔ Schule*, 5 (1), 202–212.
- [1] Engl, A., Schmelzer, A. & Risch, B. (2018). CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur: Ätherischen Ölen auf der Spur. *Chemie konkret CHEMKON*, 25 (1), 7–15. doi: 10.1002/ckon.201810316.

Ohne Peer-Review

- [16] Engl, A., Schehl, M., Rieger, M., Rudolf, B., Volz, D. & Risch, B. (2020). Gemeinsam Entdecken und Forschen im Reallabor Queichland. In: S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- [15] Rieger, M., Engl, A. & Risch, B. (2020). Virtuelle Exkursionen 2.0. Neue Technologien für zukünftiges Lernen. In: S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- [14] Neff, S., Engl, A., Kauertz, A. & Risch, B. (2020). Virtuelle Labore zur Vor- und Nachbereitung von Freiland-Experimentiereinheiten. In: S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- [13] Engl, A. & Risch, B. (2019). Die Natur als Labor - Chemieunterricht im Freiland. *Nachrichten aus der Chemie*, 67 (3), 18–21. doi: 10.1002/nadc.20194083853.
- [12] Neff, S., Engl, A., Kauertz, A. & Risch, B. (2019). Open MINT Labs – Transfer virtueller Labore in die Schule. In M. Beißwenger, I. Gryl, B. Bulizek & F.

- Schacht (Hrsg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung. #la-digital2019*. Essen: Universität Duisburg-Essen.
- [11] Engl, A., Schehl, M. & Risch, B. (2019). Virtuelle und augmentierte Realität im Reallabor Queichland. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018*. Regensburg: Universität Regensburg.
- [10] Neff, S., Engl, A., Kauertz, A. & Risch, B. (2019). Transfer virtueller Labore in den schulischen Unterricht. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018*. Regensburg: Universität Regensburg.
- [9] Engl, A. & Risch, B. (2018). Boden - mehr als nur Dreck unter den Füßen. In LernortLabor. Bundesverband der Schülerlabore e. V. (Hrsg.), *MINT-Nachhaltigkeitsbildung in Schülerlaboren. Lernen für die Gestaltung einer zukunftsfähigen Gesellschaft*. Berlin: LernortLabor.
- [8] Engl, A. & Risch, B. (2018). CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: Ein Konzept zur Änderung der Einstellung im Bereich „Chemie und Natur“. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017*. Regensburg: Universität Regensburg.
- [7] Engl, A. (2017). Umweltbildung und Inklusion im Schülerlabor Freilandmobil. In Arbeitsgemeinschaft Natur- und Umweltbildung Rheinland-Pfalz e. V. (Hrsg.), *Bildung für nachhaltige Entwicklung Zukunftsperspektiven für Rheinland-Pfalz. Dokumentation BNE Landeskongress in Landau 2017*. Landau: ANU RLP.
- [6] Engl, A. & Risch, B. (2017). CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: Ein Konzept zur Förderung des Interesses und Änderung der Einstellung im Bereich „Chemie und Natur“. In C. 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.
- [5] Engl, A. & Risch, B. (2016). CHEMIE PUR: Farbenpracht im Freiland - Eine Lerneinheit zu Naturfarbstoffen. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 65 (8), 45–49.

- [4] Engl, A. & Risch, B. (2016). Natural Chemistry - Outdoors! *Green Teacher*, 109 (1), 39–42.
- [3] Engl, A. & Risch, B. (2015). Das Schülerlabor "Freilandmobil". In LernortLabor (Hrsg.), *10. LeLa Jahrestagung Festschrift*. Dänischenhagen: LernortLabor.
- [2] Engl, A. & Risch, B. (2015). CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014*. Kiel: IPN.
- [1] Engl, A. & Risch, B. (2014). CHEMIE PUR - Unterrichten im Freiland mit Naturstoffen. Eine interaktiv experimentelle Bodenrallye. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 144 (6), 34–37.

IV Tagungsbeiträge und Fortbildungen

Tagungen

- [17] Engl, A. & Risch, B. (Poster LeLa 2020, Dresden). *Das Schülerlabor Freilandmobil im Reallabor Queichland.*
- [16] Engl, A. & Risch, B. (Poster GDGP 2019, Wien). *Citizen Science im Reallabor Queichland.*
- [15] Engl, A. & Risch, B. (Poster LeLa 2019, Paderborn). *Das Schülerlabor Freilandmobil im Reallabor Queichland.*
- [14] Engl, A. & Risch, B. (Vortrag GDGP 2018, Kiel). *Virtuelle und augmentierte Realität im Reallabor Queichland.*
- [13] Engl, A. & Risch, B. (Vortrag GDCh 2018, Karlsruhe). *Die Natur ist mein Labor: Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR.*
- [12] Engl, A. & Risch, B. (Vortrag GDGP 2017, Regensburg). *CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur: Ein Konzept zur Förderung des Interesses und Änderung der Einstellung im Bereich Chemie und Natur.*
- [11] Engl, A. (Vortrag & Poster BNE Landeskongress 2017, Landau). *Das Schülerlabor Freilandmobil.*
- [10] Engl, A. & Risch, B. (Vortrag MNU 2017, Aachen). *CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur: Ein Konzept zur Förderung des Interesses und Änderung der Einstellung im Bereich Chemie und Natur.*
- [9] Engl, A. & Risch, B. (Poster LeLa 2017, Würzburg). *Das Schülerlabor Freilandmobil.*
- [8] Engl, A. & Risch, B. (Vortrag GDGP 2016, Zürich). *CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur: Ein Konzept zur Förderung des Interesses und Änderung der Einstellung im Bereich Chemie und Natur.*
- [7] Engl, A. & Risch, B. (Vortrag GDGP Doktorierendenkolloquium 2015, Schmitten). *CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur: Ein Konzept zur Interessensförderung und Einstellung von Chemie und Natur.*
- [6] Engl, A. & Risch, B. (Poster LeLa 2015, Berlin). *Das Schülerlabor Freilandmobil.*
- [5] Engl, A. & Risch, B. (Posterpreis GDGP 2014, Bremen). *CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur.*

- [4] Engl, A. & Risch, B. (Experimentalvortrag GDCh 2014, Kiel). *CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur. Eine interaktiv experimentelle Umweltrallye.*
- [3] Engl, A. & Risch, B. (Poster BMBF Summerschool 2014, Bad Bergzabern). *CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur.*
- [2] Engl, A. & Risch, B. (Vortrag & Poster LeLa 2014, Heidelberg). *Das Freilandmobil: CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur.*
- [1] Engl, A., Engl, L. & Risch, B. (Poster GDCh 2013, Darmstadt). *Einflüsse auf das Protokollverhalten von Schülerinnen und Schülern der Orientierungsstufe am außerschulischen Lernort.*

Fortbildungen

- [5] Neff, S., Engl, A. & Willer, W. (Lehrerfort- und Weiterbildung Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz 2018, Landau). *Gewässer untersuchen am Beispiel der Queich in Landau.*
- [4] Engl, A., Przywarra, P. & Risch, B. (Workshop Institut Dr. Flad 2018, Stuttgart). *Die Natur ist mein Labor - Ein freilandtaugliches Konzept für den naturwissenschaftlichen Unterricht.*
- [3] Engl, A. & Risch, B. (Vortrag Oberrheinkonferenz 2017, Lamprecht). *Die Natur ist mein Labor - Das Schülerlabor Freilandmobil.*
- [2] Engl, A., Przywarra, P. & Risch, B. (Experimentalvortrag 16. Curie-Minisympodium 2017, Hannover). *Die Natur ist mein Labor - Freilandtaugliche Experimente für den Chemieunterricht.*
- [1] Engl, A., Przywarra, P. & Risch, B. (Workshop Chemie-Fortbildungstag 2015, Bonn). *CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur.*

V Anhang

a) Übersicht relevanter Abschlussarbeiten

Bos, R. (2016): Farbenpracht im Freiland - Konzeption, Durchführung und Evaluierung einer Unterrichtseinheit in der Natur. Unveröffentlichte Masterarbeit Universität Koblenz-Landau, Arbeitsgruppe Chemiedidaktik.

Hasheider, C. (2016): Entwicklung und Erprobung von experimentell ausgelegten Lerneinheiten für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II zu den Kontexten "Sonnenschutz" und "Farbstoffe". Unveröffentlichte Masterarbeit Universität Koblenz-Landau, Arbeitsgruppe Chemiedidaktik.

Jung, P. (2014): Konzeption von Modellexperimenten zur Veranschaulichung umweltrelevanter Einflüsse auf den Menschen. Unveröffentlichte Masterarbeit Universität Koblenz-Landau, Arbeitsgruppe Chemiedidaktik.

Podlech, L. (2015): Entwicklung und Evaluation von interaktiven Versuchsvorschriften: Freilandtauglicher Einsatz von digitalen Medien im Chemieunterricht. Unveröffentlichte Masterarbeit Universität Koblenz-Landau, Arbeitsgruppe Chemiedidaktik.

Scheib, J. (2016): Von der Weide zum Aspirin: Konzeption einer experimentell ausgelegten Lerneinheit für die Sekundarstufe II. Unveröffentlichte Bachelorarbeit Universität Koblenz-Landau, Arbeitsgruppe Chemiedidaktik.

Schmelzer, A. (2015): Entwicklung und Evaluation einer freilandtauglichen Wasserdampfdestillationsapparatur für das Experimentieren mit Naturstoffen. Unveröffentlichte Masterarbeit Universität Koblenz-Landau, Arbeitsgruppe Chemiedidaktik.

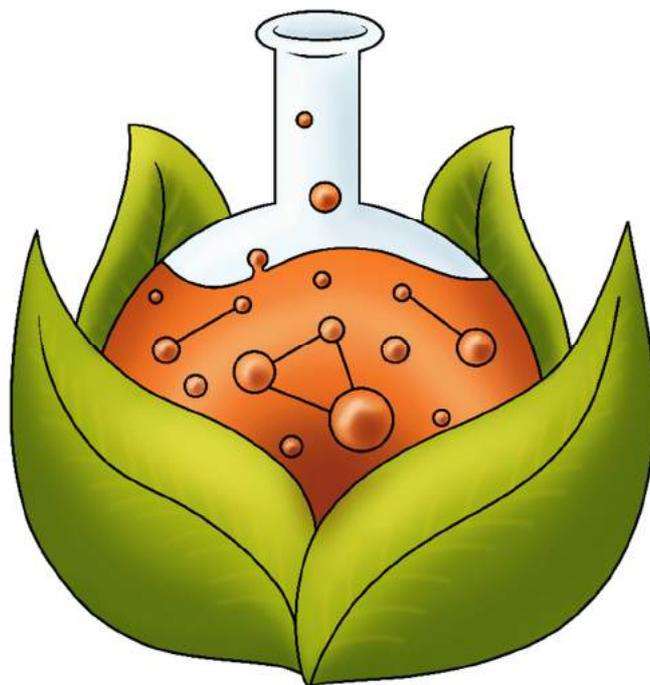
Wehrle, A. (2016): Entwicklung und Erprobung von experimentell ausgelegten Lerneinheiten für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II zu den Kontexten "Blut" und "Rotwein". Unveröffentlichte Masterarbeit Universität Koblenz-Landau, Arbeitsgruppe Chemiedidaktik.

b) Darstellung des Eigenanteils

Die fünf dargestellten Veröffentlichungen im dritten Kapitel basieren auf dem Unterrichtskonzept CHEMIE PUR, welches ich selbständig entwickelt und evaluiert habe. Die zugehörigen Materialien der vier CHEMIE PUR Lerneinheiten habe ich hauptsächlich selbst auf Basis chemiedidaktischer Grundlagen entworfen oder sie sind im Rahmen von mir betreuter Abschlussarbeiten entstanden. Nahezu alle empirischen Daten wurden eigenverantwortlich erhoben und ausgewertet. Lediglich die Datenerhebung der Vorstudie beruht auf Vorarbeiten der wissenschaftlichen Mitarbeiterin Stefanie Lorenz (geboren Kloppe). Alle fünf Publikationen wurden von mir als Erstautor konzipiert, verfasst und unter Zusammenarbeit mit meinen Mitautoren kritisch überarbeitet.

c) Fragebögen

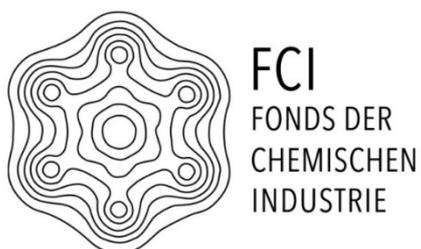
CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur



Universität Koblenz-Landau
Fachbereich 7: Natur- und Umweltwissenschaften
Institut für naturwissenschaftliche Bildung
Arbeitsgruppe Chemiedidaktik
Fortstr. 7
76829 Landau

engl@uni-landau.de

Mit freundlicher Unterstützung:



Liebe Schülerin, lieber Schüler,

vielen Dank, dass Du an dieser Befragung teilnimmst! Damit hilfst du uns, ein neues Konzept für den Chemieunterricht weiterzuentwickeln. Die Auswertung des Fragebogens erfolgt selbstverständlich **anonym** und die Daten werden nicht weitergegeben. Zur Zuordnung der Fragebögen ist ein Erkennungscode notwendig. Bitte fülle diese Zeile **gut leserlich** aus:

Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter		Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens des Vaters		Tag des Geburtstags	Alter	Geschlecht
1) -----	2) -----	1) -----	2) -----	-----	-----	<input type="radio"/> Weiblich <input type="radio"/> Männlich

Bei den nachfolgenden Fragen handelt es sich nicht um eine Leistungskontrolle! Uns interessiert deine **ganz persönliche Meinung und Situation** und nicht was deine Eltern, Lehrkräfte oder Freunde gut finden würden. Beantworte die Fragen bitte **gewissenhaft aber spontan**, ohne lange darüber nachzudenken. Es ist wichtig, dass du **alle Fragen alleine beantwortest und keine auslässt**. Kannst du dich nicht entscheiden, kreuze die Antwortmöglichkeit an, die für dich am ehesten passt. Wenn du dich vertan hast, markiere dein neues Kreuz zusätzlich mit einem Kreis:

Wie sehr musstest du dich bei der Beantwortung des Fragebogens anstrengen?

Setze das passende Kreuz!	Sehr gering	Ziemlich gering	Eher gering	Angemessen	Eher hoch	Ziemlich hoch	Sehr hoch
Bei der Bearbeitung des Fragebogens war meine mentale Anstrengung ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Danke für deine Mitarbeit und viel Spaß!

Jetzt geht es los:

In meinem letzten Zeugnis hatte ich folgende Note...

...im Fach Chemie			...im Fach Biologie			...im Fach Geografie			...als Gesamtschnitt
-----			-----			-----			-----
LK <input type="radio"/>	GK <input type="radio"/>	Normal <input type="radio"/>	LK <input type="radio"/>	GK <input type="radio"/>	Normal <input type="radio"/>	LK <input type="radio"/>	GK <input type="radio"/>	Normal <input type="radio"/>	
...in der Jahrgangsstufe...			...in der Jahrgangsstufein der Jahrgangsstufe ...			
-----			-----			-----			

Welche der folgenden Fragen oder Aussagen interessieren dich?

	Ich finde es interessant, ...	Stimmt gar nicht	Stimmt wenig	Stimmt ziemlich	Stimmt völlig
1) SIC_I_B1	...die Eigenschaften von Stoffen mit Hilfe ihrer Strukturen zu erklären.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
2) SIC_I_B2	...etwas über die Eigenschaften von Stoffen zu erfahren.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
3) SIC_I_B3	...die Struktur von Stoffen zu erfahren.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
4) SIC_I_B4	...mich mit Atommodellen auseinander zu set- zen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
5) SIC_I_B5	...mich mit dem chemischen Gleichgewicht auseinander zu setzen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
6) SIC_I_B6	...Redox-Prozesse zu beschreiben.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
7) SIC_I_B7	...die Energetik chemischer Reaktionen zu be- trachten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
8) SIC_I_B8	...Säure-Base-Reaktionen kennen zu lernen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
9) SIC_I_B9	...chemische Reaktionen kennen zu lernen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
10) SIC_I_B10	...chemische Reaktionen auf atomarer Ebene deuten zu können.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
11) SIC_K_B1	...etwas über die chemischen Vorgänge im Menschen zu erfahren.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
12) SIC_K_B2	...chemische Vorgänge in Pflanzen zu be- trachten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
13) SIC_K_B3	...die Chemie von Stoffwechselprozessen ken- nen zu lernen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
14) SIC_K_B4	...Chemie in der Medizin kennen zu lernen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
15) SIC_K_B5	...Naturerscheinungen mit Hilfe der Chemie zu hinterfragen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
16) SIC_K_B6	...Erkenntnisse chemischer Forschung kennen zu lernen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>

17)	...die Gewinnung und Verwendung verschiedener Stoffe zu betrachten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_K_B7					
18)	...industrielle Verfahren der Chemie kennen zu lernen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_K_B8					
19)	...die Entwicklung neuer Materialien mit Hilfe der Chemie zu betrachten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_K_B9					
20)	...chemische Problemstellungen des Alltags zu betrachten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_K_B10					
21)	...die Problematik „Klimawandel“ aus chemischer Sicht zu betrachten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_K_B11					
22)	...Treibstoffe der Zukunft mit Hilfe von Chemie zu diskutieren.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_K_B12					
23)	...die Energiegewinnung der Zukunft mit Chemie zu hinterfragen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_K_B13					
24)	...Chemie in der modernen Landwirtschaft zu betrachten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_K_B14					
25)	...chemische Sachverhalten im Kontext der Geschichte zu betrachten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_K_B15					
26)	...chemische Fragestellungen alleine zu bearbeiten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_T_B1					
27)	...einen Lehrer- oder Schülervortrag über ein chemisches Thema anzuhören.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_T_B34					
28)	...chemische Inhalte in Lehrbüchern zu lesen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_T_B3					
29)	...einen chemischen Versuch selbst durchzuführen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_T_B35					
30)	...Theorien der Chemie dargestellt zu bekommen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_T_B5					
31)	...sich mit anderen über chemische Sachverhalte auszutauschen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_T_B4					
32)	...Filme zur Chemie anzusehen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_T_B36					
33)	...Ergebnisse von Chemie Aufgaben zu präsentieren.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
SIC_T_B8					

34) SIC_T_B37	...sich eine eigene Meinung zu Fragen aus Chemie und Technik zu bilden.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
35) SIC_T_B10	...Erklärungen für Experimente dargestellt zu bekommen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
36) SIC_T_B38	...mit Hilfe von Kugeln oder Ähnlichem Modelle zu bauen (z. B. von Molekülen oder Salzgittern).	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
37) SIC_T_B9	...chemische Inhalte in Fachzeitschriften zu recherchieren.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
38) SIC_T_B39	...einen Versuchsaufbau zu zeichnen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
39) SIC_T_B11	...Experimente zu beobachten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
40) SIC_T_B40	...zu „Forschen vom Anfang bis zum Ende“, d. h. Vermutungen über ein bestimmtes Problem anzustellen; nach Experimenten zu suchen, diese durchzuführen und anhand der Ergebnisse zu zeigen, ob die aufgestellten Vermutungen stimmen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>

Male dein Bild von der Chemie!

Wie interessant findest du das Schulfach Chemie?

Bitte gib an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.		Stimmt gar nicht	Stimmt wenig	Stimmt ziemlich	Stimmt völlig
1) FIC_W3	Im Chemieunterricht fühle ich mich wohl.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
2) FIC_W4.r	Der Chemieunterricht macht mir einfach keinen Spaß.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
3) FIC_P5	Ich komme im Chemieunterricht gut mit.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
4) FIC_H6	Ich finde das Fach Chemie interessant.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
5) FIC_A7	Chemie ist mein Lieblingsfach.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>

Wie schätzt du dich selbst ein?

Bitte gib an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.		Stimmt gar nicht	Stimmt wenig	Stimmt ziemlich	Stimmt völlig
1) FSK_K1.r	Das Fach Chemie liegt mir nicht besonders.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
2) FSK_K2.r	Bei manchen Sachen in Chemie weiß ich schon im Voraus, dass ich sie nie verstehe.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
3) FSK_K3.r	Kein Mensch kann alles – ich habe einfach keine Begabung für Chemie.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
4) FSK_K4.r	Obwohl ich mir viel Mühe gebe, fällt mir das Fach Chemie schwerer als vielen meiner Mitschüler.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
5) FSK_K5.r	Mich würde Chemie bestimmt interessieren, wenn nicht alles so kompliziert wäre.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
6) FSK_P11.r	Das Lernen der Theorie in Chemie fällt mir schwer.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
7) FSK_P13.r	Für das Durchführen von Experimenten habe ich kein Händchen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>

Bewerte mit Hilfe der aufgelisteten Eigenschaftswörter die „Wissenschaft Chemie“. Dabei geht es um dein spontanes Empfinden ohne langes Nachdenken, wie die „Wissenschaft Chemie“ auf dich wirkt.

Die „Wissenschaft Chemie“ ist für mich...		
1) SDC_W1.r	...wichtig:	<input type="radio"/> ...unwichtig:
2) SDC_W2.r	...produktiv:	<input type="radio"/> ...unproduktiv:
3) SDC_W3	...unkreativ:	<input type="radio"/> ...kreativ:
4) SDC_W4	...statisch:	<input type="radio"/> ...dynamisch:
5) SDC_W5.r	...offen:	<input type="radio"/> ...geschlossen:
6) SDC_W6	...rückschrittlich:	<input type="radio"/> ...fortschrittlich:
7) SDC_W7.r	...innovativ:	<input type="radio"/> ...konservativ:
8) SDC_K8.r	...sauber:	<input type="radio"/> ...schmutzig:
9) SDC_K9.r	...friedlich:	<input type="radio"/> ...aggressiv:
10) SDC_K10	...schädlich:	<input type="radio"/> ...nützlich:
11) SDC_K11.r	...schön:	<input type="radio"/> ...hässlich:
12) SDC_K12.r	...unabhängig:	<input type="radio"/> ...abhängig:
13) SDC_K13	...künstlich:	<input type="radio"/> ...natürlich:
14) SDC_K14	...giftig:	<input type="radio"/> ...ungiftig:
15) SDC_K15	...gefährlich:	<input type="radio"/> ...ungefährlich:
16) SDC_K16.r	...kontrollierbar:	<input type="radio"/> ...unkontrollierbar:
17) SDC_K17	...zerstörerisch:	<input type="radio"/> ...schöpferisch:
18) SDC_K18	...unsicher:	<input type="radio"/> ...sicher:
19) SDC_K19.r	...wertvoll:	<input type="radio"/> ...wertlos:

Kurze Pause

Betrachte bitte die folgenden Kreise! Wie verbunden sind für Dich Chemie und Natur?

KCUN	Setze das passende Kreuz!	A	B	C	D	E	F	G
	Wähle bitte die Darstellung, die am besten Deine Sicht zu Chemie und Natur beschreibt.	<input type="radio"/>						

Welche Einstellung hast du zu Chemie und Natur?

Bitte gib an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.		Stimmt gar nicht	Stimmt wenig	Stimmt ziemlich	Stimmt völlig
1) CUN_A1	In der Natur fühle ich mich umgeben von Chemie.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
2) CUN_A2	Für mich ist Chemie eine Naturwissenschaft, die im Einklang mit der Natur steht.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
3) CUN_A3.r	Pflanzliche Medikamente funktionieren ohne Chemie.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
4) CUN_A4.r	Chemie und Natur hat für mich wenig miteinander zu tun.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
5) CUN_A5	Die gegensätzliche Darstellung von Chemie und Natur der Werbung stört mich.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
6) CUN_A6	Mit Naturphänomenen verbinde ich häufig chemische Sachverhalte.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>

7)	In Bio-Lebensmitteln ist keine Chemie drin.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A7.r					
8)	Pflanzen und Tiere in der Natur sind auf Chemie angewiesen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A8					
9)	In der Natur ist kaum Chemie zu finden.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A9.r					
10)	Umweltprozesse in der Natur erkläre ich mit Chemie.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A10					
11)	Chemie und Natur haben für mich viel gemeinsam.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A11					
12)	Bei Naturkosmetikprodukten wird keine Chemie verwendet.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A12.r					
13)	Wenn ich mich in meiner natürlichen Umgebung umschau, sehe ich nichts außer Chemie.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A13					
14)	Ohne Chemie würde die Natur nicht existieren.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A14					
15)	Ich nehme Chemie und Natur als Gegensatz wahr.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A15.r					
16)	Ökologische Wasch- und Putzmittel wirken ohne Zusatz von Chemie.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A16.r					
17)	Natur statt Chemie!	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
CUN_A17.r					

Du findest hier eine Liste von Handlungen. Gib bitte an, wie häufig du diese Handlungen ausführst.

Wie häufig führe ich diese Handlung aus?		Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
1)	Ich stehe früh auf, um den Sonnenaufgang zu erleben.	Nie <input type="radio"/>	Selten <input type="radio"/>	Gelegentlich <input type="radio"/>	Oft <input type="radio"/>	Immer <input type="radio"/>
NV_R18						
2)	Ich spreche mit Pflanzen.	Nie <input type="radio"/>	Selten <input type="radio"/>	Gelegentlich <input type="radio"/>	Oft <input type="radio"/>	Immer <input type="radio"/>
NV_R19						
3)	Ich sehe mir Fernsehsendungen an, deren Hauptdarsteller Tiere sind.	Nie <input type="radio"/>	Selten <input type="radio"/>	Gelegentlich <input type="radio"/>	Oft <input type="radio"/>	Immer <input type="radio"/>
NV_R20						
4)	Ich wandere oder jogge in nahe gelegenen Naturschutzgebieten oder Wäldern.	Nie <input type="radio"/>	Selten <input type="radio"/>	Gelegentlich <input type="radio"/>	Oft <input type="radio"/>	Immer <input type="radio"/>
NV_R21						

5)	Ich nehme mir Zeit, den Wolken beim Vorbeiziehen zuzusehen.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R22		<input type="radio"/>				
6)	Ich beobachte oder höre bewusst Vögel zu.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R23		<input type="radio"/>				
7)	Ich nehme mir bewusst Zeit, die Sterne zu beobachten.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R25		<input type="radio"/>				
8)	Ich helfe Schnecken oder Würmern über die Straße.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R37		<input type="radio"/>				
9)	Ich gehe in einen Park.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R26		<input type="radio"/>				
10)	Ich spreche mit Tieren.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R28		<input type="radio"/>				
11)	Auch wenn es sehr kalt ist oder wenn es regnet unternehme ich Spaziergänge in der freien Natur.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R29		<input type="radio"/>				
12)	Ich verspüre ein Bedürfnis, draußen in der Natur zu sein.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R30		<input type="radio"/>				
13)	Ich nehme mir Zeit, um bewusst an Blumen zu riechen.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R31		<input type="radio"/>				
14)	Ich imitiere das Verhalten von Tieren.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R32		<input type="radio"/>				
15)	Ich sammle Pilze oder Beeren.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R33		<input type="radio"/>				
16)	Ich imitiere Geräusche von Tieren.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R34		<input type="radio"/>				
17)	Ich gehe barfuß über nasse Wiesen.	Nie	Selten	Gelegentlich	Oft	Immer
NV_R35		<input type="radio"/>				

Bei den folgenden Handlungen ist nicht die Häufigkeit gefragt; es geht vielmehr darum, was eher für dich zutrifft.

	Welche Handlung trifft eher auf dich zu?	Stimmt nicht	Stimmt
18) NV_R3	Insekten, z. B. Fliegen oder Spinnen, versuche ich zu fangen und nach draußen zu setzen statt sie zu töten.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
19) NV_R6	Ich besitze MP3s / eine CD / eine Kassette / eine App mit Naturgeräuschen.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
20) NV_R7	Ich besitze und versorge Pflanzen.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
21) NV_R4	Ich verbringe viel Zeit im Wald	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
22) NV_R11	Der Tod eines Haustiers lässt mich trauern.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
23) NV_R12	Mein Lieblingsplatz ist ein Flecken im Grünen.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
24) NV_R16	Wenn ich eine Pflanze vertrocknen lasse, mache ich mir Vorwürfe.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
25) NV_R15	Ich fühle mich elend, wenn ich einen Kahlschlag von Wäldern sehe.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
26) NV_R52.r	Der Lärm von Grillen geht mir auf die Nerven.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
27) NV_R48	Ich spaziere lieber im Wald als in der Stadt.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
28) NV_R41	Einem Baum in die Borke zu ritzen, fühlt sich an, wie sich selber zu schneiden.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
29) NV_R43	Ich sammle Dinge aus der Natur, wie z. B. Steine, Schmetterlinge oder Käfer.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
30) NV_R55	Haustiere sind Teil der Familie.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
31) NV_R45.r	Ich lebe lieber in der Stadt als auf dem Land.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
32) NV_R53	Das Quaken von Fröschen ist beruhigend.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
33) NV_R47	Ich arbeite gern im Garten.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>

34) NV_R40	Ich finde es spannend, Tiere zu beobachten.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
35) NV_R46.r	Ich verbringe lieber Zeit mit Freunden als allein in der Natur.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
36) NV_R44	Zimmerpflanzen sind Teil der Familie.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
37) NV_R14	Überfahrene Igel machen mich traurig.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
38) NV_R49	Ein Waldspaziergang lässt mich meine Alltagsorgen vergessen.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
39) NV_R50	Ich treibe Sport lieber draußen als drinnen.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>
40) NV_R51	Es entspannt mich, Naturgeräuschen zuzuhören.	Stimmt nicht <input type="radio"/>	Stimmt <input type="radio"/>

Betrachte bitte die folgenden Kreise! Wie verbunden fühlst Du Dich mit der Natur?

INS	Setze das passende Kreuz!	A	B	C	D	E	F	G
Wähle bitte die Darstellung, die am besten Dein Verhältnis zur Natur beschreibt.		<input type="radio"/>						

Bewerte mit Hilfe der aufgelisteten Eigenschaftswörter die „Natur“. Dabei geht es um dein spontanes Empfinden ohne langes Nachdenken, wie die „Natur“ auf dich wirkt.

Die „Natur“ ist für mich...		
1) SDN_W1.r	..wichtig.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..unwichtig.
2) SDN_W2.r	..produktiv.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..unproduktiv.
3) SDN_W3	..unkreativ.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..kreativ.
4) SDN_W4	..statisch.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..dynamisch.
5) SDN_W5.r	..offen.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..geschlossen.
6) SDN_W6	..rückschrittlich.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..fortschrittlich.
7) SDN_W7.r	..innovativ.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..konservativ.
8) SDN_K8.r	..sauber.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..schmutzig.
9) SDN_K9.r	..friedlich.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..aggressiv.
10) SDN_K10	..schädlich.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..nützlich.
11) SDN_K11.r	..schön.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..hässlich.
12) SDN_K12.r	..unabhängig.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..abhängig.
13) SDN_K13	..künstlich.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..natürlich.
14) SDN_K14	..giftig.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..ungiftig.
15) SDN_K15	..gefährlich.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..ungefährlich.
16) SDN_K16.r	..kontrollierbar.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..unkontrollierbar.
17) SDN_K17	..zerstörerisch.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..schöpferisch.
18) SDN_K18	..unsicher.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..sicher.
19) SDN_K19.r	..wertvoll.	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> ..wertlos.

Kurze Pause

In diesem Teil geht es um chemiebezogenes Wissen.

Versuche bitte, alle Fragen selbständig zu beantworten.

Auf die folgenden Fragen gibt es jeweils nur eine richtige Antwort!!!

1) FW_1	Welche der folgenden Aussagen ist falsch?
<input type="radio"/>	Bei chemischen Reaktionen werden immer Stoffe umgewandelt.
<input type="radio"/>	Bei chemischen Reaktionen entstehen immer ein oder mehrere neue Stoffe.
<input type="radio"/>	Bei chemischen Reaktionen wird in der Gesamtbilanz immer Energie frei.
<input type="radio"/>	Bei chemischen Reaktionen entstehen immer ein oder mehrere Produkte mit neuen Eigenschaften.
FWS_1	Bei meiner Antwort bin ich mir... ..unsicher. <input type="radio"/> ..sicher. <input type="radio"/>

2) FW_2	Bei der Reaktion von Carbonat mit Säure kann beobachtet werden, dass...
<input type="radio"/>	...ein schwer löslicher Feststoff ausfällt.
<input type="radio"/>	...eine charakteristische Färbung auftritt.
<input type="radio"/>	...ein Gas freigesetzt wird.
<input type="radio"/>	...eine farblose Lösung entsteht.
FWS_2	Bei meiner Antwort bin ich mir... ..unsicher. <input type="radio"/> ..sicher. <input type="radio"/>

3) FW_3	Calciumchlorid reagiert mit Oxalsäure nach folgender Reaktionsgleichung:
<input type="radio"/>	$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaCO}_3\downarrow + \text{CO}\uparrow + 2\text{HCl}$
<input type="radio"/>	$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{HCl} + \text{H}_2\uparrow$
<input type="radio"/>	$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{Ca} + 2\text{HCl} + 2\text{CO}_2\uparrow$
<input type="radio"/>	$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow + 2\text{HCl}$
FWS_3	Bei meiner Antwort bin ich mir... ..unsicher. <input type="radio"/> ..sicher. <input type="radio"/>

4) FW_4	Eisen-Ionen können nachgewiesen werden durch...
<input type="radio"/>	...eine violette Färbung mit Salicylsäure.
<input type="radio"/>	...eine blaue Färbung mit Salicylsäure.
<input type="radio"/>	...eine blaue Färbung mit Ascorbinsäure.
<input type="radio"/>	...eine violette Färbung mit Ascorbinsäure.
FWS_4	Bei meiner Antwort bin ich mir... ..unsicher. <input type="radio"/> ..sicher. <input type="radio"/>

5) FW_5	Bei Redoxreaktionen...
<input type="radio"/>	...werden Protonen abgegeben oder aufgenommen.
<input type="radio"/>	...ändern sich die Oxidationszahlen der Reaktionspartner.
<input type="radio"/>	...werden immer zwei Elektronenpaare ausgetauscht.
<input type="radio"/>	...werden Liganden ausgetauscht.
FWS_5	Bei meiner Antwort bin ich mir... ..unsicher. <input type="radio"/> ..sicher. <input type="radio"/>

6) FW_6	Bei Säure-Base-Reaktionen...
<input type="radio"/>	...werden Protonen abgegeben oder aufgenommen.
<input type="radio"/>	...ändern sich die Oxidationszahlen der Reaktionspartner.
<input type="radio"/>	...werden Elektronen ausgetauscht.
<input type="radio"/>	...werden Liganden ausgetauscht.
FWS_6	Bei meiner Antwort bin ich mir... ..unsicher. <input type="radio"/> ..sicher. <input type="radio"/>

7) FW_7	Bei einer Fällungsreaktion bildet sich...
<input type="radio"/>	...eine Emulsion.
<input type="radio"/>	...eine Suspension.
<input type="radio"/>	...ein Aerosol.
<input type="radio"/>	...ein Gemenge.
FWS_7	Bei meiner Antwort bin ich mir... ..unsicher. <input type="radio"/> ..sicher. <input type="radio"/>

8) FW_8	Ein Komplex besteht aus...
<input type="radio"/>	...Brønsted-Säure und Brønsted-Base.
<input type="radio"/>	...Oxidationsmittel und Reduktionsmittel.
<input type="radio"/>	...Zentralteilchen und Ligand.
<input type="radio"/>	...Elektronenakzeptor und Elektronendonator.
FWS_8	Bei meiner Antwort bin ich mir... ..unsicher. <input type="radio"/> ..sicher. <input type="radio"/>

9) FW_9	Wie ist die Struktur des folgenden Komplexes aufgebaut? $KFe^II[Fe^{III}(CN)_6]$
<input type="radio"/>	...ein Eisen(II)- und ein Eisen(III)-Kation als Zentralteilchen mit 6 Cyanid-Anionen als Liganden.
<input type="radio"/>	...ein Kalium- und ein Eisen(II)-Kation als Zentralteilchen mit 6 Cyanid-Anionen als Liganden.
<input type="radio"/>	...ein Eisen(III)-Kation als Zentralteilchen mit 6 Cyanid-Anionen als Liganden.
<input type="radio"/>	...ein Eisen(III)-Kation als Zentralteilchen mit 6 Cyanid-Anionen als Liganden.
FWS_9	Bei meiner Antwort bin ich mir... ..unsicher. <input type="radio"/> ..sicher. <input type="radio"/>

10) FW_10	Bei der fotochemisch induzierten Reaktion zwischen Ammoniumeisen(II)citrat und Kaliumhexacyanidoferrat(III) entsteht...
<input type="radio"/>	...Pariser Weiß.
<input type="radio"/>	...Berliner Grün.
<input type="radio"/>	...Berliner Blau.
<input type="radio"/>	...Pariser Gelb.
FWS_10	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

11) FW_11	Welche der folgenden Aussagen ist falsch?
<input type="radio"/>	Mineralische Sonnencreme enthält primäre Lichtschutzstoffe (z. B. Titandioxid).
<input type="radio"/>	Sonnencreme absorbiert UV-Strahlung (z. B. durch Derivate der para-Aminobenzoesäure).
<input type="radio"/>	Sonnencreme reflektiert UV-Strahlung (z. B. durch Nanopartikel).
<input type="radio"/>	Sonnencreme wandelt Infrarotstrahlung in UV-Strahlung um (z. B. durch Zinkdioxid).
FWS_11	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

12) FW_12	Der Sonnenschutz der Sommerbräune ist zurückzuführen auf...
<input type="radio"/>	...Melanin.
<input type="radio"/>	...Vitamin D ₃ .
<input type="radio"/>	...Fluorescein.
<input type="radio"/>	...Aesculin.
FWS_12	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

13) FWS_13	Ein konjugiertes π-Elektronensystem entsteht durch...
<input type="radio"/>	...sp-hybridisierte Kohlenstoff-Atome.
<input type="radio"/>	...zahlreiche Doppelbindungen.
<input type="radio"/>	...lange Kohlenstoffketten.
<input type="radio"/>	...sich abwechselnde Doppel- und Einfachbindungen.
FWS_13	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

14) FW_14	Welche der folgenden Aussagen ist falsch?
<input type="radio"/>	Farbstoff-Moleküle weisen chromophore Gruppen auf.
<input type="radio"/>	Farbstoff-Moleküle haben ausgedehnte konjugierte π -Elektronensysteme.
<input type="radio"/>	Farbstoff-Moleküle absorbieren Licht im sichtbaren Wellenlängenbereich.
<input type="radio"/>	Farbstoff-Moleküle weisen in ihrer Struktur eine Eigenfarbe auf.
FWS_14	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

15) FW_15	Parietin gehört zur Farbstoffklasse der...
<input type="radio"/>	...Anthrachinonfarbstoffe.
<input type="radio"/>	...Azofarbstoffe.
<input type="radio"/>	...Anthocyanfarbstoffe.
<input type="radio"/>	...Triphenylmethanfarbstoffe.
FWS_15	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

16)	Porphyrine sind...
FW_16	
<input type="radio"/>	...synthetisch-anorganische Komplexfarbstoffe.
<input type="radio"/>	...langkettige, gesättigte Kohlenwasserstoffe.
<input type="radio"/>	...sind chemische Untereinheiten der DNA und RNA.
<input type="radio"/>	...sind chemische Strukturen, denen Hämoglobin und Chlorophyll zugrunde liegt.
FWS_16	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

17)	Welche der folgenden Aussagen ist falsch?
FW_17	Farbstoffe, die pH-Wert abhängig ihre Farbe wechseln, ...
<input type="radio"/>	...verändern in einer chemischen Reaktion ihre Struktur.
<input type="radio"/>	...werden protoniert oder deprotoniert.
<input type="radio"/>	...werden oxidiert oder reduziert.
<input type="radio"/>	...weisen beispielsweise Carboxyl- oder Hydroxy-Gruppen auf.
FWS_17	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

18)	Welche der folgenden Aussagen ist falsch?
FW_18	Das Streuungsphänomen des Tyndall-Effekts kann ausgelöst werden durch...
<input type="radio"/>	...kleine Dichteunterschiede in einer Lösung.
<input type="radio"/>	...Nanopartikel und Kolloide in einer Lösung.
<input type="radio"/>	...fein verteilte Tröpfchen und Gase.
<input type="radio"/>	...Feinstaub.
FWS_18	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

19) FW_19	Das Phänomen der Fluoreszenz beruht auf Stoffen, die...
<input type="radio"/>	...im sichtbaren Wellenlängenbereich absorbieren und im ultravioletten Wellenlängenbereich emittieren.
<input type="radio"/>	...im ultravioletten Wellenlängenbereich absorbieren und im sichtbaren Wellenlängenbereich emittieren.
<input type="radio"/>	...im ultravioletten Wellenlängenbereich und im sichtbaren Wellenlängenbereich emittieren.
<input type="radio"/>	...im ultravioletten Wellenlängenbereich und im sichtbaren Wellenlängenbereich absorbieren.
FWS_19	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

20) FW_20	Bei Fluoreszenzfarbstoffen werden...
<input type="radio"/>	...Elektronen angeregt, die in einen instabilen Zustand übergehen.
<input type="radio"/>	...Elektronen angeregt, die in einen stabilen Zustand übergehen.
<input type="radio"/>	...Protonen angeregt, die in einen instabilen Zustand übergehen.
<input type="radio"/>	...Protonen angeregt, die in einen stabilen Zustand übergehen.
FWS_20	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

21) FW_21	Bei der ersten Oxidation eines Alkohols (z. B. Menthol oder Ethanol) wird aus der Hydroxy-Gruppe...
<input type="radio"/>	...eine Carboxyl-Gruppe.
<input type="radio"/>	...eine Carbonyl-Gruppe.
<input type="radio"/>	...eine Ester-Gruppe.
<input type="radio"/>	...eine Ether-Gruppe.
FWS_21	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

22) FW_22	Bei einer Destillation können Stoffe getrennt werden aufgrund der unterschiedlichen...
<input type="radio"/>	...Dichte der Stoffe.
<input type="radio"/>	...Löslichkeit der Stoffe.
<input type="radio"/>	...Schmelzpunkte der Stoffe.
<input type="radio"/>	...Siedepunkte der Stoffe.
FWS_22	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

23) FW_23	Stoffe, die sich gut in Wasser lösen, weisen zahlreiche...
<input type="radio"/>	...polare Gruppen auf z. B. R-OH oder R-COOH.
<input type="radio"/>	...unpolare Gruppen auf z. B. R-CH ₃ oder R-C ₂ H ₅ .
<input type="radio"/>	...polare Gruppen auf z. B. R-CH ₃ oder R-C ₂ H ₅ .
<input type="radio"/>	...unpolare Gruppen auf z. B. R-OH oder R-COOH.
FWS_23	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

24) FW_24	Bei einer chemischen Analyse dient eine Blindprobe...
<input type="radio"/>	...als Positiv- oder Negativ-Kontrolle zum Vergleich mit der zu untersuchenden Substanz.
<input type="radio"/>	...als Referenzwert zur Bestimmung der maximalen Ausbeute.
<input type="radio"/>	...als Kontrolle zum Vergleich der Analyse bei Dunkelheit.
<input type="radio"/>	...als Kontrolle zum Vergleich der Analyse unter UV-Licht.
FWS_24	Bei meiner Antwort bin ich mir... ...unsicher. <input type="radio"/> ...sicher. <input type="radio"/>

Geschafft!

Fragebogen der begleitenden Datenerhebung

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

Die Auswertung des Fragebogens erfolgt selbstverständlich **anonym** und die Daten werden nicht weitergegeben. Zur Zuordnung der Fragebögen ist ein Erkennungscode notwendig. Bitte fülle diese Zeile **gut leserlich** aus:

Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter		Die ersten beiden Buchstaben des Vornamens des Vaters		Tag des Geburtstags	Alter	Geschlecht
1) -----	2) -----	1) -----	2) -----	-----	-----	<input type="radio"/> Weiblich <input type="radio"/> Männlich

Uns interessiert deine **ganz persönliche Meinung und Situation** und nicht was deine Eltern, Lehrkräfte oder Freunde gut finden würden. Beantworte die Fragen bitte **gewissenhaft aber spontan**, ohne lange darüber nachzudenken. Es ist wichtig, dass du **alle Fragen alleine beantwortest und keine auslässt**. Kannst du dich nicht entscheiden, kreuze die Antwortmöglichkeit an, die für dich am ehesten passt. Wenn du dich vertan hast, markiere dein neues Kreuz mit einem Kreis:

Wie sehr musstest du dich bei der Beantwortung des Fragebogens anstrengen?

Setze das passende Kreuz!	Sehr gering	Ziemlich gering	Eher gering	Angemessen	Eher hoch	Ziemlich hoch	Sehr hoch
Bei der Bearbeitung des Fragebogens war meine mentale Anstrengung ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Danke für deine Mitarbeit und viel Spaß!

Gruppenname: _____

Wie sehr musstest du dich bei der Lerneinheit anstrengen?

CL_K 1	Setze das passende Kreuz!	Sehr gering	Ziemlich gering	Eher gering	Angemessen	Eher hoch	Ziemlich hoch	Sehr hoch
	Bei der Bearbeitung der Lerneinheit war meine geistige Denk-Anstrengung insgesamt ...	<input type="radio"/>						
CL_K 2	Setze das passende Kreuz!	Sehr leicht	Ziemlich leicht	Eher leicht	Angemessen	Eher schwer	Ziemlich schwer	Sehr schwer
	Wie leicht oder schwer war das Lernmaterial insgesamt zu verstehen?	<input type="radio"/>						

Wie war für dich heute der Aufenthalt im Freiland?

W_A 1	Setze das passende Kreuz!	Sehr un- ange- nehm	Ziemlich unange- nehm	Eher un- ange- nehm	Eher an- genehm	Ziemlich ange- nehm	Sehr an- genehm
	Ich habe den Aufenthalt im Freiland heute empfunden als ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wie interessant findest du die Lerneinheit?

Bitte gib an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.		Stimmt gar nicht	Stimmt wenig	Stimmt ziemlich	Stimmt völlig
1) AI_U_F12	Ich finde es schade, dass die Lerneinheit jetzt vorbei ist.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
2) AI_W_P29	Dass wir in der Natur Experimente durchgeführt haben, erscheint mir sinnvoll.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
3) AI_E_P36	Die Lerneinheit, wie wir sie in der Natur durchgeführt haben, würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
4) AI_E_P35	Ich würde gerne mehr über die Experimente lernen, die wir in der Natur durchgeführt haben.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
5) AI_W_F14	Ich finde es wichtig, solche Themen wie heute kennen zu lernen.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
6) AI_M_P27	Die Durchführung der Lerneinheit war langweilig.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
7) AI_E_P37	Beim Experimentieren habe ich interessante Anregungen erhalten.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
8) AI_W_F19	Das Thema heute fand ich gut, weil ich es auch außerhalb der Schule benötige.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
9) AI_W_F17	Das Thema heute war für mich wichtig, da ich einen Einblick bekommen habe, wo Chemie in der Natur vorkommt.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
10) AI_U_R7	Bei der Lerneinheit mochte ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>
11) AI_U_F11	Ich freue mich auf die nächste Lerneinheit.	Stimmt gar nicht <input type="radio"/>	Stimmt wenig <input type="radio"/>	Stimmt ziemlich <input type="radio"/>	Stimmt völlig <input type="radio"/>

Bitte fasse in einem Satz deinen Eindruck von heute zusammen!

Z_A1	Für mich stand heute im Fokus...

Platz für sonstige Anmerkungen

VI Verzeichnisse

a) Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptinhaltsstoffe einer Banane (Kennedy, 2013).....	2
Abbildung 2: Outdoor Education-Windrosenmodell.....	10
Abbildung 3: Theoretische Modellierung von Kontextmerkmalen.....	23
Abbildung 4: Semantische Differenziale zu Chemie und Natur.....	43
Abbildung 5: Wirkungsgefüge der Umweltkompetenz.....	49
Abbildung 6: CHEMIE PUR Logo.....	55
Abbildung 7: Freilandmobil Logo.....	55
Abbildung 8: Einführende Folien zur Vorbereitung der Lerneinheit „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“.....	59
Abbildung 9: Abschließende Folien zur Nachbesprechung der Lerneinheit „Faszination Fluoreszenz – Sonnenschutz in der Natur“.....	62
Abbildung 10: Forschungslogischer Ablauf.....	99
Abbildung 11: Auszug der interaktiven Online-Umfrage.....	101
Abbildung 12: „Inclusion of Nature in Self“ Skala.....	117
Abbildung 13: Zeitlicher Ablauf des Forschungsdesigns der Pilotierung.....	121
Abbildung 14: Übersicht der erhobenen Variablen der Pilotierung.....	123
Abbildung 15: Zeitlicher Ablauf des Forschungsdesigns der Hauptstudie...	139
Abbildung 16: Übersicht der erhobenen Variablen der Hauptstudie.....	141
Abbildung 17: Latentes Differenzenmodell als Baseline-Change Variante über drei Testzeitpunkte mit zwei indicatorspezifischen Faktoren (IS).....	147
Abbildung 18: Relative Häufigkeiten der lokalen Gegebenheiten für Outdoor Unterricht.....	151
Abbildung 19: Relative Häufigkeiten der Gründe gegen Outdoor Chemieunterricht.....	152
Abbildung 20: Relative Häufigkeiten von Themen für Outdoor Chemieunterricht.....	153
Abbildung 21: Itemmittelwerte der Unterstützungsmöglichkeiten für Outdoor Chemieunterricht.....	154
Abbildung 22: Häufigkeitsverteilungen der vierstufigen Likert-Skalen.....	161
Abbildung 23: Boxplot Diagramme der Items zu den Konstrukten.....	162
Abbildung 24: Plots zur grafischen Überprüfung der Normalverteilung.....	167
Abbildung 25: Das tätigkeitsbezogene Sachinteresse Chemie steigt über die Dauer der Intervention an und bleibt anschließend über drei Monate konstant.....	168

Abbildung 26: Die Korrelationswerte aller Variablen sind optisch in unterschiedlich intensiven Blau- und Rottönen dargestellt.....	170
Abbildung 27: Das aktuelle Interesse zwischen den CHEMIE PUR Lerneinheiten und über die fünf Testzeitpunkte T1 – T5 ist konstant.....	171
Abbildung 28: Die kognitive Belastung zwischen den CHEMIE PUR Lerneinheiten über die fünf Testzeitpunkte T1 – T5 ist konstant	172
Abbildung 29: Die Korrelationswerte jedes Items mit sich selbst und den restlichen Items der Skala sind optisch in unterschiedlich intensiven Blautönen dargestellt.....	175
Abbildung 30: Das Screeplot der Parallel Analyse vergleicht die empirischen Daten in Blau mit dem simulierten Datenverlauf.....	176
Abbildung 31: Häufigkeitsverteilungen der vierstufigen Likert-Skalen.....	181
Abbildung 32: Boxplot Diagramme der Items zum Konstrukt „Einstellung zu Chemie und Natur“.....	182
Abbildung 33: Die Korrelationswerte aller Variablen sind optisch in unterschiedlich intensiven Blau- und Rottönen dargestellt.....	190
Abbildung 34: Das aktuelle Interesse unterscheidet sich mit einem kleinen Effekt signifikant zwischen Experimentalgruppe (EG) und Kontrollgruppe (KG).....	192
Abbildung 35: Zwischen den Kursen liegen signifikante Unterschiede im aktuellen Interesse vor	193
Abbildung 36: Die Lerneinheiten der Experimentalgruppe (EG) in Grün sind mit einem kleinen Effekt signifikant leichter verständlich als die der Kontrollgruppe (KG).....	194
Abbildung 37: Zwischen den Kursen liegen signifikante Unterschiede im aktuellen Interesse vor	195
Abbildung 38: Entwicklung des Fachinteresses zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe.	201
Abbildung 39: Entwicklung des Sachinteresses zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe	202
Abbildung 40: Entwicklung des inhaltsbezogenen Sachinteresses zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe.....	202
Abbildung 41: Entwicklung der Einstellung als Differenz von Natur und Chemie zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe.....	203

Abbildung 42: Entwicklung der Einstellung zu Chemie und Natur zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe.....	204
Abbildung 43: Entwicklung der Einstellung zu Chemie und Natur zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe.....	205
Abbildung 44: Entwicklung der Naturverbundenheit zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe.....	206
Abbildung 45: Entwicklung der Naturverbundenheit zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe.....	206
Abbildung 46: Entwicklung des Fachwissens zum Pre-, Post- und Follow Up-Testzeitpunkt im Vergleich von Kontroll- und Experimentalgruppe	207
Abbildung 47: Aus der Literatur abgeleitetes Wirkungsgefüge der unabhängigen Variable auf die abhängigen Variablen.....	220

b) Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der theoretischen Rahmung zu Outdoor Education	7
Tabelle 2: Methode und Stichprobe der Prepilottierung	103
Tabelle 3: Teilstudien mit Methoden und Stichproben der Pilotierung	113
Tabelle 4: Skalendokumentation der Testentwicklung zum Konstrukt „Aktuelles Interesse“	115
Tabelle 5: Skalendokumentation der Testentwicklung zum Konstrukt „Einstellung zu Chemie und Natur“	118
Tabelle 6: Vermeintlich leichtes Item 35 am Ende des Tests zum Basiskonzept „Stoff-Teilchen“	119
Tabelle 7: CHEMIE PUR Lerneinheiten	125
Tabelle 8: Auszug der codierten Fragebögen	129
Tabelle 9: Methode und Stichprobe der Hauptstudie	137
Tabelle 10: Einteilung der Kurse in Experimental- und Kontrollgruppe sortiert nach Kurstyp, Jahrgangsstufe und Schulzugehörigkeit	139
Tabelle 11: Reihenfolge der Lerneinheiten aller beteiligten Kurse	142
Tabelle 12: Dreigliedrige Struktur der Lerneinheiten in Experimental- und Kontrollgruppe mit zeitlichem Ablauf	143
Tabelle 13: Übersicht der Ergebnisse der Vorstudie, Prepilottierung, Pilotierung und Hauptstudie	149
Tabelle 14: Ergebnisse der Textoberflächenanalyse im Vergleich zwischen der Experimental- und Kontrollgruppe	159
Tabelle 15: Kategorien der Textoberflächenanalyse mit den Testvoraussetzungen zur Unterschiedsprüfung und der zugehörigen Effektgröße	160
Tabelle 16: Für die Konstrukte sind die Itemkennwerte der Items auf Grundlage der Itemanalyse angegeben	164
Tabelle 17: Vergleich der zwei Messmodelle anhand des χ^2 -Tests mit zugehörigen p-Werten	166
Tabelle 18: Für die Konstrukte wurden die Voraussetzungen überprüft, um anschließend die einfaktorielle, messwiederholte Varianzanalyse oder Friedman's Varianzanalyse durchzuführen	168
Tabelle 19: Für die Konstrukte wurden die Voraussetzungen überprüft, um anschließend den Mann-Whitney Test, den Kruskal-Wallis Rangsummentest oder die Friedman's Varianzanalyse durchzuführen	173
Tabelle 20: Für die Konstrukte sind die Itemkennwerte auf Grundlage der Itemanalyse angegeben	174

Tabelle 21: Die Formulierungen der Items vor der Überarbeitung sind durchgestrichen und danach in normaler Schrift.....	177
Tabelle 22: Das Item FW3 wurde vollständig umformuliert.....	178
Tabelle 23: Das Item FW7 hat zwei Distraktoren, die nur in drei bis fünf Prozent der Fälle genutzt wurden.....	179
Tabelle 24: Der Inhalt des Item FW32 wird zwar in Kontroll- und Experimentalgruppe, aber nicht schwerpunktmäßig thematisiert.....	179
Tabelle 25: Für die Konstrukte sind die Itemkennwerte auf Grundlage der Itemanalyse angegeben.....	183
Tabelle 26: Vergleich der zwei Messmodelle anhand des χ^2 -Tests mit zugehörigen p-Werten	185
Tabelle 27: Für die Konstrukte sind die frei geschätzten Modellparameter und Fitindices tabelliert.....	186
Tabelle 28: Unterschiede zwischen Experimental- und Kontrollgruppe der Kovariablen zum ersten Testzeitpunkt mit den Testvoraussetzungen zur Analyse und der zugehörigen Effektgröße	188
Tabelle 29: Ergebnisse der Unterschiedsprüfungen zwischen den zweigeteilten Lerneinheiten mit den Testvoraussetzungen zur Analyse und der zugehörigen Effektgröße.....	191
Tabelle 30: Ergebnisse der Unterschiedsprüfungen der begleitenden Daten mit den Testvoraussetzungen zur Analyse und der zugehörigen Effektgröße	196
Tabelle 31: Für die Konstrukte sind die frei geschätzten Modellparameter und Fitindices der Latent-State-Modelle tabelliert.....	197
Tabelle 32: Für die Konstrukte sind die frei geschätzten Modellparameter und Fitindices der Latent-Change-Modelle tabelliert.....	199
Tabelle 33: : Für die Konstrukte sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten der latenten Unterschiedsprüfungen als p-Wert und Effektgrößen als Cohen's d angegeben	207
Tabelle 34: Übersicht der methodischen und inhaltlichen Diskussion.....	209
Tabelle 35: Für die Konstrukte sind die Itemkennwerte der beschriebenen Hauptstudie mit Kennwerten aus der Literatur in Beziehung gesetzt	218

c) Literaturverzeichnis

- Ajzen, I. & Fishbein, M. (1980). *Understanding Attitudes and Predicting Social Behavior*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Ajzen, I. (2005). *Attitudes, Personality and Behavior*. Maidenhead: Open University Press.
- Albert, M., Hurrelmann, K. & Quenzel, G. (2019). *18. Shell Jugendstudie. Jugend 2019: Eine Generation meldet sich zu Wort*. Weinheim: Beltz.
- Alisch, J. (2008). *Schulgärten in Baden-Württemberg unter Berücksichtigung struktureller, organisatorischer und personeller Einflussfaktoren: Eine landesweite empirische Untersuchung*. Berlin: Pro Business.
- Alisch, J., Zabler, E., Bay, F., Köhler, K. & Lehnert, H.-J. (2005). Schulgärten und naturnah gestaltetes Schulgelände in Baden-Württemberg – eine empirische Untersuchung. In H.-J. Lehnert & K. Köhler (Hrsg.), *Schulgelände zum Leben und Lernen. Karlsruher pädagogische Studien – Band 4*. Norderstedt: Books on Demand.
- Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K. & Wilke, B.-M. (2018). *Lehrbuch der Bodenkunde*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-55871-3.
- Ammermann, S., Kaminski, L., Deiters, D., Pietzner, V. (2012). Aerosole – auch ein Klimafaktor. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 129 (3), 32–39.
- Aron, A., Aron, E. N. & Smollan, D. (1992). Inclusion of other in the self scale and the structure of interpersonal closeness. *Journal of Personality and Social Psychology*, 63 (4), 596–612. doi: 10.1037/0022-3514.63.4.596.
- Artino, A. R. Jr. (2008). Cognitive load theory and the role of learner experience: An abbreviated review for educational practitioners. *Association for the Advancement of Computing In Education Journal*, 16 (4), 425–439.
- Atchley, R. A., Strayer, D. L. & Atchley, P. (2012). Creativity in the Wild: Improving Creative Reasoning through Immersion in Natural Settings. *Public Library of Science One*, 7 (12), 1–3. doi: 10.1371/journal.pone.0051474.
- Au, W. (2007). High-Stakes Testing and Curricular Control: A Qualitative Metasynthesis. *Educational Researcher*, 36 (5), 258–267. doi: 10.3102/0013189X07306523.
- Baars, G. (2008). Farbstoffe. In W. Glöckner, W. Jansen & R. G. Weissenhorn (Hrsg.), *Handbuch der experimentellen Chemie Sekundarbereich II Band 10 Funktionelle Gruppen, Fette, Farbstoffe*. Hallbergmoos: Aulis.
- Bader, H.-J. & Lühken, A. (2018). Anforderungen an ein Schulexperiment. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht*. Seelze: Friedrich.

- Bakeman, R. (2005). Recommended effect size statistics for repeated measure designs. *Behavior Research Methods*, 37 (3), 379–384. doi: 10.3758/BF03192707.
- Balmford, A., Clegg, L., Coulson, T. & Tayler, J. (2002). Why Conservationists Should Heed Pokémon. *Science*, 295 (5564), 2367. doi: 10.1126/science.295.5564.2367b.
- Bamberg, S. & Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of environmental psychology*, 27 (1), 14–25. doi: 10.1016/j.jenvp.2006.12.002.
- Bamberger, R. & Vanacek, E. (1984). *Lesen-Verstehen-Lernen-Schreiben. Die Schwierigkeitsstufen von Texten in deutscher Sprache*. Wien: Jugend und Volk Sauerlaender.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a Unifying Theory of Behavioral Change. *Psychological Review*, 84 (2), 191–215. doi: 10.1037/0033-295X.84.2.191.
- Barke, H.-D. & Hilbing, C. (2000). Image von Chemie und Chemieunterricht. *Chemie in unserer Zeit*, 34 (1), 17–23. doi: 10.1002/(SICI)1521-3781(200002)34:1<17::AID-CIUZ17>3.0.CO;2-V.
- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt. Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Berlin: Springer.
- Barnett, S. M. & Ceci, S. J. (2002). When and Where Do We Apply What We Learn? A Taxonomy for Far Transfer. *Psychological Bulletin*, 128 (4), 612–637. doi: 10.1037//0033-2909.128.4.612.
- Bartel, R., Beschorner, M. (2015). Ätherische Öle. Physikalische Handexperimente für den Unterricht. *Praxis der Naturwissenschaften Biologie in der Schule*, 64 (7), 33–38.
- Bartels, U. & Knabe, W. (1990). Das Experiment: Der Eisentest im Waldboden. *Chemie in unserer Zeit*, 24 (3), 131–134. doi: 10.1002/ciuz.19900240307.
- Bathgate, M. E., Schunn, C. D. & Correnti, R. (2014). Children's Motivation Toward Science Across Contexts, Manner of Interaction, and Topic. *Science Education*, 98 (2), 189–215. doi: 10.1002/sce.21095.
- Baur, A. & Haase, H. M. (2015). The influence of active participation and organisation in environmental protection activities on the environmental behaviour of pupils: Study of a teaching technique. *Environmental Education Research*, 21 (1), 92–105. doi: 10.1080/13504622.2013.843645.
- Baur, A. (2013). *Verändert die aktive Beteiligung und Mitgestaltung an Umweltschutzaktionen das Umwelthandeln von Schülern? Empirische Untersuchung einer Intervention zur Veränderung des Umwelthandelns*. Hamburg: Kovač.
- Beames, S., Higgins, P. & Nicol, R. (2012). *Learning Outside the Classroom. Theory and Guidelines for Practice*. New York, Oxon: Routledge.

- Becker, C., Lauterbach, G., Spengler, S., Dettweiler, U. & Mees, F. (2017). Effects of Regular Classes in Outdoor Education Settings: A Systematic Review on Students' Learning, Social and Health Dimensions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (5), 1–20. doi: 10.3390/ijerph14050485.
- Becker, H. J. & Hildebrandt, H. (2003). Unanschauliches veranschaulicht. Modellexperimente im Chemieunterricht als Chance der Analogiebildungen. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* 52 (2), 26–29.
- Bennett, J., Holman, J., Lubben, F., Nicolson, P. & Otter, C. (2005). Science in context: The Salters Approach. In P. Nentwig & D. Waddington (Eds.), *Making it relevant. Context based learning of science*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching. *Science Education*, 91 (3), 347–370. doi: 10.1002/sce.20186.
- Bentsen, P. (2016). „Udeskole“ in Dänemark. Von einer „Bottom-up-“ zu einer „Top-Down-Bewegung“. In J. von Au & U. Gade (Hrsg.), *Raus aus dem Klassenzimmer. Outdoor Education als Unterrichtskonzept*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Berger, R. & Walpuski, M. (2018). Kooperatives Lernen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-56320-5.
- Biermann, C. & Bosse, U. (Hrsg.) (2013). *Natur erleben, erfahren und erforschen: mit Kindern im Grundschulalter*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Blalock, C. L., Lichtenstein, M. J., Owen, S., Pruski, L., Marshall, C. & Toepperwein, M. (2008). In Pursuit of Validity: A comprehensive review of science attitude instruments. *International Journal of Science Education*, 30 (7), 961–977. doi: 10.1080/09500690701344578.
- Blankenburg, J. & Scheersoi, A. (2018). Interesse und Interessensentwicklung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-56320-5.
- Blankenburg, J. S., Höffler, T. N. & Parchmann, I. (2016). Fostering today what is needed tomorrow: Investigating students' interest in science. *Science Education*, 100 (2), 364–391. doi: 10.1002/sce.21204.
- Bleichroth, W., Dahncke, H., Jung, W., Kuhn, W., Merzyn, G. & Weltner, K. (1999). *Fachdidaktik Physik*. Hallbergmoos: Aulis.
- Bögeholz, S. (1999). *Qualitäten primärer Naturerfahrung und ihr Zusammenhang mit Umweltwissen und Umwelthandeln*. Opladen: Leske & Budrich.

- Bögeholz, S. (2006). Nature experience and its importance for environmental knowledge, values and action: Recent German empirical contributions. *Environmental education research*, 12 (1), 65–84. doi: 10.1080/13504620500526529.
- Bogner, A., Littig, B. & Menz, W. (2014). *Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Bogner, F. X. & Kaiser, F. G. (2012). Umweltbewusstsein, ökologisches Verhalten und Umweltwissen: Modell einer Kompetenzstruktur für die Umweltbildung. In H. Bayrhuber, U. Harms, B. Muszynski, B. Ralle, M. Rothgangel, L.-H. Schön, H. J. Vollmer & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Formate fachdidaktischer Forschung. Empirische Projekte - historische Analysen - theoretische Grundlegungen*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Bogner, F. X. & Wiseman, M. (1999). Towards Measuring Adolescent Environmental Perception. *European Psychologist*, 4 (3), 139–151. doi: 10.1027//1016-9040.4.3.139.
- Bogner, F. X. & Wiseman, M. (2006). Adolescents' attitudes towards nature and environment: Quantifying the 2-MEV model. *Environmentalist*, 26 (4), 247–254. doi: 10.1007/s10669-006-8660-9.
- Bogner, F. X. (2018). Environmental Values (2-MEV) and Appreciation of Nature. *Sustainability*, 10 (2), 1–10. doi: 10.3390/su10020350.
- Bohner, G., Erb, H.-P. & Siebler, F. (2008). Information Processing Approaches to Persuasion: Integrating Assumptions from the Dual- and Single-Processing Perspectives. In W. D. Crano & R. Prislin (Eds.), *Attitudes and Attitude Change*. New York: Psychology Press.
- Bormann, I. & de Haan, G. (Hrsg.). (2008). *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde*. Wiesbaden: Springer VS.
- Borrows, P. (2004). Chemistry trails. In M. Braund & M. Reiss (Eds.), *Learning Science Outside The Classroom*. Oxon, New York, Oxon: Routledge.
- Borrows, P. (2006). Chemistry outdoors. *School Science Review*, 87 (320), 23–31.
- Brämer, R. (2006). *Natur obskur. Wie Jugendliche heute Natur erfahren*. München: Oekom.
- Brämer, R. (2010). *Natur: Vergessen? Erste Befunde des Jugendreports 2010*. Marburg: Universität Marburg. Bezogen von https://www.wanderforschung.de/files/1011068-jugendreport2010-2aufl-p120_1607021617.pdf [09.07.2020].
- Brämer, R., Knoll, H. & Schild, H.-J. (2016). *Natur Nebensache? 7. Jugendreport Natur 2016. Erste Ergebnisse*. Köln: Universität Köln. Bezogen von https://www.wanderforschung.de/files/jugendreport2016-web-final-160914-v3_1903161842.pdf [09.07.2020].

- Brandl, H. (2013). Naturfarbstoffe II: Flavonoide. In W. Glöckner, W. Jansen & R. G. Weissenhorn (Hrsg.), *Handbuch der experimentellen Chemie Sekundarbereich II Band 11/I Biochemie I, Naturstoffe*. Köln: Aulis Deubner.
- Brandt, A. (2005). *Förderung von Motivation und Interesse durch außerschulische Experimentierlabors*. Göttingen: Cuvillier.
- Breakwell, G. M. & Beardsell, S. (1992). Gender, parental and peer influences upon science attitudes and activities. *Public Understanding of Science*, 1 (2), 183–197. doi: 10.1088/0963-6625/1/2/003.
- Brighouse, T. zitiert nach May, S., Richardson, P. & Banks, V. (1993). *Fieldwork in Action: Planning Fieldwork*. Sheffield: Geographical Society.
- Brockmüller, S., Schuler, C. Volz, D. & Siegmund, A. (2016). Outdoor Education an unterschiedlichen außerschulischen Lernorttypen. Klimawandel im Gelände, Labor, Experiment und Modell erfahrbar machen. In J. von Au & U. Gade (Hrsg.), *Raus aus dem Klassenzimmer. Outdoor Education als Unterrichtskonzept*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Bromann, K. & Parchmann, I. (2014). Students' application of chemical concepts when solving chemistry problems in different contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 15 (4), 516–529. doi: 10.1039/c4rp00051j.
- Brotman, J. S. & Moore, F. M. (2008). Girls and Science: A Review of Four Themes in the Science Education Literature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45 (9), 971–1002. doi: 10.1002/tea.20241.
- Brückmann, M. & Duit, R. (2014). Videobasierte Analyse unterrichtlicher Sachstrukturen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Brügger, A., Kaiser, F. G. & Roczen, N. (2011). One for all? Connectedness to Nature, Inclusion of Nature, Environmental Identity, and Implicit Association with Nature. *European Psychologist*, 16 (4), 324–333. doi: 10.1027/1016-9040/a000032.
- Bucher, A. (2009). Was Kinder glücklich macht? Eine glückspsychologische Studie des ZDF. In M. Schächter (Hrsg.), *Wunschlos glücklich? Konzepte und Rahmenbedingungen einer glücklichen Kindheit*. Baden-Baden: Nomos.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Hallbergmoos: Pearson.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. Hallbergmoos: Pearson.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2018). *Naturbewusstsein 2017. Bevölkerungsumfrage zu Na-*

- tur und biologischer Vielfalt*. Bezogen von: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/naturbewusstseinsstudie_2017_de_bf.pdf [09.07.2020].
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019). *Umweltbewusstsein in Deutschland 2018. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Bezogen von: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/umweltbewusstsein_2018_bf.pdf [09.07.2020].
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit & Umweltbundesamt (Hrsg.) (2020). *Zukunft? – Jugend fragen! Umwelt, Klima, Politik, Engagement – Was junge Menschen bewegt*. Bezogen von: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/zukunft_jugend_fragen_studie_bf.pdf [09.07.2020].
- Busker, M. (2010). Entwicklung einer adressatenorientierten Übungskonzeption im Übergang Schule - Universität auf Basis empirischer Analysen von Studieneingangsvoraussetzungen im Fach Chemie. In I. Parchmann, C. Höble, M. Komorek & K. Wloka (Hrsg.), *Studien zur Kontextorientierung im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Tönning, Lübeck, Marburg: Der Andere Verlag.
- Busker, M. (2014). Entwicklung eines Fragebogens zur Untersuchungen des Fachinteresses. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Cason, D. & Gillis, H. L. (1994). A meta-analysis of outdoor adventure programming with adolescents. *Journal of Experimental Education*, 17 (1), 40–47. doi: 10.1177/105382599401700109.
- Chawla, L. (1998). Significant life experiences revisited: A review of research on sources of environmental sensitivity. *The Journal of environmental education*, 29 (3), 11–21. doi: 10.1080/00958969809599114.
- Clay, M. D. & McLeod, E. J. (2012). Detection of Salicylic Acid in Willow Bark: An Addition to a Classic Series of Experiments in the Introductory Organic Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 89 (8), 1068–1070. doi: 10.1021/ed300070sl.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cooper, J. (2007). *Cognitive dissonance: 50 years of a classic theory*. London: Sage.
- Corral-Verdugo, V. (2002). A structural model of proenvironmental competency. *Environment and Behavior*, 34 (4), 531–549. doi: 10.1177/00116502034004008.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16 (3), 297–334. doi: 10.1007/BF02310555.

- Daniels, Z. (2008). *Entwicklung schulischer Interessen im Jugendalter. Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie*. Münster: Waxmann.
- De Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. *Instructional Science*, 38 (2), 105–134. doi: 10.1007/s11251-009-9110-0.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39 (2), 223–238.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2002). *The handbook of self-determination research*. Rochester: University of Rochester Press.
- Demuth, R. & Gradert, B. (1988). Schulabschluss und Bild der Chemie: Ergebnisse einer empirischen Untersuchung zum Bild der Chemie in der Öffentlichkeit. *Chemie für Labor und Betrieb*, 39 (12), 602–604.
- Demuth, R., Gräsel, C., Parchmann, I. & Ralle, B. (Hrsg.) (2008). *Chemie im Kontext. Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Dettweiler, U. Becker, C. Auestad, B. H., Simon, P. & Kirsch, P. (2017). Stress in School. Some Empirical Hints on the Circadian Cortisol Rhythm of Children in Outdoor and Indoor Classes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14 (5), 1–14. doi: 10.3390/ijerph14050475.
- Deuber, R. (2005). Alternative fotografische Verfahren. 1. Teil: Cyanotypie. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 54 (5), 7–12.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (2017). *Stoffliste zur DGUV Regel 113-018 „Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen“*. Berlin: DGUV.
- Di Fuccia, D. & Ralle, B. (2009). Schülerexperimente und Leistungsbeurteilung. *Zeitschrift für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht*, 62 (2), 72–79.
- Dickhäuser, O. (2006). Fähigkeitsselbstkonzepte: Entstehung, Auswirkung, Förderung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20 (1/2), 5–8. doi: 10.1024/1010-0652.20.12.5.
- Dickmann, M. (2016). Messung von Experimentierfähigkeiten. Validierungsstudien zur Qualität eines computerbasierten Testverfahrens. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Berlin: Logos.
- Dierks, P. O., Höffler, T. N. & Parchmann, I. (2014a). Profiling interest of students in science: learning in school and beyond. *Research in Science & Technological Education*, 32 (2), 97–114. doi: 10.1080/02635143.2014.895712.

- Dierks, P. O., Höffler, T. N. & Parchmann, I. (2014b). Interesse von Jugendlichen an Naturwissenschaften. Ist es wirklich so schlecht wie sein Ruf?. *Chemie konkret CHEMKON*, 21 (3), 111–116. doi: 10.1002/ckon.201410215.
- Dierks, P. O., Höffler, T. N., Blankenburg, J. S., Peters, H. & Parchmann, I. (2016). Interest in science: A RIASEC-based analysis of students' interests. *International Journal of Science Education*, 38 (2), 238–258. doi: 10.1080/09500693.2016.1138337.
- Dillon, J., Morris, M., O'Donnell, L., Reid, A., Rickinson, M. & Scott, W. (2005). *Engaging and Learning with the Outdoors – The Final Report of the Outdoor Classroom in a Rural Context Action Research Project*. Bezogen von <http://www.bath.ac.uk/cree/resources/OCR.pdf> [09.07.2020].
- Dillon, J., Rickinson, M., Teamey, K., Morris, M., Choi, M. Y., Sanders, D. & Benefield, P. (2006). The value of outdoor learning: evidence from research in the UK and elsewhere. *School Science Review*, 87 (320), 107–111.
- Dittmer, A., Menthe, J., Gebhard, U. & Höttecke, D. (2016). Ethisches Bewerten im naturwissenschaftlichen Unterricht. Theoretische Erweiterungen in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung über Bewertungskompetenz. In J. Menthe, D. Höttecke, T. Zabka, M. Hammann & M. Rothgangel (Hrsg.), *Befähigung zu gesellschaftlicher Teilhabe. Beiträge der fachdidaktischen Forschung*. Münster: Waxmann.
- Dohn, N. B. (2013). Upper secondary students' situational interest: a case study of the role of a zoo visit in a biology class. *International Journal of Science Education*, 35 (16), 2732–2751. doi: 10.1080/09500693.2011.628712.
- Donaldson, G. W. & Donaldson, L. E. (1958). Outdoor Education. a Definition. *Journal of Health, Physical Education, Recreation*, 29 (5), 17–63. doi: 10.1080/00221473.1958.10630353.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Driver, B. L. & Greene, P. (1977). Man's Nature: Innate Determinations of Response to Natural Environments. In Northeastern Forest Experiment Station (Eds.), *Children, Nature, and the Urban Environment: Proceedings of a Symposium-Fair*. Washington: U.S. Department of Agriculture.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham: Open University Press.
- Duranti, A. & Goodwin, C. (1992). *Rethinking context: language as an interactive phenomenon*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Eaton, D. (1998). *Cognitive and affective learning in outdoor education*. Ottawa: National Library of Canada.

- Eggert, S. & Bögeholz, S. (2006). Göttinger Modell der Bewertungskompetenz - Teilkompetenz "Bewerten, Entscheiden und Reflektieren" für Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12 (1), 177–197.
- Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2017). *Statistik und Forschungsmethoden*. Weinheim: Beltz.
- Engeln, K. (2004). Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Berlin: Logos.
- Engl, A. & Risch, B. (2014). CHEMIE PUR: Unterrichten im Freiland mit Naturstoffen – Eine interaktivexperimentelle Bodenrallye. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 144 (6), 34–37.
- Engl, A. & Risch, B. (2015). CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014*. Kiel: IPN.
- Engl, A. & Risch, B. (2016a). Natural Chemistry - Outdoors!. *Green Teacher*, 109 (1), 39–42.
- Engl, A. & Risch, B. (2016b). CHEMIE PUR: Farbenpracht im Freiland - Eine Lerneinheit zu Naturfarbstoffen. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 65 (8), 45–49.
- Engl, A. & Risch, B. (2017). CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: Ein Konzept zur Förderung des Interesses und Änderung der Einstellung im Bereich „Chemie und Natur“. In C. 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.
- Engl, A. & Risch, B. (2018). CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: Ein Konzept zur Änderung der Einstellung im Bereich „Chemie und Natur“. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017*. Regensburg: Universität Regensburg.
- Engl, A., Schmelzer, A. & Risch, B. (2018). CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur: Ätherischen Ölen auf der Spur. *Chemie konkret CHEMKON*, 25 (1), 7–15. doi: 10.1002/ckon.201810316.
- Engl, A. & Risch, B. (2019). Die Natur als Labor – Chemieunterricht im Freiland. *Nachrichten aus der Chemie*, 67 (3), 18–21. doi: 10.1002/nadc.20194083853.

- Fanta D., Bräutigam, J., Greiff, S. & Rieß, W. (2017). Entwicklung und Validierung eines Messinstrumentes zur Erfassung von systemischem Denken bei Lehramtsstudierenden in ökologischen Kontexten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23 (1), 241–259. doi: 10.1007/s40573-017-0067-2.
- Fechner, S. (2009). Effects of context-oriented learning on student interest and achievement in chemistry education. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Berlin: Logos.
- Feierabend, S., Plankenhorn, T. & Rathgeb, T. (2017). *KIM-Studie 2016. Kindheit, Internet, Medien. Basisstudie zum Medienumgang 6- bis 13-Jähriger in Deutschland*. Stuttgart: Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs). Bezogen von https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2016/KIM_2016_Web-PDF.pdf [09.07.2020].
- Feige, E.-M., Rutsch, J., Dörfler, T. & Rehm, M. (2017). Von der Alltagsvorstellung zum fachwissenschaftlichen Konzept. Schülervorstellungen diagnostizieren und weiterentwickeln. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 159 (3), 2–8.
- Fensham, P. J. (2009). Real World Contexts in PISA Science: Implications for Context-Based Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (8), 884–896. doi: 10.1002/tea.20334.
- Field, A., Miles, J. & Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R*. Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC: Sage.
- Fiennes, C., Oliver, E., Dickson, K., Escobar, D., Romans, A., Oliver, S. (2015). *The Existing Evidence-Base about the Effectiveness of Outdoor Learning*. Bezogen von <https://www.outdoor-learning.org/Portals/0/IOL%20Documents/Research/outdoor-learning-giving-evidence-revised-final-report-nov-2015-etc-v21.pdf?ver=2017-03-16-110244-937> [09.07.2020].
- Finkelstein, N. (2005). Learning Physics in Context: A study of student learning about electricity and magnetism. *International Journal of Science Education*, 27 (10), 1187–1209. doi: 10.1080/09500690500069491.
- Fischer, R. A. (2017). Chemie: Künstliche Natur oder natürliche Kunst?. In A.-D. Weitze, J. Schummer & T. Geelhaar (Hrsg.), *Zwischen Faszination und Verteufelung: Chemie in der Gesellschaft*. Berlin: Springer.
- Fishbein, M. (1967). A consideration of beliefs and their role in attitude measurement. In M. Fishbein (Eds.), *Readings in attitude theory and measurement*. New York: Wiley.
- Flint, A. (2014). Vom didaktischen Konzept zur Unterrichtseinheit. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Freyer, K. (2013). Zum Einfluss von Studieneingangsvoraussetzungen auf den Studienerfolg Erstsemesterstudierender im Fach Chemie. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Berlin: Logos.
- Fuhrer, U. (1995). Sozialpsychologisch fundierter Theorierahmen für eine Umweltbewußtseinsforschung. *Psychologische Rundschau*, 46 (2), 93–103.
- Gardner, P. L. (1975). Attitudes to Science. A Review. *Studies in Science Education*, 2 (1), 1–41. doi: 10.1080/03057267508559818.
- Gardner, P. L. (1998). The Development of Males' and Females' Interests in Science and Technology. In L. Hoffmann, A. Krapp, K. A. Renninger & J. Baumert (Eds.), *Interest and Learning Proceedings of the Seeon Conference on Interest and Gender*. Kiel: IPN.
- Gebhard, U. (2013). *Kind und Natur. Die Bedeutung der Natur für die psychologische Entwicklung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Geiser, C. (2011). *Datenanalyse mit Mplus. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Catrambone, R. (2004). Designing Instructional Examples to Reduce Intrinsic Cognitive Load: Molar versus Modular Presentation of Solution Procedures. *Instructional Science*, 32 (1-2), 33–58. doi: 10.1023/B:TRUC.0000021809.10236.71
- Germann, P. J. (1988). Development of the attitude toward science in school assessment and its use to investigate the relationship between science achievement and attitude toward science in school. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (8), 689–703. doi: 10.1002/tea.3660250807.
- Gerrig, R. J. & Zimbardo, P. G. (2015). *Psychologie*. Hallbergmoos: Pearson.
- Geyer, I. (2011). *Entwicklung und Erprobung von Experimentalkonzepten für den Chemieunterricht mit biologischem Bezug*. Leipzig: Universität Leipzig.
- Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28 (9), 957–976. doi: 10.1080/09500690600702470.
- Glöckner, W., Jansen, W. & Weissenhorn, R. G. (Hrsg.) (2013). *Handbuch der experimentellen Chemie Sekundarbereich II Band 11/I Biochemie I, Naturstoffe*. Köln: Aulis Deubner.
- Glowinski, I. (2007). *Schülerlabore im Themenbereich Molekularbiologie als Interesse fördernde Lernumgebungen*. Kiel: IPN.
- Gräber, W. (1992). Untersuchungen zum Schülerinteresse an Chemie und Chemieunterricht. *Chemie in der Schule*, 39 (7/8), 270–273.
- Gräber, W. (1992). Untersuchungen zum Schülerinteresse an Chemie und Chemieunterricht. *Chemie in der Schule*, 39 (7/8), 270–273.

- Gräber, W. (1995). Schülerinteressen und deren Berücksichtigung im STS-Unterricht: Ergebnisse einer empirischen Studie zum Chemieunterricht. *Empirische Pädagogik*, 9 (2), 221–238.
- Gräber, W. (1995). Schülerinteressen und deren Berücksichtigung im STS-Unterricht: Ergebnisse einer empirischen Studie zum Chemieunterricht. *Empirische Pädagogik. Zeitschrift zu Theorie und Praxis erziehungswissenschaftlicher Forschung*, 9 (2), 221–238.
- Gräber, W. (2011). German high school students' interest in chemistry – a comparison between 1990 and 2008. *Educación Química*, 22 (2), 134–140.
- Gräber, W. (2011). German High School Students' Interest in Chemistry – A Comparison between 1990 and 2008. *Educación Química*, 22 (2), 134–140. doi: 10.1016/S0187-893X(18)30125-3.
- Graf, E. (2002). Modelle im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 67 (1), 4–10.
- Graham, J. W. (2012). *Missing Data. Analysis and Design*. New York Heidelberg: Springer.
- Gräsel, C. (2000). *Ökologische Kompetenz: Analyse und Förderung*. München: Unveröffentlichte Habilitation, Ludwig-Maximilians-Universität.
- Gräsel, C. (2018). Umweltbildung. In R. Tippelt & B. Schmidt-Hertha (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Gräsel, C., Bormann, I., Schütte, K., Trempler, K., Fischbach, R. & Asseburg, R. (2012). Perspektiven der Forschung im Bereich Bildung für nachhaltige Entwicklung. In M. Adomßent, R. Asseburg, I. Bormann, S. Burandt, R. Fischbach, A. Gönnewein, C. Gräsel, G. de Haan, N. Kolleck, G. Michelsen, R. Nickolaus, C. Petsch, H. Rode, J. Schellenbach-Zell, K. Schütte & K. Trempler (Hrsg.), *Bildung für nachhaltige Entwicklung – Beiträge der Bildungsforschung*. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Gröger, M. & Sieve, B. (Hrsg.) (2014). Chemie und Natur. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 144 (6).
- Gröger, M., Krischer, D. & Spitzer, P. (2014). Chemieunterricht? Draußen!. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 144 (6), 2–7.
- Gropengießer, H. & Marohn, A. (2018) Schülervorstellungen und Conceptual Change. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-56320-5.

- Guderian, P. (2007). *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte - Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik*. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin. doi: 10.18452/15610.
- Guéguen, N. & Stefan, J. (2016). "Green Altruism" Short Immersion in Natural Green Environments and Helping Behavior. *Environment and Behavior*, 48 (2), 324–342. doi: 10.1177/0013916514536576.
- Habig, S., Blankenburg, J., van Vorst, H., Fechner, S., Parchmann, I. & Sumfleth, E. (2018). Context characteristics and their effects on students' situational interest in chemistry. *International Journal of Science Education*, 40 (10), 1154–1175. doi: 10.1080/09500693.2018.1470349.
- Habig, S., van Vorst, H. & Sumfleth, E. (2018). Merkmale kontextualisierter Lernaufgaben und ihre Wirkung auf das situationale Interesse und die Lernleistung von Schülerinnen und Schülern. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24 (1), 99–114. doi: 10.1007/s40573-018-0077-8.
- Hamman, M. & Jördens, J. C. (2014). Offene Aufgaben codieren. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hammerman, W. M. (1964). The Outdoor Laboratory. *Improving College and University Teaching*, 12 (1), 44–45.
- Hartig, J., Frey, A. & Jude, N. (2012). Validität. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hattie, J. (2018). *Lernen sichtbar machen. Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von Visible Learning*. Baltmannsweiler: Schneider.
- Hattie, J. A., Marsh, H. W., Neill, J. T. & Richards, G. E. (1997). Adventure education and outward bound: Out-of-class experiences that make a lasting difference. *Review of Educational Research*, 67 (1), 43–87. doi: 10.3102/00346543067001043.
- Hauff, M. (Hrsg.) (1987) *Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*. Greven: Eggenkamp.
- Heidenreich, M. & Sommer, K. (2003). Auf dem experimentellen Weg zum Salicylalcohol – Zwischen Fachsystematik und Fachmethoden. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 52 (6), 32–38.
- Heilbronner, E. & Wyss, E. (1983). Bild einer Wissenschaft: Chemie. *Chemie in unserer Zeit*, 17 (3), 69–76. doi: 10.1002/ciuz.19830170302.
- Heimlich, J. E. & Ardoin, N. M. (2008). Understanding behavior to understand behavior change: A literature review. *Environmental education research*, 14 (3), 215–237. doi: 10.1080/13504620802148881.

- Hidi, S. & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41 (2), 111–127. doi: 10.1207/s15326985ep4102_4.
- Hidi, S., Renninger, K. A. & Krapp, A. (2004). Interest, a motivational construct that combines affective and cognitive functioning. In D. Dai & R. Sternberg (Eds.), *Motivation, emotion and cognition: Integrative perspectives on intellectual functioning and development*. Mahwah: Erlbaum.
- Hinds, J. & Sparks, P. (2008). Engaging with the natural environment: The role of affective connection and identity. *Journal of environmental psychology*, 28 (2), 109–120. doi: 10.1016/j.jenvp.2007.11.001.
- Hock, K. (2015). Geocaching mit Chemie am Campus. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014*. Kiel: IPN.
- Höffler, T. N., Lüthjohann, F. & Parchmann, I. (2014). Welche Wirkungen erzielt ein naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht?. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20 (1), 87–99. doi: 10.1007/s40573-014-0009-1.
- Hoffmann, L. Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessensstudie Physik*. Kiel: IPN.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Peters-Haft, S. (1997). *An den Interessen von Mädchen und Jungen orientierter Physikunterricht*. Kiel: IPN.
- Höft, L. Bernholt, S. Blankenburg, J. S. & Winberg, M. (2019). Knowing more about things you care less about: Cross-sectional analysis of the opposing trend and interplay between conceptual understanding and interest in secondary school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 56 (2), 184–210. doi: 10.1002/tea.21475.
- Holland, J. L. (1997). *Making vocational choices: a theory of vocational personalities and work environments*. Odessa: Psychological Assessment Resources.
- Holstermann, N. & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13 (1), 71–86.
- Hoppe, A., Chokrai, P. & Fritsche, I. (2019). *Eine Reanalyse der Naturbewusstseinsstudien 2009 bis 2015 mit Fokus auf dem Gesellschaftsindikator biologische Vielfalt und den Leititems zum Naturbewusstsein*. Bonn: Bundesamt für Naturschutz.
- Hox, J. J., Maas, C. J. M. & Brinkhuis, M. J. S. (2010). The effect of estimation method and sample size in multilevel structural equation modeling. *Statistica Neerlandica*, 64 (2), 157–170. doi: 10.1111/j.1467-9574.2009.00445.x.

- Imhof, A. (2016). *Outdoorlernen. Wirksamkeitsvergleich von Umweltunterricht innerhalb und ausserhalb des Schulzimmers am Beispiel des Themenkomplexes Klimawandel*. Zürich: ETH Library.
- Institut für Jugendforschung (2004). *Meinungen und Einstellungen von Schülern zum Thema Chemie*. München: IJF.
- Ives, C. D., Giusti, M., Fischer, J., Abson, D. J., Klanięcki, K., Dorninger, C., Laudan, J., Barthel, S., Abernethy, P., Martín-López, B., Raymond, C. M., Kendal, D. & von Wehrden, H. (2017). Human–nature connection: a multidisciplinary review. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26-27 (3), 106–113. doi: 10.1016/j.cosust.2017.05.005.
- Jahnel, C., Jung, P. & Risch, B. (2014). Sonne(n)mit Verstand – Modellexperimente zum Thema „UV-Strahlung und Sonnenschutzmittel“. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 144 (6), 28–33.
- Jäkel, L. (2016). Garten und Schulumfeld als Lerngelände und Handlungsraum. Innovative Lernorte außerhalb des Schulgebäudes. In J. von Au & U. Gade (Hrsg.), *Raus aus dem Klassenzimmer. Outdoor Education als Unterrichtskonzept*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Janiak, C. & Janiak, D. (1990). Chemie, Demokratie und eine angemessene Antwort auf die Umweltprobleme. *Nachrichten aus Chemie, Technik und Laboratorium*, 38 (7/8), 836–842.
- Janich, P. & Rüchardt, C. (Hrsg.) (1996). *Natürlich, technisch, chemisch: Verhältnisse zur Natur am Beispiel der Chemie*. Berlin: Gruyter.
- Jank, W. & Meyer, H. (2014). *Didaktische Modelle*. Berlin: Cornelsen.
- Jensen, B. B. & Schnack, K. (1997). The action competence approach in environmental education. *Environmental Education Research*, 12 (3), 163–178. doi: 10.1080/1350462970030205.
- Jones, M. G. & Carter, G. (2010). Science teacher attitudes and beliefs. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*. New York: Routledge.
- Jones, M. G. & Leagon, M. (2014). Science teacher attitudes and beliefs. Performing Practice. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education Volume II*. New York: Routledge.
- Jonkisz, E., Moosbrugger, H. & Brandt, H. (2012). Planung und Entwicklung von Tests und Fragebogen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Jordet, A. N. (1998). *Nærmiljøet som klasserom. Uteskole i teori og praksis*. Oslo: Cappelen Akademisk.
- Jordet, A. N. (2009). What is Outdoor Learning? In Outlines Socrates programme 2006-2009 (Eds.), *Outdoor Learning in Elementary Schools. From Grassroot to Curriculum in Teacher Education*. Aarhus: VIA University College.
- Jungkamp, F. & Marohn, A. (2016). Choice²reflect. Befähigung zu wissenschaftlicher Reflexion am Beispiel Homöopathie. In J. Menthe, D. Höttecke, T. Zabka, M. Hammann & M. Rothgangel (Hrsg.), *Befähigung zu gesellschaftlicher Teilhabe. Beiträge der fachdidaktischen Forschung*. Münster: Waxmann.
- Kaiser, F. G. & Fuhrer, U. (2003). Ecological behavior's dependency on different forms of knowledge. *Applied Psychology*, 52 (4), 598–613. doi: 10.1111/1464-0597.00153.
- Kaiser, F. G. & Wilson, M. (2004). Goal-directed conservation behavior: The specific composition of a general performance. *Personality and Individual Differences*, 36 (7), 1531–1544. doi: 10.1016/j.paid.2003.06.003.
- Kaiser, F. G., Oerke, B. & Bogner, F. X. (2007). Behavior-based environmental attitude: Development of an instrument for adolescents. *Journal of Environmental Psychology*, 27 (3), 242–251. doi: 10.1016/j.jenvp.2007.06.004.
- Kaiser, F. G., Roczen, N. & Bogner, F. X. (2008). Competence formation in environmental education: Advancing ecology-specific rather than general abilities. *Umweltpsychologie*, 12 (2), 56–70.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Sweller, J. (1999). Managing Split-attention and Redundancy in Multimedia Instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13 (4), 351–371. doi: 10.1002/(SICI)1099-0720(199908)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6.
- Kane, M. T. (2001). Current Concerns in Validity Theory. *Journal of Educational Measurement*, 38 (4), 319–342.
- Kaplan, R. & Kaplan, S. (1989). *The Experience of Nature: A Psychological Perspective*. Cambridge: University Press.
- Kaplan, S. (1995). The Restorative Benefits of Nature: Toward an Integrative Framework. *Journal of Environmental Psychology*, 15 (3), 169–182. doi: 10.1016/0272-4944(95)90001-2.
- Karger, C. R. (1996) Natürlichkeit und Chemie – ein Gegensatz in der öffentlichen Wahrnehmung?. In P. Janich, C. Rüdhardt, (Hrsg.), *Natürlich, technisch, chemisch: Verhältnisse zur Natur am Beispiel der Chemie*. Berlin: Gruyter.
- Karpa, D., Lübbecke, D. & Adam, B. (2015). Außerschulische Lernorte – Theoretische Grundlagen und praktische Beispiele. *Schulpädagogik heute*, 6 (11), 1–13.
- Kaufmann, H. (2000). Chemieunterricht und das Problem der antagonistischen Sicht von „Natur“ und „Chemie“. In A. Gramm, N. Just, K. Möller, M. Soostmeyer, J.

- Schlichting & E. Sumfleth (Hrsg.), *Naturwissenschaften und Technik – Didaktik im Gespräch*. Münster, Hamburg, London: Lit.
- Kelava, A. & Moosbrugger, H. (2012). Deskriptivstatistische Evaluation von Items (Itemanalyse) und Testwertverteilungen. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kelava, A. & Schermelleh-Engel, K. (2012). Latent-State-Trait-Theorie (LST-Theorie). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Keller, F., Colberg, C. & Imhof, A. (2015). Klimabildung in der freien Natur oder im Schulzimmer?. *Schulpädagogik heute*, 6 (11), 1–12.
- Kennedy, J. (2013). *Ingredients of an All-Natural Banana*. Bezogen von <https://james-kennedymonash.wordpress.com/2013/12/12/ingredients-of-an-all-natural-banana/> [09.07.2020].
- Kessels, U. Rau, M. & Hannover, B. (2006). What goes well with physics? Measuring and altering the image of science. *British Journal of Educational Psychology*, 76 (4), 761–780. doi: 10.1348/000709905X59961.
- Kisser, T., Naumann, S. & Siegmund, A. (2016). Vom Geocaching zum Educaching. Potenzial und Nutzen von digitalen Geomedien im Rahmen von Outdoor Education. In J. von Au & U. Gade (Hrsg.), *Raus aus dem Klassenzimmer. Outdoor Education als Unterrichtskonzept*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Klafki, W. (1996). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik, Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. Weinheim: Beltz.
- Klassen, S. (2006). A Theoretical Framework for Contextual Science Teaching. *Interchange*, 37 (1-2), 31–62. doi: 10.1007/s10780-006-8399-8.
- Kleindienst-John, I. (2012). *Hydrolate. Sanfte Heilkräfte aus Pflanzenwasser*. Linz: Freya.
- Klopfer, L. E. (1971). Evaluation of Learning in Science. In B. S. Bloom, J. T. Hastings & G. F. Madaus (Eds.), *Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. London: McGraw-Hill.
- Knauer, R. & Brandt, P. (1995). *Ich schütze nur, was ich liebe*. Freiburg: Herder.
- Koenen, J. (2014). Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Berlin: Logos.
- Kölbach, E. & Sumfleth, E. (2013). Analyse von Kontexteffekten beim Lernen mit Lösungsbeispielen im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19 (1), 159–188.

- Köller, O., Daniels, Z., Schnabel, K. U. & Baumert, J. (2000). Kurswahlen von Mädchen und Jungen im Fach Mathematik: Zur Rolle von fachspezifischem Selbstkonzept und Interesse. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14 (1), 26–37. doi: 10.1024//1010-0652.14.1.26.
- Köller, O., Trautwein, U., Lüdtke, O. & Baumert, J. (2006). Zum Zusammenspiel von schulischer Leistung, Selbstkonzept und Interesse in der gymnasialen Oberstufe. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 20 (1/2), 27–39. doi: 1010-0652.20.12.27.
- Konrad, K. (2010). Lautes Denken. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden: VS Verlag Springer Fachmedien.
- Kortland, K. (2005). Physics in personal, social and scientific contexts. A retrospective view on the Dutch Physics Curriculum Development Project PLON. In P. Nentwig & D. Waddington (Eds.), *Making it relevant. Context based learning of science*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Krapp, A. & Prenzel, M. (2011). Research on Interest in Science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education*, 33 (1), 27–50. doi: 10.1080/09500693.2010.518645.
- Krapp, A. & Ryan, R. M. (2002). Selbstwirksamkeit und Lernmotivation. Eine kritische Betrachtung der Theorie von Bandura aus der Sicht der Selbstbestimmungstheorie und der pädagogisch-psychologischen Interessentheorie. In M. Jerusalem & D. Hopf (Hrsg.), *Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen*. Weinheim: Beltz.
- Krapp, A. (1992). Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 38 (5), 747–770.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 44 (3), 185–201.
- Krapp, A. (2002a). Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12 (4), 383–409. doi: 10.1016/S0959-4752(01)00011-1.
- Krapp, A. (2002b). An educational-psychological theory of interest and its relation to self-determination theory. In E. L. Deci & R. M. Ryan (Eds.), *The handbook of self-determination research*. Rochester: University of Rochester.
- Krapp, A. (2005). Basic needs and the development of interest and intrinsic motivational orientations. *Learning and Instruction*, 15 (5), 381–395. doi: 10.1016/j.learninstruc.2005.07.007.
- Krapp, A. (2006). Lebens- und Lerninteressen Erwachsener. *Hessische Blätter für Volksbildung*, 56 (4), 307–316.

- Kremer, K. & Sieve, B. (2018). Chemie in biologischen Kontexten. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 165 (3).
- Krischer, D. (2015). „...natürlich Chemie!“ *Chemieunterricht in naturnaher Umgebung und naturbezogenen Kontexten. Ein Unterrichtskonzept für die Sekundarstufen I und II*. Siegen: Universität Siegen.
- Krischer, D., Spitzer, P. & Gröger, M. (2016). „Chemistry is Toxic, Nature is Idyllic“ – Investigation of Pupils' Attitudes. *The Journal of Health, Environment & Education*, 8 (1), 7–13. doi: 10.18455/08002.
- Krüger, D. & Riemeier, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kuhn, J. & Müller, A. (2014). Context-based science education by newspaper story problems: A study on motivation and learning effects. *Perspectives in Science*, 2 (1-4), 5–21. doi 10.1016/j.pisc.2014.06.001.
- Kulgemeyer, C. & Starauschek, E. (2014). Analyse der Verständlichkeit naturwissenschaftlicher Fachtexte. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kultusministerkonferenz (2004). *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004)*. Bezogen von https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Chemie.pdf [09.07.2020].
- Langhals, H. & Fuchs, K. (2004). Chemie am Stand. Sonnenstrahlung, Hautreaktionen und Sonnenschutz. *Chemie in unserer Zeit*, 38 (2), 98–112. doi: 10.1002/ciuz.2-00400293.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P. & von Rhöneck, C. (2000). Eine Untersuchung zum Einfluss emotionaler Faktoren auf das Lernen im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6 (1), 139–155.
- Lawrence, G. D. & Fishelson, S. (1999). UV Catalysis, Cyanotype Photography, and Sunscreens. *Journal of Chemical Education*, 76 (9), 1199–1200. doi: 10.1021/ed07-6p1199.
- Lehmann-Riekert, A. (1999). Chemie und Öffentlichkeit – der (leicht) gestörte Frieden. *Nachrichten aus Chemie, Technik und Laboratorium*, 47 (7), 797–800.
- Lemke, R. (1998). Catechine und Catechingerbstoffe. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 47 (5), 39–41.
- Lenhard, W. & Lenhard, A. (2017). *Berechnung des Lesbarkeitsindex LIX nach Björnson*. Bibergau: Psychometrica. doi: 10.13140/RG.2.1.1512.3447.

- Leppink, J., Pass, F., Van der Vleuten, V. P. M., Van Gog, T. & Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, 45 (4), 1058–1072. doi: 10.3758/s13428-013-0334-1.
- Leske, S. & Bögeholz, S. (2008). Biologische Vielfalt regional und weltweit erhalten – Zur Bedeutung von Naturerfahrung, Interesse an Natur, Bewusstsein über deren Gefährdung und Verantwortung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14 (1), 167–184.
- Liefländer, A. K. & Bogner, F. X. (2014). The effects of children's age and sex on acquiring pro-environmental attitudes through environmental education. *The Journal of Environmental Education*, 45 (2), 105–117. doi: 10.1080/00958964.2013.875511.
- Liefländer, A. K. (2012). *Effektivität von Umweltbildung zum Thema Wasser – Empirische Studie zu Naturverbundenheit, Umwelteinstellungen und Umweltwissen*. Bayreuth: Universität Bayreuth.
- Liefländer, A. K., Bogner, F. X., Kibbe, A. & Kaiser, F. G. (2015): Evaluating Environmental Knowledge Dimension Convergence to Assess Educational Programme Effectiveness. *International Journal of Science Education*, 37 (4), 684–702. doi: 10.1080/09500693.2015.1010628.
- Liefländer, A. K., Fröhlich, G., Bogner, F. X. & Schultz, P. W. (2013). Promoting connectedness with nature through environmental education. *Environmental Education Research*, 19 (3), 370–384. doi: 10.1080/13504622.2012.697545.
- Lienert, G. A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Lin, J.-W., Yen, M.-H., Liang, J.-C., Chiu, M.-H. & Guo, C.-J. (2016). Examining the Factors That Influence Students' Science Learning Processes and Their Learning Outcomes: 30 Years of Conceptual Change Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12 (9), 2617–2646. doi: 10.12973/eurasia.2016.000600a.
- Lindau, A.K., Thürkow, D., Jäger, K., Dette, C., Lindner, M. (2016): Entwicklung einer Methodendatenbank für die naturwissenschaftliche Aus- und Weiterbildung im Bereich Outdoor Education. In K. H. Otto (Hrsg.), *Geographie und naturwissenschaftliche Bildung – Der Beitrag des Faches für Schule, Lernlabor und Hochschule. Dokumentation des 21. HGD-Symposiums im März 2015 in Bochum*. Münster: Geografiedidaktische Forschungen.
- Lindner, M. (2014). Digitale Medien in der Outdoor-Education. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

- Little, T. D., Cunningham, W. A., Shahar, G. & Widaman, K. F. (2002). To Parcel or Not to Parcel: Exploring the Question, Weighing the Merits. *Structural Equation Modeling*, 9 (2), 151–173. doi: 10.1207/S15328007SEM0902_1.
- Louv, R. (2008). *Last Child in the Woods: Saving Our Children From Nature Deficit Disorder*. Chapel Hill: Algonquin Books.
- Lude, A. (2001). *Naturerfahrung & Naturschutzbewusstsein: Eine empirische Studie*. Innsbruck: Studien-Verlag.
- Lude, A. (2006). Natur erfahren und für die Umwelt handeln – zur Wirkung von Umweltbildung. In Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.), *Stand und Entwicklung der Gewässerpädagogik*. Schneverdingen: NNA.
- Luhmann, M. (2015). *R für Einsteiger Einführung in die Statistiksoftware für die Sozialwissenschaften*. Weinheim: Beltz.
- Lunetta, V. N., Hofstein, A. & Clough, M. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education*. Abingdon: Taylor & Francis.
- Lyons, T. (2006). Different Countries, Same Science Classes: Students' experience of school science classes in their own words. *International Journal of Science Education*, 28 (6), 591–613. doi: 10.1080/09500690500339621.
- Maio, G. R., Haddock, G. & Verplanken, B. (2018). *The psychology of attitudes and attitude change*. London: Sage.
- Malle, B., Schmickl, H. (2014). *Ätherische Öle selbst herstellen*. Göttingen: Die Werkstatt.
- Maloney, M. P. & Ward, M. P. (1973). Ecology: Let's Hear From the People: An Objective Scale for the Measurement of Ecological Attitudes and Knowledge. *American Psychologist*, 28 (7), 583–586. doi: 10.1037/h0034936.
- Mannion, G., Fenwick, A. & Lynch, J. (2013). Place-responsive pedagogy: learning from teachers' experiences of excursions in nature. *Environmental Education Research*, 19 (6), 792–809. doi: 10.1080/13504622.2012.749980.
- Manstead, A. S. R. (1994). Attitudes. In M. W. Eysenck (Eds.), *The Blackwell Dictionary of Cognitive Psychology*. Cambridge: Blackwell Basil.
- Markic, S. & Eilks, I. (2006). Cooperative and context-based learning on electrochemical cells in lower secondary science lessons – A project of Participatory Action Research. *Science Education International*, 17 (4), 253–273.
- Martens, J. & Obenland, W. (2017). *Die Agenda 2030. Globale Zukunftsziele für nachhaltige Entwicklung*. Bezogen von: https://neu.globalpolicy.org/sites/default/files/Agenda_2030_online.pdf [09.07.2020].

- Mayer, F. S. & Frantz, C. M. (2004). The connectedness to nature scale: A measure of individuals' feeling in community with nature. *Journal of environmental psychology*, 24 (4), 503–515. doi: 10.1016/j.jenvp.2004.10.001.
- Mayring, A. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.
- Mayring, A. (2016). *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. Weinheim: Beltz.
- Meadows, D., Meadows, D. H., Zahn, E. & Milling, P. (1972). *Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Stuttgart: DVA.
- Melle, I., Parchmann, I. & Sumfleth, E. (2004a). Kerncurriculum Chemie. *Zeitschrift für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht*, 57 (3), 160–166.
- Melle, I., Parchmann, I. & Sumfleth, E. (2004b). Kerncurriculum Chemie. In H. E. Tenorth (Hrsg.), *Kerncurriculum Oberstufe, Physik-Chemie-Biologie-Politik-Gemeinschaftskunde-Geschichte*. Weinheim: Beltz.
- Menthe, J. (2006). *Urteilen im Chemieunterricht: Eine empirische Untersuchung über den Einfluss des Chemieunterrichts auf das Urteilen von Lernenden in Alltagsfragen*. Os-nabrück: Der Andere Verlag.
- Merton, R. K. (1968). The Matthew Effect in Science. The reward and communication systems of science are considered. *Science*, 159 (3810), 56–63. doi: 10.1126/science.159.3810.56.
- Merton, R. K. (1973). *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical investigations*. Chicago: University of Chicago.
- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter?*. Baltmannsweiler: Schneider.
- Messick, S. (1995). Validity of Psychological Assessment. Validation of Inferences From Person's Responses and Performance as Scientific Inquiry Score Meaning. *American Psychologist*, 50 (9), 741–749.
- Messmer, K., von Niederhäusern, R., Rempfler, A., Wilhelm, M. (Hrsg.) (2011). *Ausser-schulische Lernorte - Positionen aus Geographie, Geschichte und Naturwissenschaften*. Münster: Lit.
- Meyer, K. (2002). Farbenfrohe Antioxidantien. Carotinoide – Bedeutung und technische Synthesen. *Chemie in Unserer Zeit*, 36 (3), 178–193. doi: 10.1002/1521-3781(200206)36:3<178::AID-CIUZ178>3.0.CO;2-#.
- Miller, D. I., Nolla, K. M., Eagly, A. H. & Uttal, D. H. (2018). The Development of Children's Gender-Science Stereotypes: A Meta-analysis of 5 Decades of U.S. Draw-A-Scientist Studies. *Child Development*, 89 (6), 1943–1955. doi: 10.1111/cdev.13039.
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung Rheinland-Pfalz (1998). *Lehrplan Chemie Sekundarstufe II*. Bezogen von <https://lehrplaene.bildung->

- rp.de/no-cache.html?tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Bcontroller%5D=Download&tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Baction%5D=forceDownload&tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Bfileid%5D=DoslLqCkRgeDNoCAz%2FDoKQ%3D%3D [09.07.2020].
- Minssen, M. (1994). Destillation im Freien. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 22 (2), 32–33.
- Mitchell, M. (1993). Situational interest: its multifaceted structure in the secondary school mathematics classroom. *Journal of Educational Psychology*, 85 (3), 424–436.
- Molisch, H. & Dobat, K. (1979). *Botanische Versuche und Beobachtungen mit einfachen Mitteln*. Stuttgart: Gustav Fischer.
- Möller, K. (2005). *Destillatio. Destillen & Destillieren*. Norderstedt: Books on Demand.
- Moosbrugger, H. & Schermelleh-Engel, K. (2012). Exploratorische (EFA) und Konfirmatorische Faktorenanalyse (CFA). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Müller-Harbich, G., Wenck, H. & Bader, H.-J. (1990a). Die Einstellung von Realschülern zum Chemieunterricht, zu Umweltproblemen und zur Chemie. Teil II: Ergebnisse einer empirischen Untersuchung an einer Stichprobe von 2200 Realschülern in Nordrhein-Westfalen. *Chimica didactica Zeitschrift für Didaktik der Chemie*, 16 (4), 233–253.
- Müller-Harbich, G., Wenck, H. & Bader, H.-J. (1990b). Die Einstellung von Realschülern zum Chemieunterricht, zu Umweltproblemen und zur Chemie. Teil I: Entwicklung eines Tests zur Erfassung der Einstellung von Schülern zum Chemieunterricht, zu Umweltproblemen und zur Chemie. *Chimica didactica Zeitschrift für Didaktik der Chemie*, 16 (2/3), 150–169.
- Münchmeier, R. (1997). Die Lebenslage junger Menschen. In Jugendwerk der Deutschen Shell (Hrsg.), *Jugend '97. Zukunftsperspektiven, Gesellschaftliches Engagement, Politische Orientierung*. Opladen: Leske & Budrich.
- Münzinger, W. (1994). Duftstoffe in der Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 22 (2), 19–27.
- Nentwig, P. & Waddington, D. (Eds.) (2005). *Making it relevant. Context based learning of science*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Niebert, K. & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Nussbeck, F. W., Eid, M., Geiser, C., Courvoisier, D. S. & Cole, D. A. (2012). Konvergente und diskriminante Validität über die Zeit: Integration von Multitrait-Multimethod-

- Modellen und der Latent-State-Trait-Theorie. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Obendrauf, V. (2005). Nicht nur Noten sind in Nöten. Die fatale Chemie der Eisengallus-Tinten. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 54 (5), 22–24.
- Oberski, D. (2014). lavaan.survey: An R Package für Complex Survey Analysis of Structural Equation Models. *Journal of Statistical Software*, 57 (1), 1–27. doi: 10.18637/jss.v057.i01.
- Oerke, B. (2007). *Natur- und Umweltschutzbewusstsein: Dimensionalität und Validität beim Messen von Einstellungen und Verhalten*. Bayreuth: Universität Bayreuth.
- Ogura, Y. (2006). *Graph of Student Attitude v Student Attainment. Based on data from: Martin, M. O. et al. (2000). TIMSS 1999 International Science Report: Findings from IEA's Repeat of the Third International Mathematics and Science Study at the eighth grade. Chestnut Hill, MA: Boston College. Tokyo: National Institute for Educational Research.*
- Olsson, D. & Gericke, N. (2016). The adolescent dip in students' sustainability consciousness - Implications for education for sustainable development. *The Journal of Environmental Education*, 47 (1), 35–51. doi: 10.1080/00958964.2015.1075464.
- Osborne, J. F. & Collins, S. (2001). Pupils' views of the role and value of the science curriculum: A focus-group study. *International Journal of Science Education*, 23 (5), 441–468. doi: 10.1080/09500690010006518.
- Osborne, J., Simon, S. & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25 (9), 1049–1079. doi: 10.1080/0950069032000032199.
- Osgood, C. E., Suci, G. J. & Tannenbaum, P. H. (1978). *The Measurement of Meaning*. Urbana: University of Illinois.
- Österreicher, H. & Prokop, E. (2006). *Kinder wollen draußen sein. Natur entdecken, erleben und erforschen*. Seelze: Kallmeyer.
- Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: a cognitive load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84 (4), 429–434. doi: 10.1037/0022-0663.84.4.429.
- Parchmann, I. & Kuhn, J. (2018). Lernen im Kontext. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-56320-5.
- Parchmann, I. & Menthe, J. (2006). Von Anfang an. Nachhaltigkeit durch Chemieunterricht. In M. Angrick, K. Kümmerer & L. Meinzer (Hrsg.), *Nachhaltige Chemie. Erfahrungen und Perspektiven*. Marburg: Metropolis.

- Parchmann, I., Ralle, B. & Di Fuccia, D. S. (2008). Entwicklung und Struktur der Unterrichtskonzeption Chemie im Kontext. In R. Demuth, C. Gräsel, I. Parchmann & B. Ralle (Hrsg.), *Chemie im Kontext. Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Pasch N. & Möller A. (2015). Be(e) educated: Der Einfluss einer Unterrichtsintervention zur Honigbiene auf Facetten einer naturschützender Bereitschaft, Umweltkompetenz und Umwelteinstellung von Schülerinnen und Schülern. In D. Krüger, P. Schmiemann, A. Möller, A. Dittmer & L. Kotzebue (Hrsg.), *Erkenntnisweg Biologie-didaktik 14*. Kassel: Universitätsdruckerei.
- Pawek, C. (2009). *Schülerlabore als interesselördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe*. Kiel: Universitätsbibliothek.
- Pfannekuche, A. (2000). *Einsatzmöglichkeiten der Mikrodestillation zur Gewinnung und Fraktionierung kleiner Mengen ätherischer Öle*. Hamburg: Universitätsbibliothek.
- Pfeifer, P. Lutz, B. & Bader, H.-J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. München: Oldenbourg.
- Pickel, H. H. & Lutz, B. (1993) Bitterer Kern in süßer Schale – Warum keimen Steinobstsamen im Boden nicht sofort aus? *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 42 (6), 30–35.
- Pietsch, S. & Barke, H.-D. (2014). Wie Jugendliche die Chemie sehen: "Male dein Bild zur Chemie". *Chemie in unserer Zeit*, 48 (4), 312–316. doi: 10.1002/ciuz.201400675.
- Podschuweit, S. & Bernholt, S. (2018). Composition-Effects of Context-based Learning Opportunities on Students' Understanding of Energy. *Research in Science Education*, 48 (4), 717–752- doi: 10.1007/s11165-016-9585-z.
- Pohl, D. (2003). *Naturerfahrungen und Naturzugänge von Kindern*. Ludwigsburg: Pädagogische Hochschule Ludwigsburg.
- Potter, J. & Wetherell, M. (1987). *Discourse and Social Psychology: Beyond Attitudes and Behaviour*. London: Sage Publications.
- Potvin, P. & Hasni, A. (2014). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: a systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science education*, 50 (1), 85–129. doi: 10.1080/03057267.2014. 881626.
- Prediger, S., Link, M., Hinz, R., Hußmann, S., Thiele, J. & Ralle, B. (2012). Lehr-Lernprozesse initiieren und erforschen – Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. *Zeitschrift für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht*, 65 (8), 452–457.
- Pufé, I. (2017). *Nachhaltigkeit*. Konstanz: UVK.

- Punkt, K. (2000). Ginkgo biloba – vom Mythos zur Wissenschaft. *Naturwissenschaftliche Rundschau*, 53 (9), 441–446.
- Quartier, U., Kampmeier, M. & Bardi, C. (2013). *Weltsprache Natur. Die Naturwerkstatt der Laborschule Bielefeld*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Quint, R. (1990). *Raumerleben und Raumutopie. Ökologische Überlegungen zu den Entwürfen schulischer Wunschräume*. Frankfurt: Peter Lang.
- Rathgeb, T. & Behrens, P. (2018). *JIM-Studie 2018. Jugend, Information, Medien. Basisstudie zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger*. Stuttgart: Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs). Bezogen von https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2018/Studie/JIM2018_Gesamt.pdf [09.07.2020].
- Reich, K. (2012). *Konstruktivistische Didaktik. Das Lehr- und Studienbuch mit Online-Methodenpool*. Weinheim: Beltz.
- Reiners, C. S. & Saborowski, J. (2017). Auf dem Weg zum Chemieunterricht. In C. S. Reiners (Hrsg.), *Chemie vermitteln. Fachdidaktische Grundlagen in Implikationen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Reinmann, G. & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz.
- Renn, O., Hiller, S. & Scheel, O. (2017). *MINT Nachwuchsbarometer 2017. Fokusthema: Bildung in der digitalen Transformation*. Bezogen von https://www.koerber-stiftung.de/fileadmin/user_upload/koerber-stiftung/redaktion/mint_nachwuchsbarometer/pdf/2017/MINT-Nachwuchsbarometer-Langfassung.pdf [09.07.2020].
- Renninger, K. A. & Hidi, S. (2011). Revisiting the conceptualization, measurement, and generation of interest. *Educational Psychologist*, 46 (3), 168–184.
- Restall, B. & Conrad, E. (2015). A literature review of connectedness to nature and its potential for environmental management. *Journal of Environmental Management*, 159 (13), 264–278. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.05.022.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47 (2), 57–66. doi: 10.1026//0012-1924.47.2.57.
- Rickinson, M., Dillon, J., Teamey, K., Morris, M., Choi, M., Sanders, D., Benefield, P. (2004). *A Review of Research on Outdoor Learning*. Bezogen von <https://www.informalscience.org/sites/default/files/Review%20of%20research%20on%20outdoor%20learning.pdf> [09.07.2020].
- Rieckmann, M. (2016). Kompetenzentwicklungsprozesse in der Bildung für nachhaltige Entwicklung erfassen – Überblick über ein heterogenes Forschungsfeld. In M.

- Barth & M. Rieckmann (Hrsg.), *Empirische Forschung zur Bildung für nachhaltige Entwicklung-Themen, Methoden und Trends*. Leverkusen: Budrich.
- Riese, J. & Reinhold, P. (2014). Entwicklung eines Leistungstests für fachdidaktisches Wissen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rieß, W., Mischo, C. & Waltner, E. M. (2018). Ziele einer Bildung für nachhaltige Entwicklung in Schule und Hochschule: Auf dem Weg zu empirisch überprüfbaren Kompetenzen. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 27 (3), 298–305. doi: 10.14512/gaia.27.3.10.
- Rieß, W., Schuler, S. & Hörsch, C. (2015). Wie lässt sich systemisches Denken vermitteln und fördern? Theoretische Grundlagen und praktische Umsetzung am Beispiel eines Seminars für Lehramtsstudierende. *Geographie aktuell & Schule*, 37 (215), 16–29.
- Rittelmeyer, C. (2013). Leibliche Erfahrung und Lernen. Über den Sinn einer allseitigen Sinnesbildung, In R. Hildebrandt-Stramann, R. Laging & K. Moegling (Hrsg.), *Körper, Bewegung und Schule. Teil 1: Theorien, Forschungen und Diskussion*. Immenhausen: Prolog.
- Roczen, N. (2011). *Environmental competence. The interplay between connection with nature and environmental knowledge in promoting ecological behavior*. Eindhofen: Eindhofen University of Technology.
- Roczen, N., Kaiser, F. G. & Bogner, F. X. (2010). Umweltkompetenz – Modellierung, Entwicklung und Förderung. Projekt Umweltkompetenz. *Zeitschrift für Pädagogik*, 56 (4), 126–134.
- Roeper, M. (2011). *Kinder raus! Zurück zur Natur: artgerechtes Leben für den kleinen Homo sapiens*. München: Südwest.
- Rosenthal, R. & Jacobson, L. (1968). Pygmalion in the classroom. *The Urban Review*, 3 (1), 16–20. doi: 10.1007/BF02322211.
- Rost, J. (2000). Allgemeine Standards für die Evaluationsforschung. In W. Hager, J.-L. Patry & H. Brezing (Hrsg.), *Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen. Standards und Kriterien*. Bern: Huber.
- Roth, C. (1992). *Environmental literacy: Its roots, evolution, and directions in the 1990s*. Columbus: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics and Environmental Education.
- Royal Society of Chemistry (2010). *£1million bounty offered for UK's first chemical-free product*. Bezogen von <https://www.rsc.org/AboutUs/News/PressReleases/2010/CTPA100ChemicalFree.asp> [09.07.2020].

- Sälzer, C. & Roczen, N. (2018). Die Messung von Global Competence im Rahmen von PISA 2018. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 21 (2), 299–316. doi: 10.1007/s11618-018-0818-y.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken – die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Sauerborn, P. & Brühne, T. (2012). *Didaktik des außerschulischen Lernens*. Baltmannsweiler: Schneider.
- Schäfer, B. (2015). Ginkgolide: Nützliche Naturstoffe. *Chemie in unserer Zeit*, 49 (6), 410–420. doi: 10.1002/ciuz.201500724.
- Scharf, V. & Werth, S. (1989). Einstellungen und Chemieunterricht - Was bleibt eigentlich. *Chimica didactica Zeitschrift für Didaktik der Chemie*, 15 (1), 55–70.
- Scharf, V. & Werth, S. (1991). Studien zum komplexen Beziehungsgefüge 'Mensch' – 'Chemie' – 'Natur': 'Chemie' und 'Natur' ein Antagonismus auch für Chemiestudenten?. *Chimica didactica Zeitschrift für Didaktik der Chemie*, 17 (1), 68–82.
- Scharf, V. (1994). Urteile und Vorurteile über Chemie. *CHEMKON*, 1 (1), 8–14. doi: 10.1002/ckon.19940010103.
- Scharfenberg, F.-J. (2005). *Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Lernort Labor: empirische Untersuchung zu Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse*. Bayreuth: Universität Bayreuth.
- Scheersoi, A. (2015). Catching the visitor's interest. In S. D. Tunnicliffe & A. Scheersoi (Eds.), *Natural History Dioramas. History, Construction and Educational Role*. Dordrecht: Springer.
- Schellenbach-Zell, J., Rürup, M., Fußangel, K. & Gräsel, C. (2008). Bedingungen erfolgreichen Transfers am Beispiel von Chemie im Kontext. In R. Demuth, C. Gräsel, I. Parchmann & B. Ralle (Hrsg.), *Chemie im Kontext. Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Scherl, M. & Müller, T. (2013). Über das Verschwinden des Chlorophylls – Teil 2: Schülerexperimente rund um die Blattfarbstoffe. *Chemie & Schule*, 28 (3), 17–21.
- Schermelleh-Engel, K. & Werner, C. S. (2012). Methoden der Reliabilitätsbestimmung. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Schickor, H. (1998). Blütenzauber – dem Geheimnis des Cyanidins auf der Spur: eine Unterrichtsankündigung für den Chemiekurs der Oberstufe. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 47 (8), 39–43.

- Schiefele, U. & Streblow, L. (2006). Motivation aktivieren. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U. (1996). *Motivation und Lernen mit Texten*. Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U. (2009). Situational and individual interest. In K. R. Wentzel & A. Wigfield (Eds.), *Handbook of motivation at school*. New York: Routledge.
- Schiepe-Tiska, A., Simm, I. & Schmidtner, S. (2016). Motivationale Orientierungen, Selbstbilder und Berufserwartungen in den Naturwissenschaften in PISA 2015. In K. Reiss, C. Sälzner, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Schmidkunz-Eggler, D. (2000). Ätherische Öle – mehr als nur Duftstoffe. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 55 (1), 25–28.
- Schmidkunz-Eggler, D. (2000). Von der Weidenrinde zum modernen Arzneimittel. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 55 (1), 36–40.
- Schmiemann, P. & Lücken, M. (2014). Validität – Misst mein Test, was er soll?. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schneller, M. B., Bentsen, P., Nielsen, G., Brønd, J. C., Ried-Larsen, M., Mygind, E. & Schipperijn, J. (2017). Measuring Children's Physical Activity: Compliance Using Skin-Taped Accelerometers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49 (6), 1261–1269. doi: 10.1249/MSS.0000000000001222.
- Schultz, P. W. (2002). Inclusion with nature: The psychology of human-nature relations. In P. Schmuck & W. P. Schultz (Eds.), *The psychology of sustainable development*. New York: Kluwer.
- Schummer, J. (2017). Einführung. In A.-D. Weitze, J. Schummer & T. Geelhaar (Hrsg.), *Zwischen Faszination und Verteufelung: Chemie in der Gesellschaft*. Berlin: Springer.
- Schwedt, G. (2007). *Chemie für alle Jahreszeiten. Einfach Experimente mit pflanzlichen Naturstoffen*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Scrutton, R. & Beames, S. (2015). Measuring the unmeasurable: Upholding rigor in quantitative studies of personal and social development in outdoor adventure education. *Journal of Experimental Education*, 38 (1), 8–25. doi: 10.1177/10538259-13514730.
- Seaton, M., Marsh, H. W. & Craven, R. G. (2009). Earning its place as a pan-human theory: Universality of the big-fish-little-pond effect across 41 culturally and economically diverse countries. *Journal of Educational Psychology*, 101 (2), 403–419. doi: 10.1037/a0013838.

- Seidel T, Prenzel M, Duit R, Lehrke M (2004). *Technischer Bericht zur Videostudie „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht“*. Kiel: IPN. Bezogen von <ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/misc/TechnBerichtVideostudie-VH.pdf> [09.07.2020].
- Simpson, R. D., Koballa, T. R., Oliver, J. S. & Crawley, F. E. (1994). Research on the affective dimension of science learning. In D. Gabel (Eds.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan.
- Sjøberg, S. & Schreiner C. (2010). *The ROSE project. An overview and key findings*. University of Oslo: Oslo. Bezogen von <https://www.roseproject.no/network/countries/norway/eng/nor-Sjoberg-Schreiner-overview-2010.pdf> [09.07.2020].
- Soga, M. & Gaston, K. J. (2016). Extinction of experience: the loss of human–nature interactions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14 (2), 94–101. doi: 10.1002/fee.1225.
- Sommer, K., Klein, M., Steff, H. & Pfeifer, P. (2012). Modellexperimente. Zwischen Anschauungselement und Erkenntnisgewinnung. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 132 (5), 2–9.
- Sommer, K., Venke, S. & Pfeifer, P. (Hrsg.) (2004). *Naturstoffe im Chemieunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 84 (5).
- Spitzer, P. & Gröger, M. (2014). Chemistry to go!. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 144 (6), 43–47.
- Spitzer, P. & Lembens, A. (2017). Mit dem Smartphone draußen Chemie entdecken. *Chemie & Schule*, 32 (4), 20–23.
- Spitzer, P. (2017). *Untersuchungen zur Berufsorientierung als Baustein eines relevanten Chemieunterrichts im Vergleich zwischen Mittel- und Oberstufe sowie Darstellung des Chem-Trucking-Projekts als daraus abgeleitete Interventionsmaßnahme für den Chemieunterricht*. Siegen: Universität Siegen.
- Stark, R. (2003). Conceptual Change: kognitiv oder situiert?. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17 (2), 133–144. doi: 10.1024//1010-0652.17.2.133.
- Steffensky, M., Kleickmann, T., Kasper, D. & Köller, O. (2016). Naturwissenschaftliche Kompetenzen im internationalen Vergleich: Testkonzepte und Ergebnisse. In H. Wendt, W. Bos, C. Selter, O. Köller, K. Schwippert & D. Kasper (Hrsg.), *TIMSS 2015. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich*. Münster: Waxmann.
- Steinecke, H., Meyer, I. & Pohl-Apel, G. (2007). *Kleine botanische Experimente*. Frankfurt: Harri Deutsch.
- Stern, M., Powell, R. & Hill, D. (2014). Environmental education program evaluation in the new millennium: what do we measure and what have we learned?. *Environmental Education Research*, 20 (5), 581–611. doi: 10.1080/13504622.2013.8387-49.

- Stöber, J. (2001). The Social Desirability Scale-17 (SDS-17): Convergent validity, discriminant validity, and relationship with age. *European Journal of Psychological Assessment, 17* (3), 222–232. doi: 10.1027//1015-5759.17.3.222.
- Stone, J. & Fernandez, N. C. (2008). How Behavior Shapes Attitudes: Cognitive Dissonance Processes. In W. D. Crano & R. Prislin (Eds.), *Attitudes and Attitude Change*. New York: Psychology Press.
- Streller, M. (2015). *The educational effects of pre and post-work in out-of-school laboratories*. Dresden: Technische Universität Dresden.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R. & Eilks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education, 49* (1), 1–34. doi: 10.1080/03057267.2013.802463.
- Stuckey, M., Marks, R., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A. & Eilks, I. (2012). Chemieunterricht, Allgemeinbildung und Gesellschaft. Blicke über den Gartenzaun. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule, 61* (8), 10–15.
- Stuckmeier, S. & Sieve, B. (2016). Pigmente aus fachlicher und chemiedidaktischer Perspektive. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 154* (4), 2–9.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review, 10* (3), 251–296. doi: 10.1023/A:1022193728205.
- Taasobshirazi, G. & Carr, M. (2008). A review and critique of context-based physics instruction and assessment. *Educational Research Review, 3* (2), 155–167. doi: 10.1016/j.edurev.2008.01.002.
- Tausch, M. W. & Paterkiewicz, D. (1988). Phosphoreszenz und Fluoreszenz. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule, 37* (1), 14–21.
- Taylor, A. F. & Kuo, F. E. (2009). Children With Attention Deficits Concentrate Better After Walk in the Park. *Journal of attention disorders, 12* (5), 402–409. doi: 10.1177/1087054708323000.
- Tepner, M., Roeder, B. & Melle, I. (2009). Effektivität des Gruppenpuzzles im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 15* (1), 7–29.
- Tepner, O. & Dollny, S. (2014). Entwicklung eines Testverfahrens zur Analyse fachdidaktischen Wissens. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Theyßen, H. (2014). Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Tiemann, R. & Körbs, C. (2014). Die Fragebogenmethode, ein Klassiker der empirischen didaktischen Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Triandis, H. C. (1975). *Einstellungen und Einstellungsänderungen*. Weinheim: Beltz.
- Trommer, G. (2012). *Schön wild! Warum wir und unsere Kinder Natur und Wildnis brauchen*. München: Oekom.
- Tytler, R. & Osborne, J. (2012). Student attitudes and aspirations towards science. In B. J. Fraser, K. G. Tobin, C. J. McRobbie, (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Springer.
- Ültay, N. & Çalik, M. (2012). A Thematic Review of Studies into the Effectiveness of Context-Based Chemistry Curricula. *Journal of Science Education and Technology*, 21 (6), 686–701. doi: 10.1007/s10956-011-9357-5.
- Unterbrunner, U. (2014). Multimedia-Lernsoftware und Outdoor im Biologieunterricht – ein Widerspruch?. In J. Maxton-Küchenmeister & J. Meßinger-Koppelt (Hrsg.), *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- Upmeier zu Belzen, A. & Vogt, H. (2001). Interessen und Nicht-Interessen bei Grundschulkindern – Theoretische Basis der Längsschnittstudie PEIG. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) - Biologie Lehren und Lernen*, 10 (1), 17–31. doi: 10.4119/UNIBI/zdb-v10-i1-301.
- Van Vorst, H. (2013). Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Berlin: Logos.
- Van Vorst, H., Dorschu, A., Fechner, S., Kauertz, A. Krabbe, H. & Sumfleth, E. (2015). Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht – Vorschlag einer theoretischen Modellierung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21 (1), 29–39. doi: 10.1007/s40573-014-0021-5.
- Van Vorst, H., Fechner, S. & Sumfleth, E. (2018). Unterscheidung von Kontexten für den Chemieunterricht. Untersuchung des Einflusses möglicher Kontextmerkmale auf das situationale Interesse im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24 (1), 167–181. doi: 10.1007/s40573-018-0081-z.
- Vereinte Nationen (2015). *Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 25. September 2015. Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung*. Bezogen von <http://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf> [09.07.2020].

- Vogt, H. (2007). Theorie des Interesses und des Nicht-Interesses. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Von Au, J. & Gade, U. (Hrsg.) (2016). *Raus aus dem Klassenzimmer. Outdoor Education als Unterrichtskonzept*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Von Au, J. (2016). Einführung und Überblick. In J. von Au & U. Gade (Hrsg.), *Raus aus dem Klassenzimmer. Outdoor Education als Unterrichtskonzept*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Wagenschein, M. (1981). Martin Wagenschein. Ein Interview zu seinem Lebenswerk. *Chimica didactica Zeitschrift für Didaktik der Chemie*, 7 (1), 161–175.
- Waite, S., Bølling, M. & Bentsen, P. (2015). Comparing apples and pears?: a conceptual framework for understanding forms of outdoor learning through comparison of English Forest Schools and Danish udeskole. *Environmental Education Research*, 22 (6), 868–892. doi: 10.1080/13504622.2015.1075193.
- Ware, M. (2008). Prussian Blue: Artists' Pigment and Chemists' Sponge. *Journal of Chemical Education*, 85 (5), 612–621. doi: 10.1021/ed085p612.
- Ware, S. & Tinnesand, M. (2005). Chemistry in the Community (ChemCom): Chemistry for future citizens. In P. Nentwig & D. Waddington (Eds.), *Making it relevant. Context based learning of science*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Weber, A. (2011). *Mehr Matsch! Kinder brauchen Natur*. Berlin: Ullstein.
- Weber, P., Martens, A. & Ducci, M. (2007). Die Chemie der Kastanie – Experimente mit Rosskastaniensamen. *Chemie konkret CHEMKON*, 14 (2), 67–74. doi: 10.1002/ckon.200710054.
- Weiler, E. W. & Nover, L. (2008). *Allgemeine und molekulare Botanik*. Stuttgart, New York: Georg Thieme.
- Weiß, D. & Brandl, H. (2013a). Cumarine. Fluoreszenzfarbstoffe in der Natur. Teil 1 von 2. *Chemie in Unserer Zeit*, 47 (1), 50–54. doi: 10.1002/ciuz.201300586.
- Weiß, D. & Brandl, H. (2013b). Experimente mit Pflanzeninhaltsstoffen. Fluoreszenzfarbstoffe in der Natur Teil 2 von 2. *Chemie in Unserer Zeit*, 47 (2), 122–131. doi: 10.1002/ciuz.201300618.
- Wentorf, W., Höffler, T. N. & Parchmann, I. (2015). Schülerkonzepte über das Tätigkeitsspektrum von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern: Vorstellungen, korrespondierende Interessen und Selbstwirksamkeitserwartungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21 (1), 207–222. doi: 10.1007/s40573-015-0035-7.
- Werth, S. (1991). *Mensch-Chemie-Natur: grundlegende Einstellungen von Lernenden und ihre Bedeutung*. Essen: Westarp-Wiss.

- Weßnigk, S. & Euler, M. (2014). Wie die Produktion von Eierlöffeln das Image von Chemie und Physik verändern kann. Die Effekte eines industrienahen Schülerlabors. *CHEMKON*, 21 (3), 123–128. doi: 10.1002/ckon.201410224.
- Weßnigk, S. (2013). *Kooperatives Arbeiten an industrienahen außerschulischen Lernorten*. Kiel: Universitätsbibliothek Kiel.
- Weusmann, B. (2013). *Biologie- und Sachunterricht im Freiland. Überzeugungen zu einer wenig genutzten Unterrichtsform*. Baltmannsweiler: Schneider.
- Willems, A. S. (2011). Bedingungen des situationalen Interesses im Mathematikunterricht. Eine mehrebenenanalytische Perspektive. In R. Becker, S. Blömeke, W. Bos, H. Ditton, C. Gräsel, E. Klieme, R. Lehmann, T. Rauschenbach, H.-G. Roßbach, K. Schwippert, L. Stecher, C. Tarnai, R. Tippelt, R. Watermann, H. Weishaupt & J. Zinnecker (Hrsg.), *Empirische Erziehungswissenschaft*. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann.
- Willems, A. S. (2018). Lernmotivation und Interesse. In K. Sommer, J. Wambach-Laiher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht*. Seelze: Friedrich.
- Wirth, J., Thillmann, H., Künsting, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54 (3), 361–375.
- Witzel, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 1 (1), 1–9. doi: 10.17169/fqs-1.1.1132.
- Zenner, H.-P. (2012). Postulat einer naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung an Gymnasien. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 61 (8), 6–10.
- Ziman, J. (1994). The rationale of STS education is in the approach. In J. Solomon & G. Aikenhead (Eds.), *STS education. International perspectives on reform*. New York, London: Teachers College Press.
- Zinnecker, J. (1990). Vom Straßenkind zum verhäuslichten Kind. Kindheitsgeschichte im Prozeß der Zivilisation. In I. Behnken (Hrsg.), *Stadtgesellschaft und Kindheit im Prozeß der Zivilisation*. Opladen: Leske & Budrich.
- Zylstra, M. J., Knight, A. T., Esler, K. J. & Le Grange, L. L. (2014). Connectedness as a core conservation concern: An interdisciplinary review of theory and a call for practice. *Springer Science Reviews*, 2 (1-2), 119–143. doi: 10.1007/s40362-014-0021-3.

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 Hucke: 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: Physiklehrvorstellungen 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 Lehrerrepräsentation 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 Physiklehrkräften
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 Maiseyenko: 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 Sekundarstufenlehrämter*
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: Lesegeschichten 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 Schüßler: 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 Dörscheln: 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 Veränderung 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

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder per Fax (030 - 42 85 10 92) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Hans Niedderer, Helmut Fischler und Elke Sumfleth

Die Reihe umfasst inzwischen eine große Zahl von wissenschaftlichen Arbeiten aus vielen Arbeitsgruppen der Physik- und Chemiedidaktik und zeichnet damit ein gültiges Bild der empirischen physik- und chemiedidaktischen Forschung in Deutschland.

Die Herausgeber laden daher Interessenten zu neuen Beiträgen ein und bitten sie, sich im Bedarfsfall an den Logos-Verlag oder an ein Mitglied des Herausgeberteams zu wenden.

Kontaktadressen:

Prof. Dr. Hans Niedderer
Institut für Didaktik der Naturwissenschaften,
Abt. Physikdidaktik, FB Physik/Elektrotechnik,
Universität Bremen,
Postfach 33 04 40, 28334 Bremen
Tel. 0421-218 2484/4695, e-mail:
niedderer@physik.uni-bremen.de

Prof. Dr. Helmut Fischler
Didaktik der Physik, FB Physik, Freie Universität Berlin,
Arnimallee 14, 14195 Berlin
Tel. 030-838 56712/55966, e-mail:
fischler@physik.fu-berlin.de

Prof. Dr. Elke Sumfleth
Didaktik der Chemie,
Fachbereich Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen
Tel. 0201-183 3757/3761, e-mail:
elke.sumfleth@uni-essen.de

Laien ist selten bewusst, dass Chemie als Naturwissenschaft auch das Ziel verfolgt, Natur zu beschreiben sowie deren Stoffe und Stoffumwandlungen zu erklären. Chemische Prozesse finden überall statt, insbesondere in der Natur! Genau an diesem Punkt setzt das Unterrichtskonzept „CHEMIE PUR - Unterrichten in der Natur“ an. Ziel ist es, im Freiland, mit direkt vor Ort gewonnenen Naturstoffen, Umweltprozesse experimentell zu erarbeiten.

Die projektbegleitende Evaluationsstudie stellte sich der Forschungsfrage, wie sich das Unterrichtskonzept auf das Fach- und Sachinteresse, auf die Naturverbundenheit sowie auf die Einstellung zu Chemie und Natur von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II auswirkt. Die Auswertung der Fragebogenergebnisse mit latenten Veränderungsmodellen haben gezeigt, dass die Intervention im Freiland das inhaltsbezogene Sachinteresse steigert, die Einstellung zu Chemie und Natur positiv beeinflusst sowie einen erhöhten Fachwissenszuwachs ermöglicht. Die gewonnenen Erkenntnisse können die Grundlage für die Entwicklung und Evaluation von good-practice-Ansätzen naturwissenschaftlicher Lernsituationen bilden. Das Unterrichtskonzept CHEMIE PUR leistet zudem einen Beitrag im Bereich Outdoor Education, um den Antagonismus von Chemie und Natur zu verringern.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5174-2