

Brandenburger, Martina

## Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden

Berlin : Logos Verlag 2016, IV, 357 S. - (Studien zum Physik- und Chemielernen; 218) - (Dissertation, Pädagogische Hochschule Freiburg, 2016)



Quellenangabe/ Reference:

Brandenburger, Martina: Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden. Berlin : Logos Verlag 2016, IV, 357 S. - (Studien zum Physik- und Chemielernen; 218) - (Dissertation, Pädagogische Hochschule Freiburg, 2016) - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-333668 - DOI: 10.25656/01:33366; 10.5281/zenodo.437756

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-333668>

<https://doi.org/10.25656/01:33366>

in Kooperation mit / in cooperation with:



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

### Nutzungsbedingungen

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

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

### Terms of use

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

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



### Kontakt / Contact:

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

# Studien zum Physik- und Chemielernen

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

218

Martina Brandenburger

## Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?

Eine Untersuchung mit Studierenden



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

# Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?

Eine Untersuchung mit Studierenden

von der Pädagogischen Hochschule Freiburg  
zur Erlangung des Grades  
eines Doktors der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigte Dissertation von  
Martina Brandenburger  
aus Speyer

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 2016

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-8325-4409-6



Logos Verlag Berlin GmbH  
Comeniushof, Gubener Str. 47,  
10243 Berlin  
Tel.: +49 (0)30 42 85 10 90  
Fax: +49 (0)30 42 85 10 92  
INTERNET: <http://www.logos-verlag.de>

# Inhaltsverzeichnis

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I. Einleitung</b>                                         | <b>1</b>  |
| <b>II. Theoretischer Teil</b>                                | <b>9</b>  |
| <b>1. Expertiseforschung</b>                                 | <b>11</b> |
| 1.1. Begriffsbestimmung „Expertise“ und „Experte“ . . . . .  | 12        |
| 1.1.1. Der Begriff des Experten nach Posner (1988) . . . . . | 12        |
| 1.1.2. Der Begriff des Experten nach Krems (1994) . . . . .  | 14        |
| 1.1.3. Der Begriff des „Novizen“ . . . . .                   | 14        |
| 1.1.4. Entwicklung des Expertisebegriffs . . . . .           | 16        |
| 1.2. Der Experten-Novizen-Vergleich . . . . .                | 19        |
| 1.3. Entstehung und Entwicklung von Expertise . . . . .      | 24        |
| 1.3.1. Intelligenz und Expertise . . . . .                   | 25        |
| 1.3.2. Wissen und Expertise . . . . .                        | 28        |
| 1.3.3. Erfahrung und Expertise . . . . .                     | 34        |
| 1.3.4. Nicht-kognitive Komponenten und Expertise . . . . .   | 36        |
| 1.4. Zusammenfassende Betrachtungen zur Expertiseforschung . | 38        |
| <b>2. Problemlösen</b>                                       | <b>41</b> |
| 2.1. Begriffsbestimmung „Problem“ . . . . .                  | 42        |
| 2.1.1. Definition „Problem“ nach Dörner . . . . .            | 42        |
| 2.1.2. Definition „Problem“ nach Smith . . . . .             | 43        |
| 2.2. Einteilung von Problemen . . . . .                      | 46        |
| 2.3. Komplexe Probleme . . . . .                             | 51        |
| 2.4. Modelle zum Problemlösen . . . . .                      | 54        |
| 2.4.1. Modell des Problemlösens nach Dewey . . . . .         | 56        |

|             |                                                                                               |            |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4.2.      | Modell des Problemlösens nach Pólya . . . . .                                                 | 60         |
| 2.4.3.      | Problemlösen als Informationsverarbeitung . . . . .                                           | 64         |
| 2.4.4.      | Problemlösekompetenz nach PISA . . . . .                                                      | 81         |
| 2.4.5.      | Wissenszentriertes Problemlösen nach Friege (2001)                                            | 90         |
| 2.4.6.      | Begründung der Wahl des Modells nach Friege (2001)                                            | 93         |
| 2.5.        | Strukturierung des Problemlöseprozesses . . . . .                                             | 96         |
| 2.5.1.      | Problemrepräsentation . . . . .                                                               | 96         |
| 2.5.2.      | Auswahl / Erarbeitung eines Problemschemas . . .                                              | 98         |
| 2.5.3.      | Erarbeitung einer Lösung . . . . .                                                            | 100        |
| 2.5.4.      | Evaluation . . . . .                                                                          | 104        |
| 2.5.5.      | Nachvollziehen . . . . .                                                                      | 105        |
| 2.6.        | Abgrenzung zum Modellieren . . . . .                                                          | 108        |
| 2.6.1.      | Modellbegriff in der Physik . . . . .                                                         | 108        |
| 2.6.2.      | Modellierung in der Mathematik . . . . .                                                      | 116        |
| 2.6.3.      | Vergleich „Modellierung“ in Physik und Mathematik<br>und der Bezug zum Problemlösen . . . . . | 118        |
| 2.7.        | Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen . . . . .                                   | 125        |
| 2.7.1.      | (Fach-)Wissen . . . . .                                                                       | 125        |
| 2.7.2.      | Erfahrung . . . . .                                                                           | 135        |
| 2.7.3.      | Selbstkonzept . . . . .                                                                       | 136        |
| 2.7.4.      | Interesse . . . . .                                                                           | 140        |
| 2.7.5.      | Unterschiede zwischen Experten und Novizen . . .                                              | 142        |
| 2.8.        | Zusammenfassung zum Problemlösen . . . . .                                                    | 146        |
| <b>3.</b>   | <b>Forschungsfragen und Hypothesen</b>                                                        | <b>149</b> |
| 3.1.        | Beschreibung der Fähigkeit zum Problemlösen . . . . .                                         | 150        |
| 3.2.        | Einflussfaktoren auf das Problemlösen . . . . .                                               | 153        |
| 3.3.        | Typische Fehler . . . . .                                                                     | 155        |
| <b>III.</b> | <b>Empirischer Teil</b>                                                                       | <b>157</b> |
| <b>4.</b>   | <b>Anlage der Untersuchung</b>                                                                | <b>159</b> |
| 4.1.        | Überblick über die Untersuchung . . . . .                                                     | 160        |

|           |                                                                                                  |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.      | Beschreibung der Stichproben . . . . .                                                           | 162        |
| 4.2.1.    | Pilotierung I . . . . .                                                                          | 162        |
| 4.2.2.    | Pilotierung II und III . . . . .                                                                 | 163        |
| 4.2.3.    | Hauptstudie . . . . .                                                                            | 163        |
| 4.3.      | Beschreibung der Untersuchungsinstrumente . . . . .                                              | 166        |
| 4.3.1.    | Problemlösetest . . . . .                                                                        | 166        |
| 4.3.2.    | Skalen zur Erhebung des Selbstkonzepts . . . . .                                                 | 189        |
| 4.3.3.    | Skalen zur Erhebung der Beliebtheit von Tätigkeiten . . . . .                                    | 200        |
| 4.3.4.    | Fachwissen Mathematik . . . . .                                                                  | 207        |
| 4.3.5.    | Fachwissen Physik . . . . .                                                                      | 215        |
| 4.4.      | Zusammenfassung . . . . .                                                                        | 219        |
| <b>5.</b> | <b>Auswertung</b>                                                                                | <b>223</b> |
| 5.1.      | Überblick über die Variablen . . . . .                                                           | 225        |
| 5.2.      | Stufen der Problemlösefähigkeit . . . . .                                                        | 229        |
| 5.3.      | Stufen des Fachwissens Mechanik . . . . .                                                        | 233        |
| 5.4.      | Stufen des Fachwissens Mathematik . . . . .                                                      | 235        |
| 5.5.      | Klassen des Selbstkonzept . . . . .                                                              | 237        |
| 5.6.      | Klassen der Beliebtheit von Tätigkeiten . . . . .                                                | 240        |
| 5.7.      | Verteilung der Prädiktoren auf die Stufen des Problemlösens . . . . .                            | 243        |
| 5.8.      | Vergleich der Stufen- bzw. Klassenzugehörigkeiten . . . . .                                      | 246        |
| 5.8.1.    | Fachwissen Mechanik vs. Problemlösen . . . . .                                                   | 247        |
| 5.8.2.    | Fachwissen Mathematik vs. Problemlösen . . . . .                                                 | 251        |
| 5.8.3.    | Selbstkonzept vs. Problemlösen . . . . .                                                         | 255        |
| 5.8.4.    | Beliebtheit von Tätigkeiten vs. Problemlösen . . . . .                                           | 258        |
| 5.9.      | Korrelationen der einzelner Prädiktoren . . . . .                                                | 261        |
| 5.10.     | Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen durch lineare<br>Regression . . . . .                 | 264        |
| 5.10.1.   | Indirekte Effekte auf den Erfolg beim Problemlösen . . . . .                                     | 264        |
| 5.10.2.   | Direkte Effekte auf den Erfolg beim Problemlösen . . . . .                                       | 273        |
| 5.10.3.   | Zusammenfassendes Modell unter Berücksichtigung<br>der Hypothesen zu Forschungsfrage 2 . . . . . | 276        |



|                                                      |                |
|------------------------------------------------------|----------------|
| 5.11. Qualitative Untersuchungen . . . . .           | 279            |
| 5.11.1. Typische Fehler . . . . .                    | 279            |
| 5.11.2. Argumentationsansätze . . . . .              | 282            |
| 5.12. Zusammenfassung der Ergebnisse . . . . .       | 287            |
| <br><b>IV. Zusammenfassung</b>                       | <br><b>291</b> |
| <br><b>V. Anhang</b>                                 | <br><b>309</b> |
| <b>A. Statistische Dokumentationen</b>               | <b>311</b>     |
| A.1. Beschreibung der Stichprobe . . . . .           | 311            |
| A.2. Bewertungsschema des Problemlösetests . . . . . | 312            |
| A.3. Skalen zum Selbstkonzept . . . . .              | 313            |
| A.3.1. Items der Skalen zum Selbstkonzept . . . . .  | 313            |
| A.3.2. Reliabilitätsanalysen . . . . .               | 313            |
| A.3.3. Faktorenanalysen . . . . .                    | 318            |
| A.4. Fachwissenstests . . . . .                      | 321            |
| <br><b>B. Instrumente</b>                            | <br><b>323</b> |
| <br><b>Literaturverzeichnis</b>                      | <br><b>347</b> |
| <br><b>Danksagung</b>                                | <br><b>357</b> |

# **Teil I.**

## **Einleitung**



# Einleitung

*„Problem solving is an essential prerequisite for flexible performance, is widely needed, and is particularly important in scientific or other complex domains. It is also of paramount importance in education, especially since problem solving can be quite difficult.“*

Reif, 2008, S. 189

Problemlösen ist eine wesentliche Voraussetzung für das Handeln in allen Bereichen des Lebens: In einfachen Alltagssituationen, bei (natur-) wissenschaftlichen Fragestellungen oder bei komplexeren gesellschaftlich relevanten politischen und ökonomischen Problemen spielt die Lösung von Problemen eine Rolle. Insbesondere innerhalb des schulischen und universitären Kontextes, z.B. beim Lernen und der Leistungsüberprüfung oder in internationalen Schulleistungstudien werden Probleme bearbeitet. Funke (2003) fasst die Vielfalt von Situationen, in denen Probleme gelöst werden müssen, treffend zusammen: *„Es gibt eigentlich kaum einen Bereich menschlichen Lebens, in dem Problemlösen nicht bedeutsam wäre!“* (Funke, 2003, S. 13).

Entsprechend lange stehen Untersuchungen zum Problemlösen schon im Fokus der Lehr-Lern-Forschung. Bereits um 1900 beschäftigte sich John Dewey damit, wie Menschen im Alltag Probleme lösen (z.B. Wie komme ich am schnellsten von A nach B?) und wie diese Art des Denkens gefördert werden kann. Einen ersten Höhepunkt erreichte die Untersuchung des Problemlösens anhand von wohldefinierten Puzzeln (z.B. Turm von Hanoi) in der Mitte des 20. Jahrhunderts (s.h. z.B. Newell & Simon, 1972; Dörner, 1976). Später verschob sich der Fokus weg von einfachen Situationen hin zu komplexen (Überblick: Frensch & Funke, 1995) und domänenspezifischen

Problemen (z.B. Chi et al., 1981; Pólya, 1985; Smith, 1991b; Friege, 2001; Reif, 2008), auch aus dem schulischen und universitären Kontext.

In jüngerer Vergangenheit rückte das Problemlösen vor allem durch internationale Schulleistungstudien (wie TIMSS<sup>1</sup> oder PISA<sup>2</sup>) wieder in den Vordergrund – es bestand die Befürchtung, dass die von den Schülerinnen und Schülern gelernten Inhalte nicht ausreichten, um reale Problemstellungen im Alltag bewältigen zu können (vgl. Leutner et al., 2004). Problemlösekompetenz wird als zentrale „Schlüsselkompetenz“ angesehen (vgl. z.B. Rumann et al., 2010; Fleischer et al., 2010) und in Kerncurricula und nationalen Bildungsstandards als zu erwerbende Kompetenz gefordert (vgl. KMK Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005).

Auch außerhalb internationaler Vergleichsstudien nehmen Probleme, beispielsweise in Form von Übungsaufgaben oder zur Leistungskontrolle, im schulischen und universitären Umfeld einen wichtigen Platz ein (vgl. z.B. Fischer & Draxler, 2001; Friege & Lind, 2003; Kühn, 2011). Wie bereits das Anfangszitat von Frederick Reif ausdrückt, ist angemessenes und erfolgreiches Problemlösen sowohl für Schülerinnen und Schüler als auch für Studierende oft schwierig. Ausgehend davon erscheint es sinnvoll, genauer zu untersuchen, was für erfolgreiches Problemlösen benötigt wird und wie diese Erkenntnisse für das Unterrichten genutzt werden können (vgl. Reif, 2008).

Insbesondere die Physik erweist sich als ein geeignetes Themenfeld zur Untersuchung von erfolgreichem Problemlösen – einerseits wird die Domäne gemeinhin als schwierig eingeschätzt, andererseits ist die Physik und insbesondere der Teilbereich der Mechanik trotz der Anforderungen grundsätzlich simpel und wohldefiniert (vgl. Heller & Reif, 1984) und kann zu systematischen Untersuchungen herangezogen werden.

Aus vorangegangenen Studien sind einige Einflussfaktoren auf das erfolgreiche Problemlösen bekannt (Smith, 1991b; Jonassen, 2000; Laukenmann et al., 2000; Friege, 2001). Vor allem das domänenspezifische Fachwis-

---

<sup>1</sup>Third International Mathematics and Science Study

<sup>2</sup>Programme for International Student Assessment

sen steht hierbei im Vordergrund. Aber auch kognitiv-emotionale Einflüsse (z.B. das Selbstkonzept) werden als wichtig angesehen, jedoch in vielen Studien nicht genauer untersucht bzw. miterhoben (vgl. Friege, 2001). Eine genauere quantitative Untersuchung der verschiedenen Einflüsse findet, vor allem in den letzten Jahren, weniger statt.

## **Aufriss des Forschungsvorhabens**

Vor dem angerissenen traditionsreichen Forschungshintergrund des Problemlösens fokussiert die vorliegende Arbeit auf einen kleinen Teilbereich aus der Menge von möglichen Untersuchungsgegenständen – auf den Erfolg von Studierenden beim Problemlösen in Physik. Die täglichen Erfahrungen des Lehrbetriebs an Hochschulen machen deutlich, dass Teile der Studierenden große Schwierigkeiten haben, Probleme erfolgreich zu lösen. Sie scheitern sowohl an der Erarbeitung eines Lösungsansatzes als auch bei der Durchführung der (mathematischen) Lösung. Andererseits gibt es auch Studierende, welche die gestellten Probleme gut lösen können.

Die Diskrepanz zwischen der Wichtigkeit des Problemlösens und den Schwierigkeiten, die Bearbeitende haben, ist der Ausgangspunkt für die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit: *Was unterscheidet „gute“ von „schlechten“ Problemlösern und welche Faktoren beeinflussen den Erfolg beim Problemlösen?*

Mit Hilfe einer empirischen Untersuchung soll dazu beigetragen werden, bereits bekannte Erkenntnisse aus der traditionsreichen Forschung zum Problemlösen zu bestätigen (z.B. die Bedeutung des domänenspezifischen Fachwissens oder des Selbstkonzepts), zu quantifizieren und zueinander in Beziehung zu setzen. Es sollen sowohl quantitative als auch qualitative Eigenschaften „guter“ und „schlechter“ Problemlöser herausgearbeitet werden.

Die Studie beschränkt sich auf Studierende an Universitäten und Pädagogischen Hochschulen, die Physik als Nebenfach oder Studienschwerpunkt belegen. Als Teilgebiet der Physik, aus dem die untersuchten Probleme stammen, wurde die Mechanik gewählt, die repräsentativ für die Phy-

sik und, wie oben bereits angerissen, hinreichend komplex aber aufgrund der wenigen grundsätzlichen Prinzipien (z.B. Energieerhaltung, Kraftansatz etc.) trotzdem wohldefiniert ist.

Zur Erhebung des Erfolgs beim Problemlösen wurde ein spezielles Testinstrument entwickelt, das basierend auf dem Modell des wissenszentrierten Problemlösens (nach Friege, 2001) die verschiedenen Phasen des Problemlösens getrennt voneinander erhebt. Neben einer differenzierten Beschreibung der vorhandenen Problemlösefähigkeit der untersuchten Stichprobe werden die gewonnenen Daten des Weiteren mit verschiedenen, aus der Theorie bekannten Einflussfaktoren (Fachwissen Mechanik und Mathematik, Erfahrung mit dem Problemlösen, Aspekte des domänenspezifischen und situationsbezogenen Selbstkonzepts, Aspekte des Interesses) in Beziehung gesetzt. Hieraus wird ein Modell entwickelt, das den Zusammenhang zwischen den Einflussfaktoren und dem Erfolg beim Problemlösen quantitativ beschreibt.

## **Aufbau der Arbeit**

Die Arbeit ist in vier Teile gegliedert. Die Abbildung auf Seite 8 gibt einen Überblick über die Struktur der Arbeit. Teil II arbeitet die theoretischen Hintergründe des Untersuchungsgegenstandes auf. Den allgemeinen Rahmen bildet die Expertiseforschung, deren grundsätzliche Ideen, Arbeitsweisen und Erklärungsmodelle in Kapitel 1 dargelegt werden. Das Problemlösen stellt, wie sich in den Ausführungen zeigt, einen speziellen Teil der Expertiseforschung dar, der sich mit der Bearbeitung (domänenspezifischer) Herausforderungen beschäftigt. Kapitel 2 grenzt den Begriff des „Problems“ näher ein und gibt einen Überblick über das umfangreiche Forschungsgebiet des Problemlösens. Es wird eine angemessene Strukturierung physikalischer Problemlöseprozesse vorgestellt, die maßgeblich auf der Arbeit von Friege (2001) basiert. Um die Begrifflichkeit des „Problemlösens“ besser abzugrenzen, wird ein Vergleich zum Begriff „Modellieren“ durchgeführt, sowohl aus Sicht der Physik- als auch der Mathematikdidaktik. Abschließend werden Faktoren vorgestellt, von denen aus vorangegan-

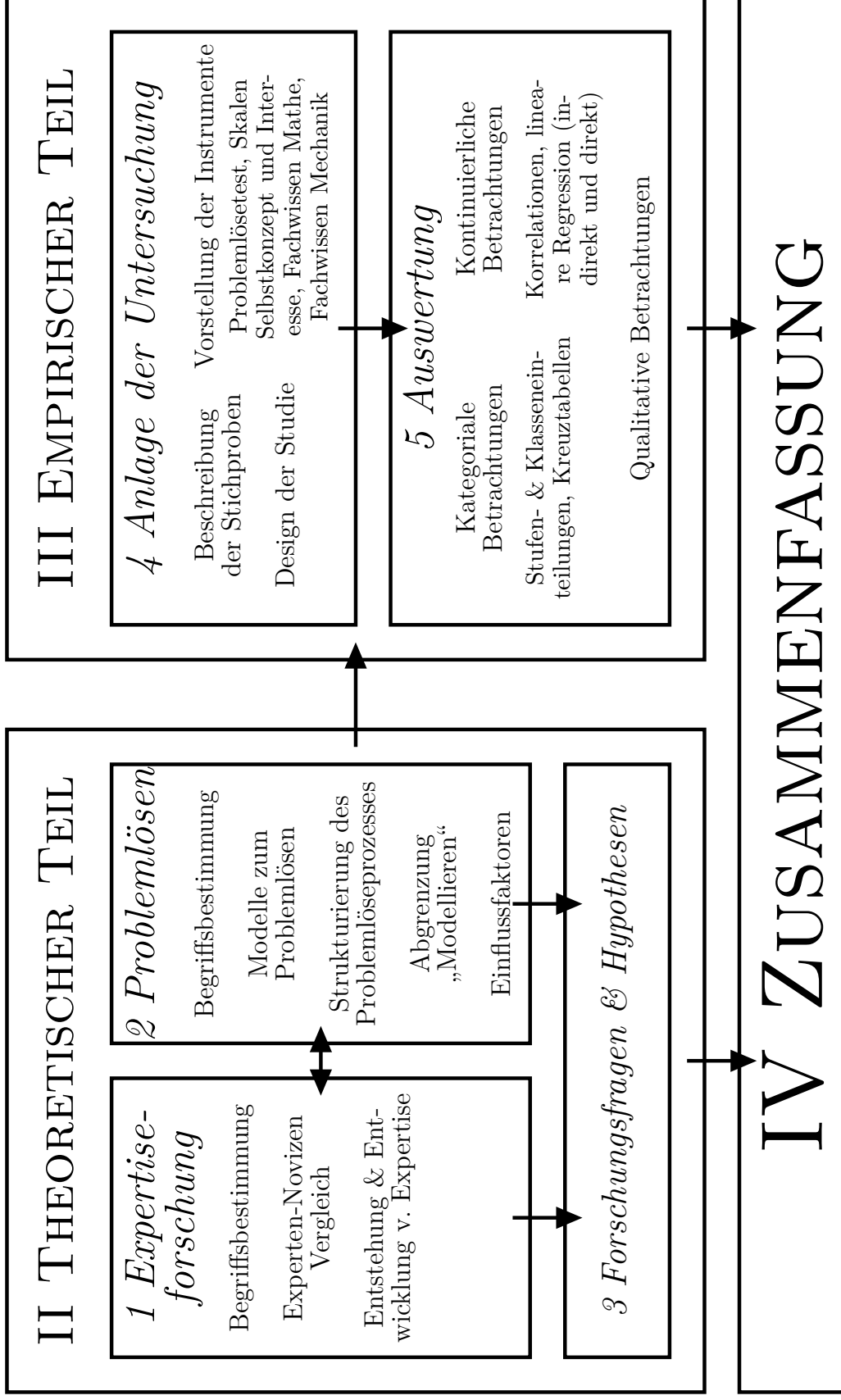
nen Forschungen ein Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen erwartet werden kann. Ausgehend vom theoretischen Rahmen werden in Kapitel 3 Forschungsfragen und Hypothesen formuliert, welche die grundsätzliche Fragestellung der vorliegenden Arbeit genauer differenzieren.

Teil III legt die empirische Untersuchung des Forschungsgegenstandes dar. In Kapitel 4 werden die Anlage der Untersuchung und die verwendeten Instrumente vorgestellt. Die Auswertung der Daten in Kapitel 5 beinhaltet kategoriale und kontinuierliche Betrachtungen, die zu einem Modell des Zusammenspiels der verschiedenen Einflussfaktoren zur Erklärung von erfolgreichem Problemlösen führen und „gute“ bzw. „schlechte“ Problemlöser über die erhobenen Prädiktorvariablen charakterisiert. Ergänzt werden die quantitativen Auswertungen durch qualitative Betrachtungen zu typischen Fehlern und Argumentationsmustern mehr oder weniger erfolgreicher Problemlöser.

Im Teil IV werden die theoretischen Hintergründe und empirischen Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert. Abschließend wird ein Ausblick auf Forschungsfelder, die an die Untersuchung anschließen, gegeben.



# I EINLEITUNG



## **Teil II.**

### **Theoretischer Teil**



# 1. Expertiseforschung

Dieses Kapitel beleuchtet die Expertiseforschung als grundsätzlichen theoretischen Rahmen der vorliegenden Arbeit, in die auch die weiteren Ausführungen zum Problemlösen eingebettet sind (Kapitel 2). Erfolgreiches Problemlösen wird, wie später erläutert, als Zeichen von Expertise gesehen, so dass sich bei seiner Erklärung viele Überschneidungen mit der von Expertise ergeben. Im Allgemeinen beschäftigt sich die Expertiseforschung mit der Untersuchung herausragender menschlicher Leistungen (den Leistungen von Experten), mit den Bedingungen ihres Zustandekommens und den Möglichkeiten, den Erwerb von Expertise zu unterstützen (vgl. Gruber, 2010). Die folgenden Kapitel beleuchten verschiedene Aspekte der Expertiseforschung, beginnend mit einer Begriffsbestimmung und der historischen Entwicklung der Vorstellung von Expertise (Kapitel 1.1), einer anschließenden Beschreibung der gängigen Forschungsmethoden (Kapitel 1.2) und der abschließenden Darlegung verschiedener Begründungen zur Entstehung und Entwicklung von Expertise (Kapitel 1.3). Zur Veranschaulichung werden Beispiele aus verschiedenen Domänen<sup>1</sup> gewählt, insbesondere aus der Physik (in Bezug auf die Domäne dieser Arbeit) und der schachpsychologischen Forschung, die als vergleichsweise einfach zu untersuchende Domäne eine große Tradition innerhalb der Expertiseforschung besitzt (vgl. Gruber, 1994).

---

<sup>1</sup>Unter „Domäne“ versteht man den Bereich, in dem expertenhafte Leistungen untersucht werden, z.B. Physik oder Schach.

### 1.1. Begriffsbestimmung „Expertise“ und „Experte“

„Experte“ ist ein in der Alltagssprache vorkommender Begriff, der in seiner grundlegenden Ausrichtung mit dem psychologischen Begriff übereinstimmt, jedoch weniger scharf zu verwandten Begriffen abgegrenzt ist. So bezeichnet man im Alltag einen Experten als eine Person, der *„getraut werden kann, [die] über eine Sache viel weiß und sie in der Regel fachmännisch, korrekt und kompetent zu Ende führt“* (Gruber, 1994, S. 9). Hierbei wird zwischen handwerklichen Tätigkeiten („Fachmann“) und dem Vorhandensein von viel Wissen („Experte“) unterschieden. Bei der Benutzung im normalen Sprachgebrauch wird dem Experten, über sein eigenes Themenfeld hinaus, eine generelle Überlegenheit zugeschrieben. So geht der Laie davon aus, dass Schachmeister eine grundsätzlich höhere Intelligenz besitzen, die sich beispielsweise auch in erhöhten mathematischen Fertigkeiten zeigt.

Blickt man in die Forschung zur Expertise, stellt man fest, dass viele Autoren auf eine theoriegeleitete Definition von „Experte“ verzichten und den Begriff vielmehr über die Art der Operationalisierung eingrenzen - als Experte wird derjenige verstanden, der vorgegebene, domänenspezifische Kriterien überdurchschnittlich erfüllt. Ausgehend von diesem kleinsten gemeinsamen Nenner werden im Folgenden zwei gängige Definitionen des „Experten“ vorgestellt.

#### 1.1.1. Der Begriff des Experten nach Posner (1988)

Posner (1988) greift in seiner Einleitung zum Sammelband *„The nature of expertise“* (Chi et al., 1988) den kleinsten gemeinsamen Nenner verschiedener Forschungen zur Expertise auf und hält fest:

*„Ein Experte ist eine Person, die auf einem bestimmten Gebiet dauerhaft (also nicht zufällig und singulär) herausragende Leistungen erbringt.“* (Posner, 1988 zitiert nach Gruber, 1994, S. 10).

Problematisch an dieser Definition ist, dass sie sehr weit gefasst ist und so

### 1.1. Begriffsbestimmung „Expertise“ und „Experte“

über verschiedene Domänen hinweg lediglich ein Merkmal eines Experten, seine Leistungsfähigkeit, als konsensfähig herausarbeitet. Dadurch ist es schwierig, Ergebnisse zur Expertiseforschung aus demselben Bereich oder gar aus anderen Domänen zu vergleichen, da verschiedene Arbeiten die Leistungsfähigkeit verschieden operationalisieren.

Über diese grundsätzliche Problematik hinaus nennen Gruber & Ziegler (1996) noch weitere Schwächen der Definition. So kann sich bereits die Abgrenzung verschiedener Domänen als schwierig erweisen. Gruber & Ziegler (1996) erläutern dies am Beispiel von Schach: Beim Schachspiel lassen sich zweierlei Experten finden, die „Turnierspieler“ und die „Problemisten“ (diese beschäftigen sich mit der Lösung von Stellungsproblemen, z.B. Matt in drei Zügen). Auf den ersten Blick scheint eine solche Unterscheidung sinnvoll, jedoch müssen auch Turnierspieler im Rahmen ihres Spiels konkrete Stellungsprobleme lösen und Problemisten werden mit partieähnlichen Situationen konfrontiert – es gibt also Überschneidungen zwischen den Domänen. Auf die Domäne „Physik“ bezogen, scheint die Unterscheidung zwischen einzelnen Unterdomänen leichter zu fallen. Probleme aus der Mechanik werden von Mechanik-Experten bearbeitet, Probleme aus der Elektrodynamik werden von Experten aus der Elektrodynamik gelöst. Nichtsdestotrotz kann es auch hier zu Überschneidungen kommen, beispielsweise werden für die Bewegung von geladenen Teilchen in elektromagnetischen Feldern die Gesetze der Kinematik benötigt.

Aus dieser Schwierigkeit der Abgrenzung verschiedener (Unter-)Domänen voneinander ergibt sich ein weiteres Problem. Es stellt sich die Frage, inwieweit Expertise über verschiedene Domänen hinweg Generalität besitzt. Einige Autoren (z.B. Anderson, 1987) sehen die Eigenschaften und Ausprägungen von Expertise als domänenspezifisch an, andere sehen Gemeinsamkeiten von Experten aus verschiedenen Domänen (z.B. Larkin et al., 1980a).

Auch die Art der „herausragenden Leistungen“ ist nicht weiter aufgeschlüsselt. So ist unklar, ob man sich hierbei auf eine soziale Bezugsnorm (was wird im Schnitt geleistet) oder auf eine domänenimmanente Bezugsnorm (was kann überhaupt geleistet werden) bezieht. Viele Forschungen

## 1. Expertiseforschung

gehen von den sozialen Bezugsnormen aus (was auch einfacher zu messen ist), benutzen so aber eine extrinsische Definition, die sich nicht auf psychologische Kategorien bezieht.

### 1.1.2. Der Begriff des Experten nach Krems (1994)

Krems (1994) greift Teile der Schwierigkeiten der Definition nach Posner (1988) auf und legt den Fokus auf Problemlöseerfahrungen. Somit ist Expertise „*die bereichs- und aufgabenspezifische Problemlösefertigkeit einer Person in einem Sachgebiet [...], die sie in die Lage versetzt, dauerhaft Hervorragendes zu leisten*“ (Krems, 1994 zitiert nach Gruber & Ziegler, 1996, S. 9). Daneben gibt es nach Krems (1994) drei Kriterien, die einen Experten charakterisieren. (1) *Effizienz*: Experten können eine überdurchschnittliche Anzahl von Aufgaben mit unterdurchschnittlichem Aufwand lösen. (2) *Bereichsspezifisches Wissen*: Experten haben ein umfangreiches Wissen sowohl über Gesetzmäßigkeiten als auch über Methoden in ihrem Gebiet. (3) *Erfahrung*: Experten sind schon lange (je nach Autor etwa acht bis zehn Jahre) auf ihrem Gebiet aktiv. Aus kognitionspsychologischer Sicht charakterisiert sich ein Experte nach Krems (1994) über die Bildung größerer Wissensseinheiten, dem Orientieren an Tiefen- statt Oberflächenstrukturen und ziel- statt rückwärtsgeleitetem Vorgehen. Diese grundlegenden Charakteristika werden in späteren Abschnitten beim Vergleich von Experten und Novizen beim Problemlösen (Kapitel 2.7.5) noch näher beleuchtet. Im Folgenden wird der Begriff des Novizen in Abgrenzung zum Experten kurz eingeführt.

### 1.1.3. Der Begriff des „Novizen“

Der „Novize“ wird als Gegenstück zum „Experten“ gesehen; eine Person, die in einer Domäne nur weniger gute Leistungen erbringt. Experten wissen mehr über ihre jeweilige Domäne und können dieses Wissen auch besser anwenden (vgl. Kolodner, 1983).

Da die Person (wie der Begriff „Novize“ bereits nahelegt) neu auf einem Gebiet ist, lässt sich zunächst nicht entscheiden, worauf der Unter-

### 1.1. Begriffsbestimmung „Expertise“ und „Experte“

schied zwischen den beiden beruht: Liegt es an der mangelnden Erfahrung oder an den geringeren Fähigkeiten (Disposition)? Diese Frage ist zentral für die Expertiseforschung und wird in den nächsten Abschnitten vertieft behandelt. Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich beide Komponenten (Erfahrung und Disposition) wechselseitig kompensieren können. Besonders eindrücklich wird das in einer Studie von Chi (1978) verdeutlicht. In dieser Studie wurde sowohl Kindern, die als Schachexperten galten, als auch Erwachsenen, die keine oder wenige schachspezifische Vorkenntnisse besaßen, die Aufgabe gestellt, sich Schachstellungen zu merken. Danach wurden Gedächtnisspannentests durchgeführt. Es ließ sich feststellen, dass die Kinder bei der Erinnerung an (sinnvolle) Schachstellungen besser abschnitten als die Erwachsenen. Jedoch zeigte sich, dass Erwachsene bessere Ergebnisse beim Gedächtnis-Test lieferten und somit eigentlich über ein (altersgemäß) besseres Gedächtnis verfügen müssten. Die Diskrepanz lässt sich durch die Expertise der Kinder erklären, die bei den (sinnvollen) Schachstellungen die mangelnde Gedächtnisleistung kompensieren konnte. Bei allgemeinen Gedächtnisaufgaben kann diese Kompensation nicht mehr stattfinden. Schneider (1992) sieht die Relevanz der Studie von Chi (1978) darin, dass gezeigt werden konnte, dass durch domänenspezifische Expertise Alterseffekte bei Gedächtnisaufgaben nicht nur kompensiert, sondern sogar ins Gegenteil verkehrt werden können.

Der Begriff des „Novizen“ ist, durch seine Möglichkeit der Weiterentwicklung zum Experten, somit eine optimistische Sichtweise auf geringe Leistungen – der Novize hat (im Gegensatz zum „Minderbegabten“) nur einen „Nachholbedarf“ an Wissen und Erfahrung, ist aber grundsätzlich zu guten Leistungen fähig (vgl. Gruber & Mandl, 1992).



### 1.1.4. Entwicklung des Expertisebegriffs

Betrachtet man die Entwicklung der Expertiseforschung, so lassen sich (nach Gruber, 1994) verschiedene Ansätze zum Verständnis von Expertise identifizieren (s.h. Abbildung 1.1).

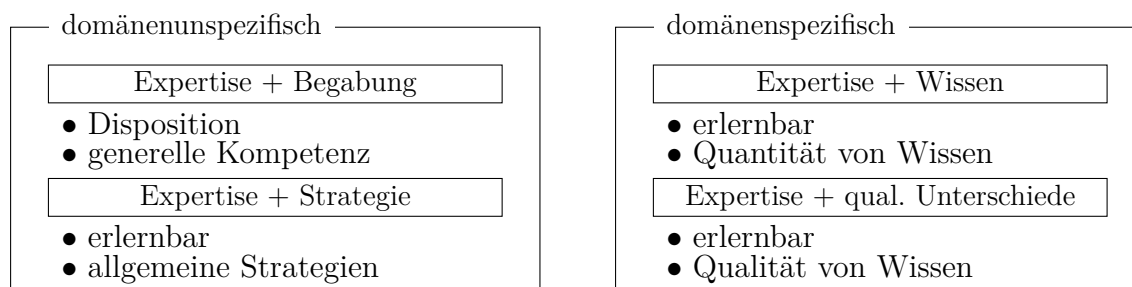


Abbildung 1.1.: Ansätze der Expertiseforschung nach Gruber (1994)

Im *domänenunspezifischen Ansatz* wurde Expertise als eine individuelle Auffälligkeit interpretiert, die sich entsprechend auf (feste) Dispositionen (z.B. Intelligenz oder Begabung) als Erklärung herausragender Leistungen bezog. Es wurde, auch im Rahmen der „Wunderkindforschung“, versucht, Experten eine ungewöhnliche Persönlichkeit und außergewöhnliche Fähigkeiten, über die eigene Domäne hinaus, nachzuweisen („*Expertise und Begabung*“). Diese Versuche scheiterten. Domänen-unspezifische Komponenten, wie zum Beispiel Vorstellungskraft, konnten die Expertise nicht hinreichend erklären. Als fruchtbarer erwies sich die Betrachtung von Expertise als erfolgreiches Problemlöseverhalten, das sich durch die Kenntnis und Meisterschaft weniger aber mächtiger heuristischer Strategien erklärt („*Expertise und Strategien*“). Hier zeichnet sich bereits die enge Verknüpfung von Expertiseforschung und der Forschung zum Problemlösen ab, die in Kapitel 2 weiter dargelegt wird.

Da festgestellt wurde, dass mit domänenunspezifischen Ansätzen, wie dem Vorhandensein allgemeiner Heuristiken, keine angemessenen Erklärungen für das Lösen von schwierigeren Problemen gefunden werden konnten, verschob sich der Fokus auf *domänenspezifische Ansätze*. Hier traten der Umfang des vorhandenen Vorwissens und die Erfahrung einer Person in den Vordergrund.

Zunächst wurde die rein quantitative Kumulation von Wissen als ange-

## 1.1. Begriffsbestimmung „Expertise“ und „Experte“

messene Erklärung von Expertise angesehen („*Expertise und Wissen*“). Es wurden verschiedene Mechanismen identifiziert (z.B. Chunking<sup>2</sup>), die Experten, im Gegensatz zu Novizen, das Anhäufen und Abrufen von Wissen erleichtern. Expertise ist demnach ein erlernbares Konzept.

Mit der Zeit geriet auch die Qualität der Wissensstrukturen in den Mittelpunkt der Betrachtung („*Expertise und qualitative Unterschiede*“). So konnte festgestellt werden, dass sich Wissensrepräsentationen von Experten und Novizen nicht nur in ihrer Quantität, sondern auch in ihrer Qualität unterscheiden (s.h. Kapitel 2.7.5).

\*

Die zentralen Begriffe der Expertiseforschung charakterisieren Personen, die aufgrund ihrer Leistungen in einer bestimmten Domäne als „Experten“ oder „Novizen“ bezeichnet werden. Trotz der Wichtigkeit dieser Begriffe ist eine domänenübergreifende, allgemeingültige Definition nur schwer zu erstellen und wird von vielen Autoren ausgespart. Posner (1988) und Krems (1994) gehen mit der Problematik so um, dass sie die übergreifende Eigenschaft eines Experten als eine Person, die auf einem Gebiet kontinuierlich sehr gute Leistungen, insbesondere beim Problemlösen, erbringt, in den Vordergrund stellen. Die Begriffe „Experte“ und „Novize“ erfahren erst in ihrer Gegenüberstellung Bedeutung, was die in Kapitel 1.2 vorgestellte Forschungsmethode des Experten-Novizen-Vergleichs unterstreicht. Das nächste Kapitel gibt einen Überblick über die verschiedenen Phasen und Herangehensweisen innerhalb der Expertisenforschung.

Durch die Ergebnisse kognitionspsychologisch ausgerichteter Forschung hat sich die Idee von (vorbestimmter) „Hochbegabung“ zu (erlernbarer) „Expertise“ gewandelt. Gruber & Mandl (1992) bezeichnen dies, durchaus provokant, als „*Der Experte hat den Begabten abgelöst.*“ (Gruber & Mandl, 1992, S. 59).

---

<sup>2</sup>Unter Chunking versteht man ein Zusammenfassen von einzelnen Informationseinheiten zu größeren Blöcken („Chunks“), um so die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses zu vergrößern, das i.d.R. eine Kapazität von 7 Informationseinheiten besitzt (s.h. Miller, 1956). Beispiel: Um sich die Zahlenkombination 1-4-9-2 kapazitätensparend merken zu können, fügt man sie zur Jahreszahl 1492 zusammen und belegt so nur einen Platz im Kurzzeitgedächtnis.

## *1. Expertiseforschung*

Damit ist die Entwicklung der Expertiseforschung sicher noch nicht abgeschlossen. Gruber & Ziegler (1996) bezeichnen sie als „expandierendes Forschungsgebiet der Psychologie“, da ein grundsätzliches Interesse an der Untersuchung herausragender menschlicher Leistungen besteht und sie nicht nur in der allgemeinen Psychologie Ergebnisse liefert, sondern auch in der Entwicklungspsychologie und der pädagogischen Psychologie Anwendung findet. Für die Fachdidaktik ist, nach Friege (2001), die Expertiseforschung als Bezugspunkt insofern relevant, als das Problemlösen ein zentraler Inhalt dieses Forschungsgebietes darstellt.

## 1.2. Der Experten-Novizen-Vergleich

Für die Untersuchung herausragender menschlicher Leistungen stehen verschiedene Forschungsmethoden zur Verfügung. Als offensichtliche Methode kann die Entwicklung von Expertise in Form von Längsschnittstudien untersucht werden. Hierbei wird die Leistung von ein und derselben Person zu verschiedenen Messzeitpunkten über einen längeren Zeitraum hinweg erfasst. Mit Hilfe dieser Methode lässt sich zwar die Entwicklung einer Person gut nachvollziehen, jedoch ist sie mit den üblichen Nachteilen verbunden (zeit- und materialintensiv, Schwund von Probanden, nachlassende Motivation), die die Durchführung von Längsschnittstudien unattraktiv macht, weshalb sich nur wenige Autoren dieser Methode bedienen (vgl. Gruber, 1994).

Eine Schwäche der Längsschnittstudie, die zeitintensive Beobachtung von Probanden, um eine Veränderung im Expertisegrad feststellen zu können, lässt sich mit Trainingsstudien umgehen. Diese bilden auch einen Längsschnitt ab, jedoch über einen viel kürzeren Zeitraum. Beobachtet werden hierbei nun keine „natürlichen“ Entwicklungen, sondern die Ergebnisse von (intensivem) Training (vgl. Gruber, 1994).

Der wohl am häufigsten verwendete Ansatz in der Expertiseforschung ist der kontrastive Experten-Novizen-Vergleich (vgl. z.B. Schultz & Lochhead, 1991; Gruber, 1994; Friege, 2001), der in den nächsten Abschnitten genauer vorgestellt wird.

Wie bereits in Kapitel 1.1 dargelegt, sind die Eigenschaften eines Experten im Gegensatz zu einem Novizen zu sehen. Ausgehend hiervon ist, nach Gruber (1994), der kontrastive Ansatz des „Experten-Novizen-Vergleichs“ eine gängige und zielführende Methode der Expertiseforschung. Der Experten-Novizen-Vergleich beruht auf der Annahme, dass die Unterschiede zwischen einzelnen Personen besonders da auffallen, wo sich Leistungen stark unterscheiden. Um Unterschiede zwischen Personen herauszuarbeiten, wird ein festes Item<sup>3</sup> vorgegeben, das von Personen mit vermeintlich

---

<sup>3</sup>Um Begrifflichkeiten klar voneinander abzutrennen wird im Folgenden unter einem „Item“ der kleinste Teil eines Messinstruments (z.B. zur Erfassung des Expertisegrades, der Problemlösefähigkeit oder des Selbstkonzepts) verstanden. „Problem“ und „Aufgabe“, die in anderen Zusammenhängen durchaus

## 1. Expertiseforschung

unterschiedlichem Expertisegrad bearbeitet wird. Gruber (1994) nennt drei grundlegende Ziele, die Studien mit kontrastivem Ansatz verfolgen: (1) Es sollen Unterschiede, aber auch Gemeinsamkeiten zwischen Experten und Novizen festgehalten werden. (2) Versuchsgruppen, die ein breites Leistungsspektrum aufweisen, können quasi als Querschnitt aufgefasst werden, um so ein Modell der Entwicklung von Expertise zu erstellen. (3) Es sollen Erklärungen für hohe Expertise und die Merkmale, durch die sich diese auszeichnet, gefunden werden.

Der Experten-Novizen-Ansatz beruht auf die Einteilung einer Population in Experten und Novizen. Wie diese Einteilung formal erfolgt, wird je nach Forschungsdesign unterschiedlich gehandhabt (vgl. Gruber, 1994). So teilen einige Autoren die Stichprobe anhand von formalen Kriterien ein. Chi et al. (1981) stellten in ihrer Untersuchung zum Unterschied zwischen Repräsentationen von Experten und Novizen (näheres s.h. Kapitel 2.7.5) Hochschullehrernde und Studierende der Physik einander gegenüber. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass die Einteilung recht augenscheinlich und einfach erfolgen kann. Jedoch wird durch formale Abschlüsse nicht zweifelsfrei festgestellt, dass auch tatsächlich expertenhafte Leistungen erbracht werden (können). Eine weitere Methode stellt die Einteilung anhand von (bereits erprobten) Leistungs- und Wissenstests dar. Es wird angenommen, dass der Expertisegrad hoch mit den Ergebnissen solcher Tests korreliert. Die Stichprobe kann nun anhand verschiedener Kriterien (Median, Rangfolge, maximale Trennung der Mittelwerte von Untergruppen) geteilt werden.

Wie der Expertisegrad, anhand dessen der kontrastive Vergleich stattfindet, bestimmt werden kann, hängt maßgeblich von der untersuchten Domäne ab. Friege (2001) hält hierzu fest, dass es in der Domäne Physik nicht ganz einfach ist, die Eigenschaften hoher Physikexpertise zu bestimmen. Als kleinster gemeinsamer Nenner lässt sich – analog zur Begriffsbestimmung von Krems (1994) (Kapitel 1.1.2) – der Erfolg beim Problemlösen nennen:

---

als Synonyme zu „Item“ zu gebrauchen sind, sollen hiervon als Fachbegriffe mit spezifischem Inhalt getrennt werden. Details s.h. Kapitel 2.

„Im Allgemeinen wird jedoch der Erfolg beim Lösen physikalischer Probleme als Kennzeichen hoher Expertise angesehen: '[...] the solving of problems is the preferred, almost universal, means of demonstrating mastery of physics' *Schultz & Lochhead (1991)*“ (Friege, 2001, S. 15)

Reinhold et al. (1999) bezeichnen Probleme aus Lehrbüchern, die typischerweise in der Ausbildung zum Fachmann eingesetzt werden, als angemessen, um als Items im Rahmen der Expertiseforschung eingesetzt zu werden. Auch in der vorliegenden Arbeit wird auf Probleme aus Lehrbüchern zurückgegriffen (mehr s.h. Kapitel 2.2).

Die Schwierigkeiten, die der Experten-Novizen-Vergleich mit sich bringt, hängen nun, wie Gruber (1994) darlegt, gerade mit den verwendeten Unterschieden zwischen Experten und Novizen und den grundlegenden Schwächen des Expertisebegriffs (s.h. Kapitel 1.1) zusammen. Ein wesentliches Problem des Experten-Novizen-Vergleichs stellen die verschiedenen Herausforderungen dar, die ein Item an Personen mit unterschiedlichem Expertisegrad stellt. Diese Problematik deckt sich mit den Schwierigkeiten, die sich bei der Unterscheidung zwischen „Problem“ und „Aufgabe“ nach Dörner (1976) ergeben (ausführlicher s.h. Kapitel 2.1.1). Für Experten, also Personen mit großem Wissen und viel Erfahrung, stellt beispielsweise ein Item, das über Routinen gelöst werden kann, keine Herausforderung dar („Aufgabe“). Das selbe Item kann für einen Novizen jedoch sehr fordernd sein („Problem“). Um zwischen den beiden Polen (zu einfach für Experten, zu schwierig für Novizen) zu vermitteln, werden in der Regel Items eingesetzt, die einen mittleren Schwierigkeitsgrad besitzen. Die Folge davon ist, dass Experten ihre Expertise nicht vollständig ausschöpfen müssen und Novizen trotzdem überfordert sein können.

Ein weiteres Problem liegt in der Relativität der Begriffe „Experte“ und „Novize“ (vgl. Gruber, 1994; Friege, 2001). Da ein absoluter Maßstab für Expertise in vielen Untersuchungen fehlt, ist es leicht möglich, dass ein Experte einer Studie A in einer Studie B nur zu den Novizen zählt. Das macht verschiedene Untersuchungen zur Expertise schwer vergleichbar, auch wenn sie sich auf dieselbe Domäne beziehen. Zudem liegt eine grundsätzliche Ein-

## 1. Expertiseforschung

schränkung bei der Vergleichbarkeit von Ergebnissen zur Expertise über verschiedene Domänen hinweg vor (s.h. Kapitel 1.1).

Letztendlich handelt es sich bei Studien mit Hilfe des Experten-Novizen-Vergleichs (wie bei allen Studien, die nicht als Experiment unter Laborbedingungen ablaufen) auch nur um Korrelationsstudien, die keine kausalen Aussagen über Voraussetzungen zum Experten ermöglichen. Unterschiede zwischen Experten und Novizen lassen sich nur vor einem Modell zur Entwicklung von Expertise interpretieren (s.h. Kapitel 1.3).

Neben den dargelegten Nachteilen bringt die Methode des Experten-Novizen-Vergleichs jedoch auch einige Vorteile mit sich, weshalb sie im Rahmen dieser Arbeit als grundlegende Methode eingesetzt wird. Gruber (1994) und Friege (2001) nennen die folgenden vorteilhaften Eigenschaften des Experten-Novizen-Vergleichs. (1) Es ist eine einfache und valide Zuteilung der Versuchsgruppen über die oben genannten Verfahren möglich. (2) Durch die vergleichsweise geringe Intervention wird die Expertiseentwicklung von Personen nicht beeinflusst. (3) Der direkte Vergleich von Personen höherer Expertise mit Personen niedrigerer Expertise ermöglicht die Formulierung und Überprüfung von Entwicklungsmodellen. (4) Studien sind nicht auf das Labor beschränkt, sondern können im „natürlichen Umfeld“ (beispielsweise in Schachclubs oder bei Studierenden der Physik) durchgeführt werden.

\*

Der Experten-Novizen-Vergleich ist die vorherrschende Forschungsmethode, um Expertise genauer zu untersuchen. Bei dieser Methode werden die Leistungen und Eigenschaften von Experten denen von Novizen gegenübergestellt, um durch die Unterschiede zwischen beiden Gruppen zu Erkenntnissen zu gelangen. Die Einteilung einer Population in Experten und Novizen kann aufgrund verschiedener Kriterien (z.B. formaler Bildungsabschlüsse, Erfolg beim Problemlösen etc.) erfolgen und hat einen möglichst hohen Kontrast beider Gruppen zum Ziel. Die später vorgestellte Studie zur Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen von Studierenden erfolgt nach einem Experten-Novizen-Vergleich, da die Vorteile (einfache Zuteilung der

## 1.2. *Der Experten-Novizen-Vergleich*

Versuchsgruppen, direkte Vergleichbarkeit von Personen mit hoher und niedriger Expertise, Rückgriff auf „natürliche Umfelder“) gegenüber den möglichen Nachteilen (mangelnde Vergleichbarkeit zu anderen Arbeiten, ggf. Über-/Unterforderung der Probanden) überwiegen.



### 1.3. Entstehung und Entwicklung von Expertise

Nicht alle Personen erreichen Expertise in einer Domäne. Einige der Einflussfaktoren auf unterschiedliche Expertiseentwicklung, sowohl die Geschwindigkeit der Entwicklung als auch den Grad der Expertise betreffend, werden in diesem Kapitel dargelegt.

Nach Mack (1996) lassen sich expertenhaften Leistungen durch gedächtnis- und motivationspsychologische Konstrukte erklären. Zur Untermauerung nennt er folgende Argumente (nach Schneider, 1992), die mit den Ansätzen zur Expertiseforschung (s.h. Kapitel 1.1.4) in Einklang stehen. So sind die Leistungen von Experten auf bereichsspezifische Fertigkeiten zurückzuführen und lassen sich nicht allein über angeborene Unterschiede erklären.

Nichtsdestotrotz spielen unterschiedliche Dispositionen (wie z.B. unterschiedliche Intelligenz) eine Rolle beim (zeitlichen) Verlauf der Entwicklung von Expertise. Mack (1996) nennt hierzu drei Expertiseerwerbsmodelle (s.h. Abbildung 1.2), die auf Forschung zur Berufsperformanzentwicklung bzw. Professionalisierung von Schmidt et al. (1988) zurückgehen.

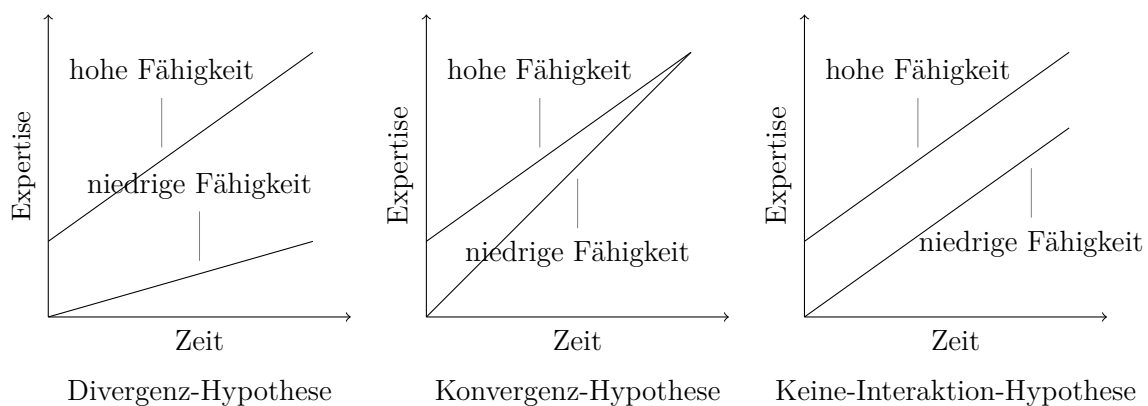


Abbildung 1.2.: Expertiseerwerbsmodelle in Anlehnung an Schmidt et al. (1988)

(1) *Divergenz-Hypothese*: Personen mit hohen Fähigkeiten haben (über die Zeit) einen größeren Zuwachs als Personen mit niedrigen Fähigkeiten. Diese Hypothese trifft vor allem in Bereichen des kumulativen Lernens (z.B. Schule und Universität) zu. (2) *Konvergenz-Hypothese*: Die anfänglichen Fähigkeitsunterschiede verlieren mit der Zeit an Bedeutung, der Effekt der zunehmenden Erfahrung ist größer. (3) *Keine-Interaktion-Hypothese*: Per-

sonen mit hohen und niedrigen Fähigkeiten profitieren gleichermaßen von Erfahrung. Unterschiedliche Fähigkeitsniveaus entsprechen unterschiedlichen Niveaus der Expertise. Es kann nicht eindeutig bestimmt werden, welche der Hypothesen für die Entwicklung von Expertise alleinig zutrifft. Es ist anzunehmen, dass alle drei zur Erklärung der Expertiseentwicklung beitragen.

Ergebnisse von Untersuchungen besonders herausragender Experten deuten darauf hin, dass jede Person eine persönliche Leistungsgrenze besitzt, ab der eine Steigerung der Leistungen nur noch schwer möglich ist. Gruber & Mandl (1992) bezeichnen dies anschaulich als „Leistungsasymptote“, deren Lage von dispositionalen Faktoren (wie beispielsweise Intelligenz oder körperlichen Faktoren) bestimmt wird.

Neben diesen kognitiven Anforderungen sind ausgiebiges Training und eine überdurchschnittliche intrinsische Motivation nötig, um Expertise zu erlangen. Der zeitlichen Rahmen der Entwicklung von Expertise hängt von der Komplexität der Domäne ab. Im Allgemeinen sind jedoch sehr lange Zeiträume bei der Entwicklung vom Novizen zum Experten zu erwarten – beim Schach und ähnlich komplexen Domänen wird von einem Zeitraum von zehn Jahren der intensiven Beschäftigung ausgegangen (vgl. Friege, 2001).

In den folgenden Kapiteln werden Ergebnisse zum Einfluss von kognitiven und nicht-kognitiven Faktoren auf den Erwerb von Expertise vorgestellt. Die verschiedenen Konstrukte werden jeweils zu Beginn der Kapitel kurz erläutert. Eine Zusammenfassung der Komponenten, die im Rahmen dieser Arbeit als Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen untersucht werden sollen, wird im Kapitel 2.7 mit ausgewählten domänenspezifischen Erkenntnissen verbunden.

#### 1.3.1. Intelligenz und Expertise

Auch wenn „Intelligenz“ ein weitverbreiteter Begriff in der Psychologie ist, gibt es nach wie vor keine allgemein akzeptierte Definition, jedoch stimmen Forscher über die Kernkomponenten von Intelligenz und die Art von Items,

## 1. Expertiseforschung

die Intelligenz gut erfassen und messen können, überein (vgl. Klauer & Leutner, 2010, S. 304).

Um „Intelligenz“ näher einzugrenzen, wird in der Intelligenzforschung auf faktorenanalytische Ansätze zurückgegriffen (Überblick: Klauer & Leutner, 2010). Basis dieser Ansätze ist der „g-Faktor“ nach Spearman (1923), der annahm, dass dieser Generalfaktor alle intellektuellen Leistungen erklären kann. Thurston (1938) entwickelte hieraus unabhängige Gruppenfaktoren (die „primary mental abilities“ PMA), welche verbales Verständnis, numerisches Verständnis, Gedächtnis, Wahrnehmungsgeschwindigkeit, räumliches Denken, verbale Flüssigkeit und „reasoning“ (Kombination aus induktivem und deduktivem Denken) beinhaltet. Vernon (1950) erstellte aus den oben genannten Faktoren ein hierarchisches Modell, das den g-Faktor an der Spitze sieht und ihm zwei weitere Gruppenfaktoren („praktisch-mechanisch“ und „verbal-schulisch“) unterordnet. Cattell (1971) vereinfachte diese neun Unterfaktoren auf zwei bis drei Faktoren – der kristallisierten und der fluiden Intelligenz (mit Abspaltung des räumlichen Denkens). Hierarchische Modelle haben viel Zustimmung gefunden und konnten (mit verschiedener Methodik) bestätigt werden.

Mack (1996) unterscheidet Intelligenz von Expertise, indem er das Intelligenz-Konzept als den Versuch beschreibt, allgemeine Fähigkeiten zu identifizieren, unabhängig von einem spezifischen Kontext. Expertise betont mehr die inhaltliche Seite, stellt das Wissen einer Person in den Vordergrund und ist somit immer domänenspezifisch.

Weiterhin lässt sich Intelligenz von Expertise durch die Vertrautheit von Items abgrenzen. Ist ein Item vertraut, kann es durch Wissensabruf gelöst werden (wenn viel Wissen vorhanden ist, kann von Expertise gesprochen werden) – es sind keine intellektuellen Prozesse (im engeren Sinne) notwendig. Intelligenz wird erst dann benötigt, wenn nicht auf eine „fertige“ Lösung im Gedächtnis zurückgegriffen werden kann (vgl. Klauer & Leutner, 2010).

Eine einfache und direkte Korrelation zwischen Intelligenz und Expertise ist problematisch und greift zu kurz. Schneider (1992) geht davon aus, dass nicht-kognitive Merkmale (wie z.B. Übung) wichtig für den Erwerb von Ex-

pertise sind und geringere intellektuelle Fähigkeiten kompensieren können. So schließt er aus Befunden der Hochbegabungsforschung, dass *„intellektuelle Hochbegabung weder als notwendige noch hinreichende Bedingung für außergewöhnliche Leistungsentwicklung gelten kann.“* (Schneider, 1992, S. 119). Er formuliert ein „Schwellenwert-Modell“, das die Überschreitung einer Schwelle basaler kognitiver und nicht-kognitiver Fähigkeiten als Voraussetzung für herausragende Leistungen sieht. Über diese Schwelle hinaus entscheiden dann mehr die nicht-kognitiven Aspekte, wie Engagement, Ausdauer oder Selbstkonzept, als kognitive Faktoren, wie beispielsweise Intelligenz, über die Ausbildung von Expertise. Komplexere Themenbereiche erhöhen die Lage der Schwelle.

Jedoch ist nach Mack (1996) die Schlussfolgerung, Intelligenz sei für Unterschiede von Leistungen nicht wichtig, voreilig, was er mit mehreren Argumenten untermauert.

Es können zwar Performanzunterschiede auf eine unterschiedliche Menge von Wissen zurückgeführt werden. Sternberg (1982) hält dies jedoch für nicht bedeutsam – die eigentliche Frage ist, woher die Unterschiede in Menge und Vernetzung des Wissens kommen. Auch ist die Untersuchung, wie sich unterschiedliche Intelligenz auf Expertise auswirkt, schwierig, da in vielen Untersuchungen die Intelligenz nicht genügend variiert (vgl. Schneider, 1992). Beispielsweise sind ausgebildete Physiker in der Regel intelligenter als der Durchschnitt. Der Einfluss von Intelligenz nimmt, nach Mack (1996), mit der Komplexität der Domäne ab – sind nur einfache Gedächtnisaufgaben zu lösen, ist Intelligenz wichtiger als bei einer komplexen Physikaufgabe, bei der der Kontext berücksichtigt werden muss. Ebenfalls verweist er auf das oben genannte „Schwellenwert-Modell“ nach Schneider (1992).

Die Untersuchungen von Friege (2001) bestätigt die Annahme, dass Intelligenz kein guter Prädiktor für die Problemlöseleistung ist, insbesondere im Vergleich zum domänenspezifischen Wissen.

Als Fazit aus den Forschungsergebnissen lässt sich festhalten, dass Intelligenz zwar bei der Entstehung von Expertise eine wichtige Rolle spielt (Unterschiede in der Menge und Vernetzung von Wissen, Schwellenwert-

## 1. Expertiseforschung

Modell), jedoch eine zu geringe Voraussagekraft für die tatsächlich erreichte Expertise liefert, sodass in der empirischen Untersuchung auf die Erhebung von Intelligenz als Prädiktor für Expertise (bzw. den Erfolg beim Problemlösen) verzichtet wird.

### 1.3.2. Wissen und Expertise

Wie bereits weiter oben aufgeführt, stellt das Wissen, über das eine Person verfügt, eine wichtige Grundlage für den Erwerb von Expertise dar. Hierbei müssen Art und Umfang sowie die Nutzung des Wissens beachtet werden (vgl. Rothe & Schindler, 1996).

Unter „Wissen“ versteht man nach Wirtz & Strohmmer (2013, S. 1673) eine „*kognitive Repräsentation von Gegenständen*“. Hierbei wird zwischen deklarativem Wissen (Repräsentation von Sachverhalten), prozeduralem Wissen (Fertigkeiten und deren Ausübung), Heuristiken, Problemlösestrategien und der Kontrolle und Steuerung von Lern- und Denkprozessen (z.B. Gedächtnis und Schemata) unterschieden.

Für das Verhältnis von Wissen und Expertise ist die Entstehung und Einbettung von Wissen bedeutsam. Wissen existiert, nach Rothe & Schindler (1996), nicht nur „für sich“, sondern beeinflusst das Handeln einer Person. Da Wissen und seine Entstehung für das Verständnis von Expertise wichtig ist, verweisen Rothe & Schindler (1996) auf die verschiedenen Wissensquellen nach Klix (1992) (s.h. Abbildung 1.3).

(1) *Erbgut*: Angeborene Dispositionen beeinflussen, wie die Informationsaufnahme und -integration durch die Sinnesorgane erfolgen können. Für die Erklärung von expertenhaften Leistungen spielen angeborene Fertigkeiten eine nachrangige Rolle (vgl. Schwellenwert-Modell nach Schneider, 1992 sowie die Expertiseerwerbsmodelle nach Schmidt et al., 1988).

(2) *Individuelle Erfahrung*: Durch (wiederholte) Beobachtung und (wiederholte) Ausführung von Handlungen kann Wissen erworben werden. Betrachtet man die Entwicklungsgeschichte von Experten, kann man eine lange Dauer des Wissens-erwerbs feststellen. Verschiedene Autoren nennen unterschiedliche Zahlen, auch abhängig von der Domäne; z.B. tausende Stunden bei der Lösung von Aufgaben (s.h. Glaser, 1986) oder mehrere Stunden

### 1.3. Entstehung und Entwicklung von Expertise

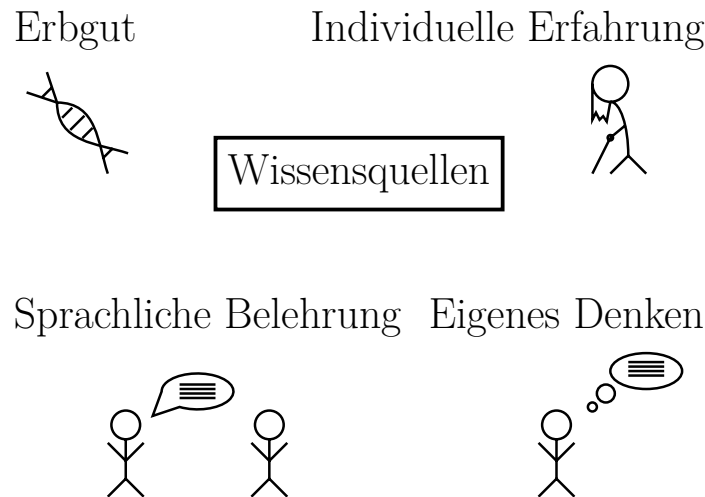


Abbildung 1.3.: Wissensquellen nach Klix (1992)

Übung pro Tag bei Musikern (s.h. Sloboda, 1991). Unklar ist, worin die Lernprozesse bestehen und wie sich diese bei der Entwicklung vom Novizen zum Experten äußern. Dreyfus & Dreyfus (1987) entwerfen ein fünfstufiges Modell, das die Entwicklung nach Ansicht von Rothe & Schindler (1996) gut erklärt. Es werden folgende Phasen beschrieben: Novizenphase, Phase fortgeschrittener Anfänger, Kompetenzphase, Gewandtheitsphase, Expertisephase. Während dieses Prozesses der Entwicklung zum Experten werden verschiedene Ziele verfolgt. Die Bedeutung von spezifischen Situationsmerkmalen soll (schneller und besser) adäquat beurteilt werden, um so mit komplexeren Situationen besser zurechtzukommen. Es findet eine Automatisierung von Entscheidungsprozessen und Handlungen statt, was ebenfalls die Handhabung komplexerer Situationen vereinfacht. Ein Problem dieser fünf Stufen ist die mangelhafte Abgrenzung zueinander – es lassen sich kaum qualitative Kriterien finden, die die Stufen klar voneinander trennen. Vielmehr ist von einem kontinuierlichen Wissenserwerb auszugehen.

(3) *Sprachliche Belehrung:* Beispielsweise in der Schule oder Universität stellt sprachliche Belehrung den „klassischen“ Zugang zu Wissen dar. Es werden Objekte, Ereignisse und deren Eigenschaften/gesetzmäßige Zusammenhänge benannt (z.B. „Die kinetische Energie eines Körpers berechnet sich nach  $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ .“). Ebenfalls werden Verhaltensprogramme oder Handlungen beschrieben (z.B. „Beim Problemlösen geht man am besten wie folgt vor...“), die jedoch die tatsächliche Ausführung nicht ersetzen

## 1. Expertiseforschung

können. Ein Problem der sprachlichen Belehrung ergibt sich aus diesem Sachverhalt – Rothe & Schindler (1996) halten hierzu fest, dass „*Schüler oder Studenten zwar oft über ein umfangreiches Wissen über Konzepte, Sachverhalte, Gesetzmäßigkeiten usw. verfügen, dieses Wissen aber nicht zur Lösung von Aufgaben und Problemen anwenden können*“ (Rothe & Schindler, 1996, S. 37). Wissen, das nicht zur Anwendung kommen kann, bezeichnet man als „träges Wissen“ (vgl. Renkl, 2010). Experten sind dadurch gekennzeichnet, dass sie ihr (umfangreiches) Wissen auch anwenden können.

(4) *Eigenes Denken*: Neues Wissen wird durch schlussfolgerndes und kreatives Denken aus bereits gespeichertem Wissen erzeugt. Dadurch werden höhere Leistungen als durch reine Belehrung ermöglicht, so dass dies als die wesentliche Wissensquelle für Experten anzusehen ist (vgl. Rothe & Schindler, 1996). Jedoch gibt es über solche Prozesse kaum wissenschaftliche Erkenntnisse.

Alle vier Wissensquellen tragen zur Entwicklung von Expertise bei. Wichtig hierbei ist, dass das Wissen nicht als „träges Wissen“ verbleibt, sondern aktiv in „bereichsspezifische Wissenskörper“ integriert wird (vgl. Rothe & Schindler, 1996).

Das durch die unterschiedlichen Quellen erworbene Wissen kann in verschiedene Typen unterteilt werden (s.h. Abbildung 1.4). Die Möglichkeit, die im Folgenden gewählt wird, ist die Klassifizierung nach strukturellen Merkmalen (vgl. Rothe & Schindler, 1996). Wie Süß (1996) anmerkt, ist die Unterscheidung in deklaratives und prozedurales Wissen (nach Ryle, 1969) in der Psychologie nicht unumstritten. Sie wird jedoch trotzdem gewählt, da diese Wissenstypen im Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001), das einen Teil des theoretischen Fundaments dieser Arbeit bildet (s.h. Kapitel 2.4.5), wesentlich sind.

*Deklaratives Wissen* („*knowing that*“ – wissen, dass...) bezeichnet das Wissen über Sachverhalte (z.B.  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  oder „Frösche gehören zu den Amphibien.“). Das Wissen ist bewusstseinsfähig und kann in symbolischer Form (verbal, grafisch) ausgedrückt werden (vgl. Süß, 1996). Es wird kein Verständnis vorausgesetzt.

### 1.3. Entstehung und Entwicklung von Expertise

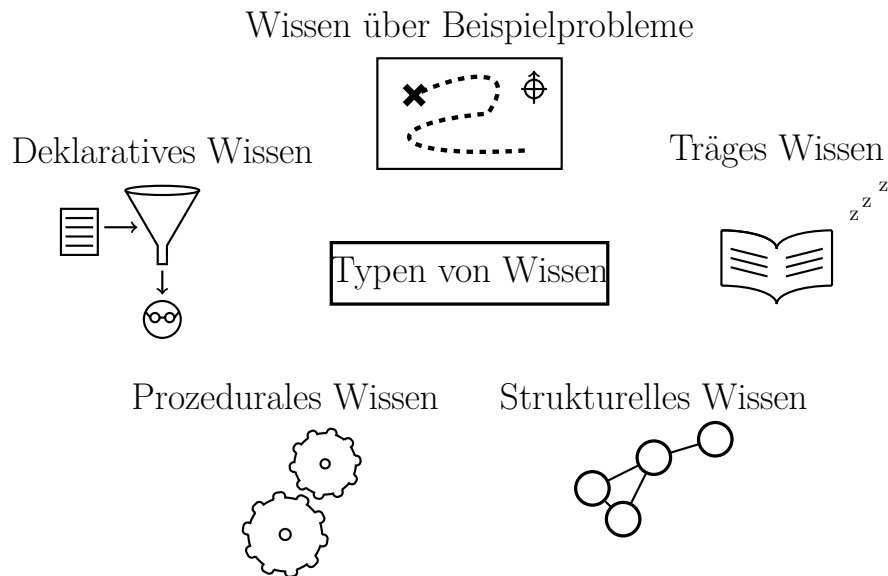


Abbildung 1.4.: Klassifizierung von Wissen nach strukturellen Merkmalen

*Prozedurales Wissen* („*knowing how*“ – wissen, wie... ) bezieht sich auf das Handlungswissen zur Lösung von Aufgaben oder Problemen (vgl. Rothe & Schindler, 1996) (z.B. „Wie stelle ich eine Gleichung um?“ aber auch „Wie geht Fahrradfahren?“). Im Gegensatz zum deklarativem Wissen ist das prozedurale Wissen nicht bewusstseinsfähig und zeigt sich nur in der Ausführung einer Handlung (vgl. Süß, 1996). Aus der Expertiseforschung ist bekannt, dass Experten ihr Wissen zum Teil prozedural speichern; deklaratives Wissen ist ein Bestandteil von Handlungsprogrammen, wie z.B. dem Ablauf von Eröffnungen beim Schach (vgl. Rothe & Schindler, 1996), was Handlungen schneller durchführbar und weniger fehleranfällig macht. Die Unterscheidung zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen deckt sich im Wesentlichen mit den Differenzierung zwischen „Wissen“ und „Können“ in der Alltagssprache (vgl. Süß, 1996).

*Strukturelles Wissen* („*knowing why*“ – wissen, warum...) ist das Bindeglied zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen. Nach Jonassen et al. (1993) stellt strukturelles Wissen die Basis des Verständnisses dar:

*„It is not enough to know that. In order to know how, you must know why. Sturctural knowledge provides the basis for why; it describes how the conceputal knowledge is interconnected.“*  
(Jonassen et al., 1993 zitiert nach Friege, 2001, S.51)



## 1. Expertiseforschung

„Es reicht nicht aus, zu wissen, dass [etwas so ist]. Um zu wissen, wie [etwas geht], muss man wissen, warum [etwas geht]. Strukturelles Wissen stellt die Basis für das Warum dar; es beschreibt, wie das konzeptuelle Wissen miteinander verbunden ist.“ (eigene Übersetzung)

Mit Hilfe des strukturellen Wissens können Muster und Beziehungen zwischen verschiedenen Konzepten erkannt und verstanden werden (z.B. Kräfte, die von punktförmigen Objekten ausgehen, gleichen sich in der Formelstruktur: Coulombkraft  $F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2}$  und Gravitationskraft  $F_G = \gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$ ).

*Wissen über Problemschemata und Beispielp Probleme:* Neben den zuvor diskutierten Wissenstypen führt Friege (2001) für sein Modell des wissenszentrierten Problemlösens (s.h. Kapitel 2.4.5) eine weitere Kategorie, das Wissen über Problemschemata, ein, das als domänenspezifisches Wissen für das Lösen von Problemen von Bedeutung ist.

Im Allgemeinen versteht man unter einem Schema „(1) die Vereinfachung durch Abstraktion vom Individuellen und Unwesentlichen sowie (2) die Betonung der Beziehung zwischen (auswechselbaren) Teilen, also der Struktur von Sachverhalten,, (Wirtz & Strohmeyer, 2013, S. 1356). Auf das Problemlösen in der Physik bezogen, beinhalten Problemschemata Wissensselemente im Umkreis einer Beispielaufgabe und fassen diese zu komplexen, geordneten Gruppierungen zusammen (vgl. Friege, 2001).

Das Wissen über Problemschemata und Beispielp Probleme bündelt zu typischen Situationen Handlungsanweisungen mit entsprechendem deklarativem Wissen. Ein Beispiel hierfür wäre das Problemschema „Energieerhaltung“, das auf eine breite Auswahl von Physikproblemen anwendbar ist und das Gleichsetzen von verschiedenen (Summen von) Energiearten beinhaltet. Wie man an diesem Beispiel sehen kann, beinhalten Problemschemata sowohl Informationen über die Problemklasse (etwas mit Energien) als auch über den geeigneten Lösungsweg (Gleichsetzen von Energien) (vgl. Friege, 2001).

Die Bedeutsamkeit von Beispielp Problemen für den Expertiseerwerb wurde in zahlreichen Studien aufgezeigt (vgl. Friege, 2001). So ist es nicht

verwunderlich, dass sowohl Experten als auch Novizen diese Beispiele zum Problemlösen heranziehen. Da Problemschemata aber weniger flexibel sind als Faktenwissen, muss jeweils ein „passendes“ Beispielproblem gefunden werden, was einen gewissen Transfer nötig macht. Experten fällt dies leichter, da sie zum einen mehr Beispielprobleme kennen und zudem einfacher Gemeinsamkeiten zwischen einem neuen Problem und den bekannten Beispielproblemen finden (s.h. auch Kapitel 2.7.5).

*Träges Wissen:* Vervollständigt werden die für die Entwicklung von Expertise relevanten Wissenstypen durch das träge Wissen. Nach Renkl (2010) besteht oft eine Diskrepanz zwischen dem eigentlich vorhandenen Wissen und dem gezeigten Verhalten. So kommt es vor, dass Personen ihr Wissen nicht anwenden. Dieses Wissen bezeichnet man als träges Wissen. So kommt es auch, dass die bloße Vermittlung von viel Fachwissen nicht zu einem hohen Expertisegrad führt – umfangreichen Wissen über Konzepte, Sachverhalte und Gesetzmäßigkeiten ist nicht hilfreich, wenn es nicht angewendet wird (vgl. Gruber & Mandl, 1996 oder Rothe & Schindler, 1996). Um das Wissen nutzbar zu machen, benötigt man zusätzlich Erfahrung (s.h. nächsten Abschnitt und Kapitel 1.3.3).

In der oben aufgezeigten Unterscheidung von Wissen anhand von strukturellen Merkmalen kommt den Erfahrungen einer Person, beispielsweise beim Wissen über Problemschemata, bereits implizit eine gewisse Bedeutung zu. Kolodner (1983) arbeitet die Wichtigkeit der Erfahrung bei den Unterschieden zwischen Experten und Novizen weiter heraus, indem er eine Unterteilung des Gedächtnisses in ein semantisches und ein episodisches Gedächtnis vornimmt. Demnach existiert ein *semantisches Gedächtnis* („semantic“ oder „generic memory“), in dem das (Fakten-) Wissen in einem hierarchischen Netzwerk angeordnet ist. Das semantische Gedächtnis ist von den Erfahrungen einer Person getrennt. Das *episodische Gedächtnis* („episodic memory“) einer Person hingegen beinhaltet ihre Erfahrungen als Verbindung zwischen Wissens-elementen. Elemente sind dann miteinander verbunden, wenn sie in einer gemeinsamen Erinnerungsepisode auftreten. Sind zwei Elemente miteinander verbunden, können sie leicht zusammen abgerufen werden. Das episodische Gedächtnis ermöglicht so Generalisie-

## 1. Expertiseforschung

rungen, die (1) die „Lagerung“ von Erinnerungen ökonomischer macht, (2) eine für die entsprechende Domäne angemessene Organisationsstruktur von Wissen schafft, was den Zugriff beschleunigt und (3) das Verstehen und Schlussfolgern zulässt. Wenn eine Erfahrung auf eine generalisierte Episode „passt“, so kann diese dazu benutzt werden, die neuen Episoden zu analysieren und auf sie zu reagieren (vgl. Kolodner, 1983).

Zur Erklärung der Unterschiede zwischen den Leistungen von Experten und Novizen hält Kolodner (1983) nun fest:

*„It implies that even if a novice and an expert had the same semantic knowledge (i.e. knew the same facts), the expert's experience would have allowed him to build up better episodic definitions of how to use it.“* (Kolodner, 1983, S. 499)

„Dies bedeutet, dass selbst wenn Novizen und Experten das selbe semantische Wissen besäßen (also die selben Fakten kennen würden), die Erfahrungen des Experten ihm den Aufbau einer besseren episodischen Abgrenzung zur Nutzung [der Fakten] ermöglichen würde.“ (eigene Übersetzung)

Die Erkenntnisse von Kolodner (1983) unterstreichen, dass Erfahrung für die Ausbildung von Expertise wichtig ist, was im nächsten Abschnitt genauer dargelegt wird.

### 1.3.3. Erfahrung und Expertise

Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits angeschnitten, ist die Erfahrung<sup>4</sup>, neben der Untersuchung des Wissens und Gedächtnisses von Experten, ein wichtiger Baustein zur Erklärung von Expertise (vgl. z.B. Gruber & Mandl, 1996), seit man sich von „Begabungsmodellen“ (s.h. Kapitel 1.1.4) gelöst hat. Jedoch kann nicht der einfache Zusammenhang *„investierte Zeit = Leistungsniveau“* (Gruber & Mandl, 1996, S. 19) genutzt werden, da dieser der Expertiseentwicklung nicht gerecht wird. Gruber & Mandl (1996)

---

<sup>4</sup>Statt „Erfahrung“ werden in den Literatur auch andere Begriffe verwendet, die aber in ihrer Bedeutung vergleichbar sind: Erfahrungswissen, Anwendungswissen, Handlungswissen, konditionalisiertes Wissen, tacit knowledge („stilles Wissen“), praktische Intelligenz oder praktisches Wissen (vgl. Gruber & Mandl, 1996).

haben einige Forschungsergebnisse zur Beziehung von Expertise und Erfahrung zusammengetragen, von denen Teile im Folgenden vorgestellt werden.

Eine Vorreiterrolle in der Expertiseforschung nimmt deGroot (1978) mit seinen Untersuchungen zur Expertise von Schachgroßmeistern ein. Er stellte fest, dass diese sehr gute Wahrnehmungs- und Erinnerungsfähigkeiten (auch bei kurzen Stimuli) haben, sich jedoch nicht in der Breite oder Tiefe des Nachdenkens<sup>5</sup> von anderen (ebenfalls starken) Spielern unterscheiden. Des Weiteren zeichnen sie sich durch gute Heuristiken bei der Zugwahl aus; wenn nicht genug „Argumente“ für einen Zug vorliegen oder mehrere Züge gleichwertige Ergebnisse liefern, bringen Meister ihre Intuition (die auf Erfahrung beruht) ins Spiel – und finden so den optimalen Zug. deGroot (1986) versuchte den Begriff der „Intuition“ besser zu fassen und definierte:

*„Intuition is a name for rule-based cognitive processing where the rules consist of generally valid experience-based heuristics, the details of which are not readily accessible to consciousness.“*

(deGroot, 1978, S. 73 zitiert nach Gruber & Mandl, 1996, S. 20)

Intuition ist eine Bezeichnung für auf Regeln basierende kognitive Prozesse, wobei die Regeln aus allgemeingültigen, erfahrungsbasierten Heuristiken bestehen, auf deren Einzelheiten nicht willentlich zugegriffen werden kann. (eigene Übersetzung)

Experten kennzeichnen sich nach den Untersuchungen von deGroot (1986) durch eine herausragende Intuition.

In Studien zum beruflichen Erfolg, die „praktische Intelligenz“ zum Forschungsgegenstand haben (z.B. Wagner & Sternberg, 1985), zeigten sich drei Ergebnisse: (1) Intelligenz ist nicht maßgeblich für den Erfolg, wenn ein Mindestmaß vorhanden ist (s.h. „Schwellenwert-Modell“ Kapitel 1.3.1); (2) Wissen aus der Schule bzw. Universität wird von den Untersuchungspersonen als nicht wichtig eingeschätzt; (3) von entscheidender Bedeutung ist das tacit knowledge („stilles Wissen“ – Erfahrungswissen) – dieses kann aber nicht explizit gelehrt werden und Experten können es oft nicht einmal

---

<sup>5</sup>Um beim Schach den nächsten Zug aus der Menge aller möglichen Züge auszuwählen, kann man in zwei Dimensionen vorausdenken. Die Breite gibt an, wie viele Figuren man in seine Überlegungen miteinbezieht. Die Tiefe gibt an, wie viele Züge man vorausdenkt.

## 1. Expertiseforschung

verbalisieren. Weitere Untersuchungen zum tacit knowledge (z.B. Wagner & Sternberg, 1986) zeigen, dass (1) der Umfang des tacit knowledge davon abhängt, wie viele Erfahrungen in einer Domäne gemacht wurden. Darüber hinaus ist (2) nicht nur die Menge der Erfahrung wichtig, sondern was daraus gelernt wurde (es gibt auch Personen mit viel Erfahrung, die ein schlechtes praktisches Wissen haben). (3) Es konnte jedoch keine bedeutsame Korrelation von tacit knowledge und traditioneller Intelligenz festgestellt werden. (4) Tacit knowledge ist aber für den beruflichen Erfolg bedeutsamer als traditionelle Intelligenz. (5) Untersucht man verschiedene Arten von tacit knowledge, so stellt man fest, dass diese hoch miteinander korrelieren – es gibt, analog zum g-Faktor, eine generelle praktische Intelligenz, den G-Faktor.

Gruber & Mandl (1996) weisen darauf hin, dass es trotz „Verwandtschaft“ der Begriffe zur Erfahrung nicht als eindeutig geklärt angesehen werden kann, wie Erfahrung genau die Entwicklung zum Experten beeinflusst. Nichtsdestotrotz sehen sie es als entscheidend an, dass theoretisches Fachwissen und praktische Erfahrungen zum Erreichen von Expertise miteinander verbunden werden müssen.

### 1.3.4. Nicht-kognitive Komponenten und Expertise

Gruber & Mandl (1996) weisen, in Hinblick auf die Untersuchung von Klemp & McClelland (1986) zu Merkmalen erfolgreicher Manager, darauf hin, dass *„neben kognitiven Faktoren auch motivationale Komponenten, Selbstkonzeptvariablen u.a. zusammenwirken müssen, damit es zu erfolgreicher Entwicklung von Expertise kommen kann“* (Gruber & Mandl, 1996, S. 28). Auch Schneider (1992) unterstreicht die Bedeutung von Motivation für die Expertiseentwicklung – ohne diese führt auch eine erkannte „Begabung“ nicht zum Erfolg.

Interesse und Selbstkonzept werden im Rahmen der Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen als ausgewählte nicht-kognitive bzw. emotional-kognitive Einflussfaktoren in Kapitel 2.7 beleuchtet und dort auch näher vorgestellt.

\*

In diesem Kapitel wurde vorgestellt, wie sich Expertise entwickelt und auf welche Komponenten die unterschiedlichen Ergebnisse von Experten und Novizen zurückzuführen sind.

So ist *Intelligenz* keine hinreichende Bedingung für das Erreichen von Expertise. Wie Schneider (1992) mit seinem „Schwellenwert-Modell“ deutlich macht, ist eine gewisse „Grundintelligenz“ zwar nötig, jedoch können geringere kognitive Voraussetzungen durch Wissen oder Motivation kompensiert werden. Durch die daraus resultierende geringe Voraussagekraft wird im Rahmen dieser Arbeit auf eine Erhebung von Intelligenz als Prädiktorvariable verzichtet.

Als wichtiger für den Erwerb von Expertise ist das *Wissen* in seinen verschiedenen Ausprägungen anzusehen. Der besonderen Stellung von Wissen als Basis von Expertise wird in der Auswahl des Modells des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (2001) Rechnung getragen, das in Kapitel 2.4.5 vorgestellt wird. Zudem wird das domänenspezifische Wissen als Prädiktor für die Problemlösefähigkeit erhoben.

Die *Erfahrung* und *nicht-kognitive Komponenten* wie Interesse und Selbstkonzept stellen weitere Faktoren dar, die Experten von Novizen unterscheiden. Es wird, ausgehend von der Annahme, dass erfolgreiches Problemlösen ein Zeichen von Expertise ist, angenommen, dass erfolgreiche und nicht erfolgreiche Problemlöser sich in ihrer Erfahrung und den nicht-kognitiven Faktoren unterscheiden.

### 1.4. Zusammenfassende Betrachtungen zur Expertiseforschung

Im Rahmen der Zusammenfassung werden die wesentlichen Erkenntnisse über die Expertiseforschung aus den vorangegangenen Kapiteln dargelegt und ihre Bedeutung für die hier vorgestellte Arbeit aufgezeigt.

Der Grund für die Aufnahme der Expertiseforschung in den theoretischen Rahmen dieser Arbeit ist die Tatsache, dass der Experte im Allgemeinen über gute Leistungen auf einem Gebiet charakterisiert wird, was sich im Speziellen durch das erfolgreiche Lösen von domänenspezifischen Problemen zeigt (s.h. Kapitel 1.1). Problemlösen ist somit ein Teilgebiet der Expertiseforschung, was letztere zum Teil des theoretischen Fundaments der vorliegenden Arbeit macht.

Es sind nicht alle Erkenntnisse aus der Expertiseforschung als unmittelbar relevant für das eigentliche Forschungsvorhaben – das Aufstellen eines Modells zu den Einflussfaktoren für erfolgreiches Problemlösen – anzusehen. Jedoch besitzen insbesondere die Ergebnisse über die Entstehung und Entwicklung von Expertise Relevanz, da das erfolgreiche Lösen von domänenspezifischen Problemen ein Kennzeichen von Experten ist. So können die Erkenntnisse über die Bedingungen von expertenhaften Leistungen auf das Problemlösen übertragen werden. Wie später in Kapitel 2.7 dargelegt, sind die beim Erwerb von Expertise als grundlegend angesehenen Faktoren (vor allem Wissen, Erfahrung, Selbstkonzept) auch für erfolgreiches Problemlösen als verantwortlich anzusehen. Die Erkenntnisse der Expertiseforschung unterstützen somit die Auswahl geeigneter Faktoren zur Aufstellung eines Modells zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen.

Insbesondere das vorhandene Wissen bestimmt die Erklärung von Expertise. Wie in Kapitel 2.7.1 noch diskutiert wird, ist das Fachwissen auch für das Zustandekommen von erfolgreichem Problemlösen verantwortlich. Der Bedeutung des Wissens wird unter anderem dadurch Rechnung getragen, dass das Modell des „wissenszentrierten Problemlösens“ (s.h. Kapitel 2.4.5) als Basis zur Beschreibung des Problemlöseprozesses innerhalb dieser

#### *1.4. Zusammenfassende Betrachtungen zur Expertiseforschung*

Arbeit gewählt wird. Das Modell beschreibt unter anderem die Verbindung der verschiedenen Wissensarten (s.h. Kapitel 1.3.2) für das Problemlösen.

Neben den Faktoren, die zur Aufstellung eines Modells zur Erklärung erfolgreichen Problemlösens beitragen, kann als weitere Erkenntnis aus der Entwicklung von Expertise abgeleitet werden, dass Intelligenz in gewissem Maße zwar eine notwendige (vgl. Schwellenwert-Modell 1.3.1), jedoch keine hinreichende Bedingung für das erfolgreiche Problemlösen ist. Zwar beeinflusst Intelligenz sicher den Erwerb von Expertise (vgl. Expertiseerwerbsmodelle 1.3), jedoch besitzt sie keine direkte Voraussagekraft auf den Erfolg beim Problemlösen, da sie durch Wissen oder Motivation kompensiert werden kann. Deshalb wird im Rahmen dieser Arbeit auf die Betrachtung von Intelligenz als Prädiktor für erfolgreiches Problemlösen verzichtet.

Durch die Einschätzung von erfolgreichem Problemlösen als Zeichen für Expertise kann auf den Experten-Novizen-Vergleich (s.h. Kapitel 1.2) als grundsätzliche Forschungsmethode zurückgegriffen werden. Hierdurch lassen sich, wie in zahlreichen Arbeiten gezeigt (vgl. z.B. Larkin et al., 1980b; Chi et al., 1981; Friege, 2001), die Problemlösefähigkeiten von Experten und Novizen gut und einfach gegeneinander abgrenzen. Die Bildung von Gruppen, deren Problemlösefähigkeit sich stark voneinander unterscheidet („Experten“ vs. „Novizen“), ist eine sinnvolle Ergänzung zur Aufstellung eines Modells zur Erklärung erfolgreichen Problemlösens – es können so auch Unterschiede zwischen Experten und Novizen hinsichtlich anderer Faktoren (z.B. Fachwissen) aufgezeigt werden.

Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass die Aufnahme der Expertiseforschung in den theoretischen Rahmen der hier vorliegenden Arbeit neben den Betrachtungen zum Problemlösen (Kapitel 2) eine logische und fruchtbare Verbindung von Forschungsfeldern ist. Es werden sowohl Anhaltspunkte für geeignete (und ungeeignete) Faktoren zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen gefunden als auch die praktikable Forschungsmethode des Experten-Novizen-Vergleichs aufgezeigt.



## 1. *Expertiseforschung*

## 2. Problemlösen

Problemlösen ist in allen Bereichen des Lebens bedeutsam: innerhalb des schulischen und universitären Kontextes beim Lernen und bei der Leistungsüberprüfung, in internationalen Schulleistungsstudien (wie TIMSS oder PISA), aber auch in außerschulischen Bereichen, sowohl bei einfachen Alltagssituationen (wie komme ich am schnellsten von A nach B) als auch bei gesellschaftlich relevanten politischen und ökonomischen Problemen. Funke (2003) fasst dies treffend zusammen: *„Es gibt eigentlich kaum einen Bereich menschlichen Lebens, in dem Problemlösen nicht bedeutsam wäre!“* (Funke, 2003, S. 13).

Die vorliegende Arbeit untersucht einen kleinen Teilbereich aus der Fülle von möglichen Forschungsgebieten – den Erfolg von Studierenden beim Problemlösen im Bereich der Physik. In den folgenden Kapiteln werden die theoretischen Grundlagen zum Problemlösen dargelegt, die aufgrund der Tatsache, dass erfolgreiches Problemlösen als Indiz für Expertise in einer Domäne gilt, eng mit denen der Expertiseforschung aus dem vorangegangenen Kapitel verknüpft sind.

Zunächst wird der Begriff des „Problems“ näher eingegrenzt (Kapitel 2.1, 2.2 und 2.3), danach wird ein Überblick über verschiedene Modelle aus unterschiedlichen Forschungsperspektiven zum Problemlöseprozess gegeben (Kapitel 2.4) und eine darauf aufbauende in dieser Arbeit verwendete Strukturierung vorgestellt (Kapitel 2.5). Das physikalische Problemlösen wird daraufhin mit dem Modellieren sowohl in der Physik als auch in der Mathematik in Beziehung gesetzt (Kapitel 2.6). Abgeschlossen wird das Kapitel durch die Vorstellung der in dieser Arbeit näher untersuchten Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen und allgemeine Unterschiede zwischen Experten und Novizen (Kapitel 2.7).

### 2.1. Begriffsbestimmung „Problem“

Eine der größten Schwierigkeiten der Forschung zum Problemlösen ist eine mangelnde Exaktheit der verwendeten Begriffe. So werden Begriffe wie „Experte“, „Novize“, „Problem“ oder „Problemlösen“ in vielen Untersuchungen unterschiedlich verwendet oder sind unzureichend eingegrenzt (vgl. z.B. Smith, 1991a; Maloney, 2011). Die Begriffe des Experten und des Novizen wurden im Kapitel 1.1 geklärt. Im Folgenden werden die Begriffe zum Problemlösen näher beleuchtet.

#### 2.1.1. Definition „Problem“ nach Dörner

Um zu einer Begriffsbestimmung von „Problem“ zu gelangen, wird in der deutschsprachigen Literatur häufig auf die Definition von Dörner (1976) verwiesen (z.B. Friege, 2001; Funke, 2003; Wirtz & Strohmer, 2013). Nach dieser steht eine Person einem Problem gegenüber, wenn drei Komponenten vorhanden sind: (1) *Unerwünschter Anfangszustand*: Eine Person befindet sich in einem (inneren oder äußeren) Zustand, den sie als nicht wünschenswert empfindet. (2) *Erwünschter Endzustand*: Es existiert ein erwünschter Zustand, den die Person gerne erreichen würde. (3) *Barriere*, die die Transformation von (1) nach (2) verhindert: Die Person verfügt aber nicht unmittelbar über die Mittel, den erwünschten Endzustand zu erreichen, weil die Mittel unbekannt sind, es zu zahlreiche Möglichkeiten gibt oder der Endzustand nicht wohldefiniert ist. Dörner (1976) grenzt explizit *Aufgaben* von Problemen ab. Für ihn kennzeichnet eine Aufgabe, dass für sie keine Barriere vorhanden ist, sondern die Methoden, die zur Lösung benötigt werden, bekannt sind.

Die Definition nach Dörner (1976) schließt sich einer Reihe von sogenannten „Gap“-Definitionen an (z.B. Newell & Simon, 1972; Woods et al., 1978; Hayes, 1981), welche die Lücke („Barriere“ oder „Entfernung zwischen Problem und Löser“) in den Vordergrund stellen und nicht das Item an sich (vgl. Smith, 1991a). Funke (2003) sieht als Gemeinsamkeit aller Definitionen die Suche nach der Lösung als zentrale Eigenschaft eines Problems.

Durch die Fokussierung auf die Lücke ergibt sich jedoch das Problem, dass es von der jeweiligen Person abhängt, ob ein Item noch eine Aufgabe oder schon ein Problem ist. Dies würde, wie Smith (1991a) zudem anmerkt, die Forschung zum Problemlösen sehr einengen, da nun viele Items, z.B. aus typischen Unterrichtssituationen, nicht mehr als Problem betrachtet werden können, sondern aufgrund ihrer Wohldefiniertheit „nur“ Aufgaben wären. Nichtsdestotrotz werden Items, die per definitionem formal als Aufgaben betrachtet werden müssten, in die Forschung zum Problemlösen miteinbezogen. Hinzu kommt, dass „Gap“-Definitionen ein „floating“ assessment“ erfordern – es entscheidet sich nicht nur je nach Person, ob es sich um eine Aufgabe oder ein Problem handelt, sondern dies kann sich auch für ein und dieselbe Person ändern (vgl. Smith, 1991a). Eine Operationalisierung würde dadurch erschwert.

Daneben ergeben sich weitere Schwierigkeiten aus dem „unerwünschten Anfangszustand“. Bei der Person, die ein Item bearbeitet, muss der Wunsch vorhanden sein, die dort beschriebene Situation zu lösen, damit es sich um ein Problem handelt. Für viele Items, besonders aus dem schulischen Umfeld, ist es fraglich, ob beispielsweise ein Schüler tatsächlich den „Wunsch“ besitzt, herauszufinden, nach wie vielen Sekunden ein Körper aus 100m im freien Fall den Boden erreicht. Ist der „Wunsch“ allerdings nicht vorhanden, handelt es sich formal nach der Definition von Dörner (1976) nicht um ein Problem.

Diese Problematiken wurden nun von Smith (1991a) aufgegriffen und zur Formulierung einer weiter gefassten Definition verwendet, die im nächsten Kapitel vorgestellt wird.

### 2.1.2. Definition „Problem“ nach Smith

Smith (1991a) nennt als grundlegende Problematik der „gap“-Definition, dass die Begriffe, mit denen die Lücke beschrieben werden können, nicht dichotom, sondern vielmehr als Kontinuum zu verstehen sind (s.h. Abbildung 2.1).

Somit erscheint es Smith (1991a) angemessen, auch das „Problem“ als

## 2. Problemlösen

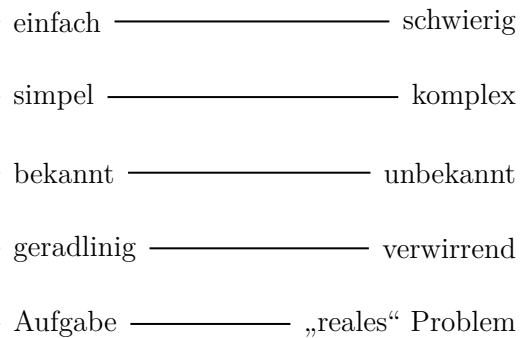


Abbildung 2.1.: Problemkontinuum nach Smith (1991a); eigene Übersetzung

ein Kontinuum zwischen „Aufgaben“ und „realen Problemen“ zu sehen. Hieraus ergibt sich folgende Definition:

*„A problem is any task that requires analysis and reasoning toward a goal (or 'solution'). This analysis and reasoning must be based on an understanding of the domain from which the task is drawn. A problem cannot be solved by recall, recognition or reproduction [...]. Whether or not a task is defined as a problem is not determined by how difficult or by how perplexing it is for the intended solver.“* (Smith, 1991a, S. 8; eigene Hervorhebungen)

Ein Problem ist jede Aufgabe, die das *Analysieren und Schlussfolgern* auf ein Ziel (oder eine 'Lösung') hin benötigt. Dieses Analysieren und Schlussfolgern muss auf einem *Verständnis der Domäne*, aus der die Aufgabe stammt, beruhen. Ein Problem *kann nicht durch Erinnern oder Reproduzieren gelöst werden* [...]. Ob es sich bei einer Aufgabe um ein Problem handelt oder nicht, ist nicht davon abhängig, wie schwierig oder verwirrend es für den vorgesehenen Löser ist. (eigene Übersetzung)

Zentral für die Praktikabilität dieser Definition ist, dass Smith (1991a) angibt, was ein Problem *nicht* ist und eine Einbeziehung des domänenspezifischen Verständnisses stattfindet. Die Betonung von domänenspezifischem Wissen deckt sich damit, dass innerhalb der Expertiseforschung oft (impli-

zit) die Definition von Smith (1991a) als Grundlage für die verwendeten Probleme herangezogen wird (vgl. Friege, 2001).

\*

Die Definition von Smith (1991a) ist sehr allgemein gehalten und schließt so eine große Menge von Situationen ein, die als „Problem“ bezeichnet werden können (s.h. auch Kapitel 2.2). Sie drückt die Gemeinsamkeiten der verschiedenen Definitionen aus, das was Funke (2003) als „Kondensat“ der verschiedenen Ansätze bezeichnet: die Suche nach der Lösung ist die zentrale Eigenschaft eines Problems. Die Probleme, die für diese Arbeit ausgewählt wurden, sind Probleme im Sinne der Definition von Smith (1991a). Es wird so sichergestellt, dass die Bezeichnung „Problem“ unabhängig von der zu bearbeitenden Person und ihrem Vorwissen ist.

Auf Basis der Definition von Smith (1991a) können Aufgaben aus Lehrbüchern verwendet werden, um einen Test zur Erfassung des Erfolgs beim Problemlösen zu entwickeln. Dies ist ein gängiges Vorgehen in der Forschung zur Expertise und zum Problemlösen (s.h. Kapitel 1; 2.2). Es wird hierbei auf sogenannte „wissenszentrierte Probleme“ fokussiert, deren Lösungsprozess gut durch das wissenszentrierte Problemlösen von Friege (2001) beschrieben ist (s.h. Kapitel 2.4.5), welches, wie in Kapitel 2.4.6 noch begründet wird, Teil des theoretischen Fundaments dieser Arbeit ist.

### 2.2. Einteilung von Problemen

Die Klassifizierung von Problemen ist im Rahmen der Forschung zum Problemlösen ein sinnvolles Mittel, um innerhalb der Vielzahl von möglichen Problemtypen eine gewisse Ordnung herzustellen und den Aussagebereich von Ergebnissen einzugrenzen (vgl. Funke, 2003). Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über mögliche Einteilungen von Problemen gegeben und die für diese Arbeit relevante Klassifizierung werden vorgestellt.

Die Einteilung kann beispielsweise durch die generellen Eigenschaften des Problems vollzogen werden (vgl. Maloney, 2011): z.B. Komplexität („einfach“ vs. „komplex“; mehr s.h. Kapitel 2.3), involvierte Wissensdomäne (keine, Physik, Mathematik etc.) oder Wohldefiniertheit, was besonders bei amerikanischen Autoren üblich ist (vgl. Funke, 2003). Es können auch verschiedene Typen gefunden werden, die sich über die oben genannten Eigenschaften hinaus grundsätzlich voneinander unterscheiden. Jonassen (2000) gibt zum Beispiel elf generelle Typen von Problemen an, die einen sehr breiten Bereich von Problemstellungen und Domänen abdecken – hierunter fallen Logikprobleme, eingekleidete Probleme, politische Analysen, Dilemmata etc.

Verbreitet ist ferner eine Klassifizierung anhand gewisser Dimensionen, was mit Hilfe von Mehrfeldtafeln geschieht. Im deutschsprachigen Raum wird in Bezug auf „klassische“ Probleme oft auf Dörner (1976) verwiesen, der, basierend auf seiner Definition (s.h. Kapitel 2.1.1), Probleme dahingehend einteilt, ob die Mittel und Zielsetzungen bekannt sind. Hieraus ergibt sich eine Vierfeldtafel (s.h. Tabelle 2.1), wobei die aufgeführten Dimensionen mehr als Kontinuum denn als voneinander scharf abgegrenzte Kategorien zu sehen sind (vg. Funke, 2003).

Bei Johnstone (1993) findet man eine schulnähere Einteilung von Problemen (ursprünglich aus der Chemie), die anhand der Dimensionen „Angaben“ (gegeben vs. nicht gegeben), „Mittel“ (bekannt vs. unbekannt) und „Ziele“ (gegeben vs. offen) unterscheidet und somit acht Problemtypen identifiziert. Johnstone (1993) merkt an, dass vor allem zwei Typen, die Kombinationen *gegebene Angaben – bekannte Mittel – gegebene Ziele* (d.h.

|                     | Mittel bekannt                                                                                                            | Mittel<br>kannt                                                | unbe-               |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Ziele klar</b>   | <i>Interpolation:</i> Finden einer richtigen Kombination von Operatoren. (z.B. Schach oder Turm von Hanoi)                | <i>Synthese:</i> kreativer Ideen. (z.B. aus Blei Gold machen.) | Einsatz<br>Lösungs- |
| <b>Ziele unklar</b> | <i>dialektisch:</i> Erst während der Bearbeitung werden die Ziele klar. (z.B. Was soll man mit einem Lottogewinn machen?) | <i>dialektisch + Synthese</i>                                  |                     |

Tabelle 2.1.: Einteilung von Problemen nach Dörner (1976) mit Beispielen von Funke (2003)

Erinnerung an einen Algorithmus) und *gegebene Angaben – unbekannte Mittel – gegebene Ziele* (Suche nach Parallelen zu bereits bekannten Methoden), im schulischen Kontext relevant sind.

Für die vorliegende Arbeit sollen Probleme (im Sinne der Definition von Smith, 1991a) aus Lehrbüchern eingesetzt werden. Die Auswahl an solchen Problemen ist in Untersuchungen zum Problemlösen, wie bereits im Kapitel 1.2 zur Expertiseforschung angerissen, weit verbreitet. Aufgaben aus Lehrbüchern besitzen die Eigenschaften „realer“ Probleme, sind aber gleichzeitig so komprimiert, dass sie für Forschungszwecke verwendet werden können (vgl. Larkin et al., 1980b). Insbesondere die Domäne der Mechanik, auf die auch die vorliegende Arbeit fokussiert, ist zur Untersuchung des Problemlösens in der Physik geeignet, da sie hinreichend repräsentativ für andere Themenbereiche der Physik ist und die Probleme, trotz ihrer Anforderungen an die Bearbeitenden, grundsätzlich simpel und wohldefiniert sind (vgl. Heller & Reif, 1984). Um zu einer Klassifikation der Probleme aus Lehrbüchern zu kommen, sind die oben genannten Herangehensweisen jedoch nur bedingt nutzbar, da sie zu weit vom schulischen bzw. universitären Kontext entfernt sind und entsprechend die Arten der dort vorkommenden Probleme nur unzureichend darstellen. Einzig das Vorgehen von Johnstone (1993) weist einen expliziten schulischen Bezug



## 2. Problemlösen

auf, jedoch sind auch hier die meisten Schulbuchprobleme lediglich zwei der möglichen acht Kategorien zuzuordnen.

Als nützlicher erweist sich die Einteilung von Friege (2001), welche sich explizit auf Probleme, wie sie in Lehrbüchern der Physik zu finden sind, bezieht. Die domänenspezifische Einteilung, die anhand der Anforderungen an das Wissen des Bearbeitenden geschieht, unterscheidet drei Typen von Physikaufgaben: (1) *Multiple-Choice-Aufgabe*: Bei diesem Aufgabentyp werden mehrere Lösungen zu einer Problemstellung vorgegeben. Hierbei müssen die Distraktoren gut gewählt sein, da es sich sonst um kein Problem im eigentlichen Sinne mehr handelt. Nichtsdestotrotz besteht eine gewisse Ratewahrscheinlichkeit, mit der die Aufgabe zufällig korrekt gelöst werden kann. (2) *Einsetzaufgaben*: Dieser Aufgabentyp ist in Lehrbüchern weit verbreitet. Es müssen nur wenige physikalische Wissensselemente bekannt sein (z.B. einzelne Formeln), um zu einer richtigen Lösung zu gelangen. Es wird wenig physikalisches Verständnis vorausgesetzt, da anhand der gegebenen Variablen einfach auf die nötige Formel geschlossen werden kann. Ein Beispiel für eine Einsetzaufgabe ist: „*Wie weit fällt ein Körper im freien Fall nach 10 Sekunden?*“. (3) *Wissenszentrierte Probleme*: Derartige Probleme (die diese Bezeichnung auch im Sinne der Definition von Smith (1991a) verdienen) benötigen die Kenntnis einer Vielzahl von physikalischen Wissensselementen. Es reicht nicht aus, die richtige Formel auszuwählen und gegebene Werte einzusetzen. Es müssen vielmehr verschiedene Größen und Konzepte miteinander in Beziehung gesetzt werden, um zu einer Lösung zu gelangen. Ein Beispiel für ein wissenszentriertes Problem, dessen Lösung im Kapitel 2.5 ausführlich beschrieben wird, ist: „*Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.*“ (Problem nach Sherin, 2001).

Die Einteilung von Friege (2001) stellt verkürzt dar, was Fischer & Draxler (2001) in ihrer Arbeit zur Beurteilung von Aufgaben darlegen. Naturwissenschaftliche (Schul-) Aufgaben lassen sich demnach über die in Tabelle 2.2 aufgelisteten Faktoren (Offenheit, Kompetenzstufe und Anforderungsmerkmale) klassifizieren. Neben den allgemeinen Merkmalen von

wissenszentrierten Problemen (s.h. mit \* markierte Anforderungsmerkmale in Tabelle 2.2) gibt die Zuordnung zu den Kompetenzstufen III, IV und V einen Hinweis auf die Schwierigkeit der verwendeten Probleme. Sie gehören dadurch zu den schwierigeren Aufgaben und es ist anzunehmen, dass sie, im Sinne eines Experten-Novizen-Vergleichs, auch bessere Problemlöser tatsächlich fordern und so eine Trennung der Population nach guten und schlechten Problemlösern ermöglichen.

|                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Offenheit</b>                                                                                                |
| Stufe 1 – Aufgabe lässt mehrere Lösungswege zu und schreibt weder direkt noch indirekt einen bestimmten Weg vor |
| Stufe 2 – Aufgabe lässt mehrere Lösungsmöglichkeiten zu und thematisiert einige Alternativen                    |
| Stufe 3 – Lösungsweg ist durch die Aufgabe vorgegeben                                                           |
| <b>Kompetenzstufen</b>                                                                                          |
| liefern einen deutlichen Hinweis auf die Aufgabenschwierigkeit                                                  |
| Stufe I – Anwenden naturwissenschaftlichen Alltagswissens                                                       |
| Stufe II – einfache Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene                                                 |
| Stufe III – Anwenden von Gesetzen und Faktenwissen                                                              |
| Stufe IV – Anwenden von Konzepten, Verfahren und Modellvorstellungen                                            |
| hinzu kommen additiv                                                                                            |
| Stufe V – Argumentieren und Problemlösen                                                                        |
| Stufe VI – Überwinden von Fehlvorstellungen                                                                     |
| <b>Anforderungsmerkmale</b>                                                                                     |
| 1. Kenntnis von Definitionen und Gesetzen*                                                                      |
| 2. Qualitatives Begriffsverständnis*                                                                            |
| 3. Rechenfertigkeiten*                                                                                          |
| 4. Interpretation von Diagrammen                                                                                |
| 5. Textverständnis*                                                                                             |
| 6. Visuelles Vorstellungsvermögen*                                                                              |
| 7. Fähigkeiten des Problemlösens*                                                                               |
| 8. Verständnis formalisierter Gesetze*                                                                          |
| 9. Verständnis für funktionale Zusammenhänge*                                                                   |
| 10. Verständnis für Alltagssituationen                                                                          |
| 11. Verständnis für experimentelle Situationen                                                                  |
| 12. Verständnis für symbolische Zeichnungen                                                                     |
| 13. Überwindung von Fehlvorstellungen                                                                           |
| 14. Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen                                                                        |
| 15. Kenntnis älterer Unterrichtsinhalte                                                                         |
| 16. Fähigkeit zur Kooperation                                                                                   |

Tabelle 2.2.: Beurteilung von Aufgaben nach Fischer & Draxler (2001)

## 2. Problemlösen

Um den Erfolg beim Problemlösen erfassen zu können, müssen geeignete Probleme ausgewählt werden, die der Definition eines „Problems“ (nach Smith, 1991a) entsprechen. Klassisches Vorgehen bei der Forschung zum Problemlösen (vgl. z.B. Larkin et al., 1980b; Heller & Reif, 1984; Friege, 2001) und zur Expertise (s.h. Kapitel 1.2), das auch dem Ziel der Untersuchung des Problemlösens im schulischen bzw. universitären Kontext genügt, ist die Wahl von Problemen aus Lehrbüchern der entsprechenden Domäne. Solche Probleme können, wie in diesem Kapitel dargestellt, am besten über die Klassifikation nach Friege (2001) beschrieben werden. Zur Konstruktion eines Problemlösetest wird auf *wissenszentrierte Probleme* zurückgegriffen. Solche Probleme zeichnen sich dadurch aus, dass sie nur durch die Kenntnis, Anwendung und Kombination verschiedener physikalischer Wissens Elemente gelöst werden können (sie passen somit sehr gut zur Definition eines „Problems“ nach Smith, 1991a). Zudem ist der Lösungsprozess von wissenszentrierten Problemen durch das Modell von Friege (2001) (s.h. Kapitel 2.4.5) theoretisch gut beschrieben und lässt sich – wie später dargelegt wird – gut operationalisieren.

## 2.3. Komplexe Probleme

Neben den im vorangegangenen Kapitel beschriebenen „einfachen“ Problemen<sup>1</sup>, stellt auch das komplexe Problemlösen einen gut untersuchten Forschungsgegenstand dar. In diesem Kapitel werden die Eigenschaften komplexer Probleme in Abgrenzung zu den im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendeten Problemen vorgestellt und die Auswahl „einfacher“ wissenszentrierter Probleme begründet.

Traditionell werden komplexe Probleme durch fünf Eigenschaften beschrieben, die im Folgenden vorgestellt werden (basierend auf Funke, 2003):

Komplexe Probleme sind dadurch charakterisiert, dass sie eine *Vielzahl von Variablen* (Komplexität) beinhalten, was eine Vereinfachung durch Reduktion auf das Wesentliche erfordert. Die bloße Anzahl der Variablen ist jedoch unzureichend, um komplexe Probleme adäquat zu beschreiben, auch wenn dies in vielen Untersuchungen als Komplexitätsmaß aufgeführt wird. Ausschlaggebender ist, wie die Variablen miteinander verknüpft sind. Liegt eine starke *Vernetztheit* und gegenseitige Beeinflussung der Variablen vor, muss vom Bearbeitenden ein Modell erarbeitet werden, das die Beziehungen zwischen den Variablen sichtbar macht. Die beiden Merkmale „Anzahl von Variablen“ und „Vernetztheit“ beschreiben nach Funke die strukturellen Aspekte des komplexen Systems und sind schwer voneinander zu trennen, weshalb Funke vorschlägt, diese beiden Aspekte unter dem Begriff der „Vernetztheit“ zusammenzufassen.

Die *Dynamik* ist ein weiteres wichtiges Merkmal von komplexen Systemen, das den prozessualen Aspekt des Systems beschreibt. Dynamische Systeme führen dazu, dass Eingriffe Folgen nach sich ziehen, die unter Umständen gar nicht beabsichtigt waren oder dass das System eine Eigendynamik entwickelt und auch ohne Eingriffe Veränderungen stattfinden. Zentral für einen Umgang mit Dynamik ist das Einbeziehen der Zeit, was

---

<sup>1</sup> „Einfach“ als Abgrenzung zu „komplex“ bezieht sich nicht zwingend auf die Schwierigkeit des Problems – zutreffender wäre eine Unterscheidung nach „statisch“ und „dynamisch“, die sich begrifflich jedoch nicht etabliert hat (vgl. Funke, 2003). Funke (2003) merkt zudem an, dass der etablierte Begriff des „komplexen“ Problemlösens etwas unglücklich gewählt ist, da nicht erwiesen ist, ob das Problemlösen tatsächlich komplexer ist als bei anderen Aufgaben. Die Komplexität bezieht sich vielmehr auf die Anforderungen an den Problemlöser, die höher sind, als bei „einfachen“ Problemen.

## 2. Problemlösen

bei den meisten Menschen zu den erkennbar größten Schwierigkeiten beim komplexen Problemlösen führt (vgl. Funke, 2003).

Die nächsten beiden klassischen Aspekte, Intransparenz und Polytelie (Viel-zieligkeit), sind nach Ansicht von Funke (2003) keine Merkmale des Systems, sondern hängen mit der Art der Aufgabenstellung zusammen. *Intransparenz* bedeutet, dass nicht alle zur Bearbeitung des Problems erforderlichen Informationen gegeben sind und erst „beschafft“ werden müssen. *Polytelie* bezieht sich auf die zu erreichenden Ziele, die intransparent und nicht fest gegeben sind. Dies erfordert ein Abwägen und Ausgleichen zwischen verschiedenen (eventuell widersprechenden) Zielen. Werden zu viele Optimierungskriterien miteinbezogen, kann das die Lösung unmöglich machen.

Zusammengefasst bleiben nach der Einteilung von Funke (2003) zwei charakteristische Aspekte komplexer Probleme übrig (Vernetztheit und Dynamik), die diese von „einfachen“ Problemen, wie beispielsweise wissenszentrierten Problemen, unterscheiden. Das deckt sich ebenfalls mit der vielzitierten Definition des komplexen Problemlösens (complex problem solving, CPS) nach Frensch & Funke (1995):

*„CPS occurs to overcome barriers between a given state and a desired goal state [...]. The given state, goal state and barriers between given state and goal state are complex, change dynamically during problem solving and are intransparent. The exact properties of the given state, goal state and barriers are unknown to the solver at the outset.“* (Frensch & Funke, 1995, S. 18)

Komplexes Problemlösen überwindet die Barrieren zwischen einem Ausgangszustand und einem gewünschten Ziel [...]. Der Ausgangszustand, das Ziel und die Barrieren zwischen beiden sind komplex, verändern sich dynamisch während des Lösens und sind intransparent. Die genauen Eigenschaften des Ausgangszustandes, des Ziels und der Barrieren sind dem Lösenden zu Beginn nicht bekannt. (eigene Übersetzung)

Um die Vernetztheit und Dynamik von komplexen Problemlöseszenarien adäquat zu beschreiben, ist der Einsatz von Computern unverzichtbar, da diese Eigenschaften nicht mit Papier-und-Bleistift-Tests dargestellt werden können. Das erklärt auch, warum der Forschungszweig des komplexen Problemlösens maßgeblich an den Zugang zu Großrechnern in den 1980ern gekoppelt war (vgl. Funke, 2003).

Als klassisches Beispiel aus dem deutschsprachigen Raum gilt das LOHHAUSEN-Szenario von Dörner (1981). Die Aufgabe bei diesem Szenario besteht darin, dass Versuchspersonen (Studierende) die Rolle des Bürgermeisters der Kleinstadt Lohhausen übernehmen und diese über einen szenariointernen Zeitraum von 10 Jahren leiten müssen. Hierbei müssen sowohl ökonomische Faktoren (Hauptwirtschaftszweig der Stadt ist eine Uhrenfabrik) als auch soziale, demographische und psychologische Variablen berücksichtigt und reguliert werden. Das Besondere an diesem Szenario ist die sehr hohe Anzahl von Variablen: das Gesamtsystem umfasst etwa 2000.

\*

Komplexes Problemlösen deckt einen realitätsnäheren Bereich von Problemen ab, als die in Kapitel 2.2 klassifizierten „einfachen“ Probleme. Die Szenarien sind dynamisch und weisen viele untereinander vernetzte Variablen auf, die von einem (intransparenten) Ausgangszustand in einen (intransparenten) Zielzustand transferiert werden sollen. Die verwendeten Situationen sind zwar näher am Alltag, sie sind durch ihre Komplexität jedoch schwerer zu vermessen und liefern oftmals aufgrund ihrer spezifischen Situation keine allgemeinen Theorien (vgl. Sternberg, 1995).

In dieser Arbeit wird auf die Untersuchung von komplexen Problemen verzichtet, da das Forschungsinteresse auf „einfache“ Probleme aus dem schulischen bzw. universitären Umfeld ausgerichtet ist. Probleme, die typischerweise in Schulbüchern zu finden sind, sind nicht komplex (im Sinne des komplexen Problemlösens) und lassen sich adäquater über die Beschreibung als wissenszentrierte Probleme fassen.

### 2.4. Modelle zum Problemlösen

Die Forschung zum Problemlösen kann auf eine lange Geschichte zurückblicken, die ihren Beginn bereits Anfang des 20. Jahrhunderts in der Gestaltpsychologie fand und seitdem in den unterschiedlichsten Bereichen der Lehr-Lernforschung aufgegriffen wird (vgl. Mayer, 1992). In diesem Kapitel werden ausgewählte Modelle zum Problemlösen vorgestellt (Überblick s.h. Tabelle 2.3), die aus unterschiedlichen Forschungsperspektiven und Domänen einen Blick auf die ablaufenden Problemlöseprozesse werfen – beginnend mit dem erziehungswissenschaftlichen Modell von Dewey (Kapitel 2.4.1), gefolgt von dem Modell des Mathematiklehrers Pólya (Kapitel 2.4.2), drei Modellen zum Problemlösen als Informationsverarbeitung (Kapitel 2.4.3), der Problemlösekompetenz nach PISA (Kapitel 2.4.4) und dem in der Physikdidaktik verorteten Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (Kapitel 2.4.5), das in entscheidendem Maße zur theoretischen Grundlage dieser Arbeit beiträgt und dessen Auswahl in Kapitel 2.4.6 näher begründet wird.

|                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Problemlösen nach Dewey (2002)</b>                            | Das Modell stammt aus dem erziehungswissenschaftlichen Umfeld und beschreibt einen Denkvorgang in fünf aufeinanderfolgenden Schritten. Das Modell ist deskriptiv und domänenunabhängig.                                                                                                                           |
| <b>Problemlösen nach Pólya (1985)</b>                            | „Grundmodell“ zum Problemlösen, auf das viele Arbeiten zurückgreifen. Es wurden vier Schritte („die Liste“) zusammengestellt, um Schülern Anweisungen für erfolgreiches Problemlösen an die Hand zu geben. Das Modell ist präskriptiv und auf die Domäne Mathematik bezogen.                                      |
| <b>Problemlöseprozess nach Newell &amp; Simon (1972)</b>         | Das Modell beschreibt den Problemlöseprozess im Rahmen von Informationsverarbeitungssystemen. Es ist domänenübergreifend für den Einsatz von Maschinenprogrammen (z.B. dem <i>Logic Theorist</i> oder dem <i>General Problem Solver</i> ) angelegt und zielt auf die Untersuchung der Lösung von Puzzles etc. ab. |
| <b>Problemlösen und Strategiewahl nach Larkin et al. (1980b)</b> | Es werden zwei Programme (Modelle) vorgestellt, die sich lediglich über ihre Strategiewahl zur Lösung (Rückwärtsverkettung vs. Vorwärtsverkettung) voneinander unterscheiden und trotzdem die Handlungen von Experten und Novizen in der Physik gut simulieren können.                                            |
| <b>Problemlösen und Metawissen nach Heller &amp; Reif (1984)</b> | Ziel des präskriptiven Modells ist die Erstellung eines Leitfadens für Schüler zur Lösung von physikalischen Problemen mit besonderem Fokus auf der Findung einer geeigneten Repräsentation.                                                                                                                      |
| <b>Problemlösekompetenz nach PISA</b>                            | Problemlösen im Sinne von PISA ist eine fächerübergreifende Kompetenz, die sich domänenunabhängig auf das Bearbeiten von Alltagsproblemen bezieht.                                                                                                                                                                |
| <b>Wissenszentriertes Problemlösen nach Friege (2001)</b>        | Das Modell fasst die Ergebnisse aus Expertiseforschung und anderen Modell zum Problemlösen zusammen und beschreibt den Prozess zur Lösung wissenszentrierter Probleme aus der Physik in vier Phasen. Das Modell wird als theoretische Grundlage der vorliegenden Arbeit verwendet.                                |

Tabelle 2.3.: Überblick über die vorgestellten Modelle zum Problemlösen



### 2.4.1. Modell des Problemlösens nach Dewey

1910 veröffentlichte John Dewey die Erstausgabe seines Buchs *How We Think*, das einen großen Einfluss auf die amerikanische Reformpädagogik hatte. Seine Arbeit kann als Beginn der Theorie zum „Problemlösen“ angesehen werden (vgl. Nachwort Dewey, 2002), weshalb im Folgenden die Grundzüge seiner Theorie vorgestellt werden. Das Buch beschäftigt sich im Allgemeinen mit der Untersuchung des (kritischen) Denkens, seiner Eigenschaften und seiner Konsequenzen für die Erziehung im schulischen Kontext.

Nach Dewey ist der Begriff des „Problems“ sehr weit gefasst. Er beinhaltet alles, was „*Unsicherheit erzeugt, erstaunt und zum Denken anspornt*“ (Dewey, 2002, S. 13), egal wie alltäglich dies ist. Als Beispiel nennt er die plötzliche Abkühlung der Luft und die Frage, was das bedeuten kann.

Um einen sogenannten „Denkakt“ – die Lösung eines Problems – zu analysieren, beschreibt Dewey drei beispielhafte Problemlösevorgänge, die sich in ihrer Komplexität unterscheiden. Hierbei ist er nicht auf eine Domäne beschränkt, sondern untersucht das Denken domänenübergreifend, um gemeinsame Strukturen aufzudecken.

*Fall 1 – Ein alltägliches Problem:* Jemand muss schnell zu einem Termin in einem anderen Stadtteil und überlegt, wie man mit verschiedenen Verkehrsmitteln am schnellsten bzw. noch rechtzeitig von A nach B kommt.

*Fall 2 – Zwischen einem alltäglichen und einem wissenschaftlichen Problem:* Jemand sieht eine für ihn seltsame Stange an einem Schiff und überlegt, wofür sie wohl gut sein kann.

*Fall 3: Ein wissenschaftliches Problem:* Jemand fällt das „seltsame“ Verhalten von Seifenblasen am Rand von auf dem Kopf stehenden warmen bzw. kalten Gläsern auf und er sucht nach einer Erklärung.

Allen drei Problemtypen gemein ist eine gewisse Herangehensweise, die Dewey in fünf „*logisch verschiedene*“ (Dewey, 2002, S. 56) Stufen unterteilt, die sich einerseits im Beobachten der Welt und andererseits im Denken verorten lassen (s.h. Abbildung 2.2). Die einzelnen Schritte werden im Folgenden vorgestellt.

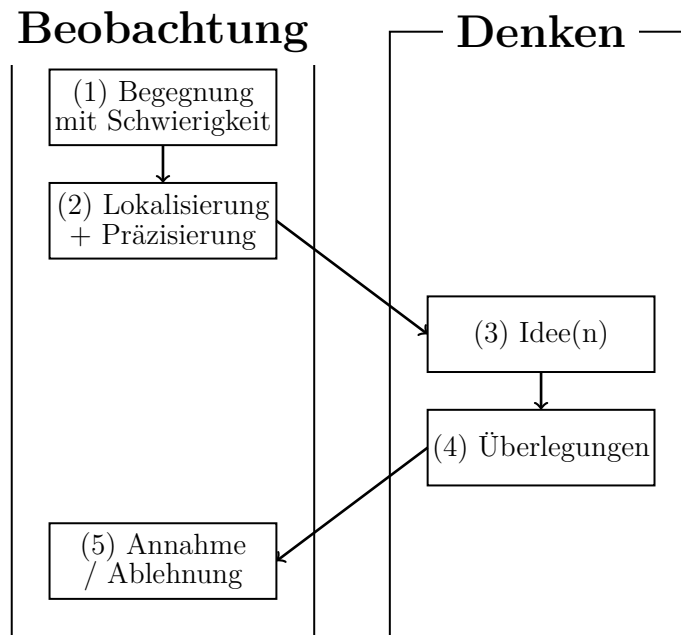


Abbildung 2.2.: Problemlöseprozess nach Dewey (2002)

(1) *Begegnung mit einer Schwierigkeit*: Zentral für diese Stufe ist die „Beunruhigung“ bzw. das Problem, ein Konflikt zwischen den gegebenen Verhältnissen und dem angestrebten Ergebnis. In allen drei der oben genannten Beispiele fehlen Zwischenschritte, welche die Ausgangssituation mit dem Ziel (das rechtzeitige Ankommen, die Erklärung für einen Sachverhalt) ohne Widerspruch verbinden. Die erste Stufe und die folgende zweite Stufe gehen oft ineinander über.

(2) *Schwierigkeit wird lokalisiert und präzisiert*: Diese Stufe ist maßgeblich dafür verantwortlich, ob das von Dewey angestrebte „kritische Denken“ bzw. die „echte Reflexion“ in einer Situation erreicht werden kann oder nicht. Das vorhandene Problem muss durch Beobachtung sorgfältig auf seine Eigenschaften hin untersucht werden, insbesondere wenn es sich um eine neue, gar „schockierende“ Situation handelt. Ohne genauere Beschäftigung mit der Problemsituation sind kritisches Denken, geprüfte Folgerungen und Beweise nicht möglich. So nennt Dewey als Beispiel einen Arzt, der ohne genauere Untersuchung eines Patienten nicht zu einer richtigen Diagnose kommen kann, da er möglicherweise wichtige Symptome übersieht.

(3) *Ansatz zu einer möglichen Lösung*: In diesem Schritt verlässt der

## 2. Problemlösen

Problemlöser die direkte Beobachtung und versucht darüber hinaus zu Erkenntnissen zu gelangen. Dewey schreibt, dass der Prozess des Denkens vom Gegebenen zum Nichtgegebenen immer spekulativ sei. Folgerungen über das direkt Wahrnehmbare hinaus sind „*ein großer Schritt, ein Sprung*“ (Dewey, 2002, S. 58), über dessen Genauigkeit keine Sicherheit besteht. Er bezeichnet solche Ansätze als „Idee“ (Synonyme hierfür: Annahme, Vermutung, Hypothese, Theorie). Vor einem endgültigen Schluss sollten weitere Beweise zur Idee gesammelt werden – hierbei ist es nützlich, mehrere Einfälle nebeneinander zu verfolgen, da die verschiedenen Ideen im nächsten Schritt auf ihre Richtigkeit geprüft werden.

(4) *Logische Entwicklung der Konsequenzen des Ansatzes*: Die Entwicklung der sich aus der Idee ergebenden Implikationen nennt Dewey „Überlegung“. Er sieht diese Überlegungen, analog zu der sorgfältigen Beobachtung aus Schritt (2), als essentiell für das kritische Denken. Nur durch sorgfältiges Nachdenken können Ideen überprüft und gegebenenfalls verworfen werden. Durch die Überlegung werden die fehlenden Zwischenschritte entdeckt, die die in Schritt (1) wahrgenommenen Widersprüche zwischen Ausgangssituation und Ziel in Einklang bringen können.

(5) *Annahme oder Ablehnung der gefundenen Lösung*: Im letzten Schritt wird versucht, die Idee durch das Experiment zu bestätigen – es findet nun wieder ein Rück-Schritt zur direkten Beobachtung statt. Der Abgleich mit der Realität ist notwendig, auch wenn man von der Wahrheit seiner Idee und der sich daraus ergebenden Konsequenzen überzeugt ist – bleiben diese, wie in Schritt (3) erläutert, nur spekulativ.

Dewey weist, in Hinblick auf den „erzieherischen Prozess“, darauf hin, dass die fünf Schritte keine starre und feste Vorgehensweise beschreiben, die in jedem Fall anzuwenden ist. Für ihn steht das individuelle Vorgehen im Vordergrund, das den Einzelnen dazu befähigt, mit „*disziplinierte[m] oder logisch geschulte[m] Denken*“ (Dewey, 2002, S. 60) situationsabhängig den erforderlichen Umfang der einzelnen Schritte einschätzen zu können.

Über die Darstellung zur Vorgehensweise zum Problemlösen hinaus betont Dewey die Wichtigkeit bereits gemachter Erfahrungen und erworbenen Wissens, da auf diese, beim Versuch ein Problem zu lösen, zurückgegriffen

wird. Er geht so weit zu sagen, dass „[w]enn ein Kind (oder ein Erwachsener) mit einem Problem beschäftigt ist, [...] es keinen Zweck [hat], zum Denken zu drängen, falls keine früheren Erfahrungen verfügbar sind, die teilweise gleichartige Bedingungen enthalten haben“ (Dewey, 2002, S. 15).

\*

Dewey's Modell des Problemlösens, das aus dem erziehungswissenschaftlichen Umfeld stammt, ist das älteste der hier vorgestellten Modelle. Es ergibt sich aus seiner kritischen Reflexion des Denkvorgangs und beschreibt die Schritte, die seiner Auffassung nach zu einem erfolgreichen Problemlöseprozess gehören. Es handelt sich demnach um ein deskriptives Modell. Es ist domänenübergreifend angelegt – Dewey (2002) macht sowohl in Alltagsproblemen als auch in physikalischen Problemen die gleichen Strukturen beim erfolgreichen Problemlösen aus.

In Hinblick auf die angestrebte Studie zur Untersuchung der Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen in der Physik ist dieses Modell nicht direkt nutzbar. Es werden zwar die wesentlichen Inhalte des Problemlösens beschrieben, allerdings liegt der eigentliche Fokus des Modells mehr auf der Erziehung zum Denken als auf dem erfolgreichen Problemlösen im Sinne des Findens einer Lösung. Darüber hinaus ist das Modell domänenübergreifend angelegt und lässt sich so nicht direkt auf die Domäne Physik übertragen. Jedoch zeigt es durch den domänenübergreifenden Ansatz die grundlegenden Gemeinsamkeiten der im Folgenden vorgestellten Modelle auf und dient beispielsweise beim Modell des wissenszentrierten Problemlösens als hinführendes Modell (vgl. Friege, 2001, S. 70).

### 2.4.2. Modell des Problemlösens nach Pólya

George Pólya veröffentlichte 1945 die erste Auflage seines Buches *How To Solve It*, in dem er eine systematische Hilfe zur Lösung mathematischer Probleme in Form von vier aufeinanderfolgenden Schritten beschreibt. Pólya war Mathematiklehrer und verarbeitete in seinem Buch sowohl seine eigenen Problemlöseerfahrungen als auch die Beobachtungen, die er bei der Arbeit mit Schülern machte. Die vier Phasen von Pólya beziehen sich zwar eigentlich auf Probleme in der Mathematik, jedoch kann dieses Vorgehen auch gut auf andere quantitative Domänen, wie beispielsweise die Physik übertragen werden. Die Arbeit von Pólya beeinflusste maßgeblich eine Vielzahl von Studien zum Problemlösen (s.h. z.B. PISA Kapitel 2.4.4; Wissenszentriertes Problemlösen Kapitel 2.4.5) und kann durchaus als „Basismodell“ zum Problemlösen angesehen werden.

Ausgangspunkt von Pólyas Arbeit ist eine in vier Phasen (s.h. Abbildung 2.3) gegliederte Zusammenstellung von Fragen und Handlungsanweisungen, die er als „die Liste“ bezeichnet (s.h. Tabelle 2.4). Die Liste zielt mit ihren Vorschlägen darauf ab, mentale Operationen, die Pólya hinter der Lösung eines Problems sieht, anzustoßen. Hierbei war es ihm wichtig, zwei Grundprinzipien – Allgemeinheit und gesunder Menschenverstand („*generality*“ und „*common sense*“) – zu beachten, die gewährleisten sollen, dass den Bearbeitenden nicht zu viel vorgegeben wird und sie auch von sich aus auf die entsprechenden Bearbeitungsschritte kommen könnten (vgl. Pólya, 1985).

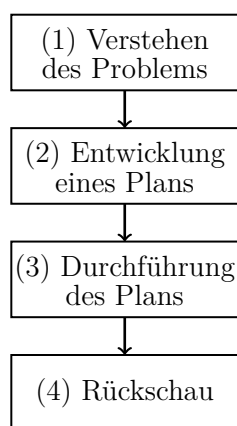


Abbildung 2.3.: Modell des Problemlösens nach Pólya (1985)

*Phase 1 – Verstehen des Problems:* Als erstes muss das Problem verstanden werden. Man muss erkennen, was gegeben und was gesucht ist. Die erste Hürde hierbei ist der verbale Ausdruck des Problems. Nach Pólya soll der Schüler nicht nur erkennen, was gesucht ist, sondern die Lösung auch „wollen“ (desire). Um Verständnis zu erreichen, sollte der Schüler das Problem aufmerksam und wiederholt und aus verschiedenen Standpunkten betrachten. Als hilfreich haben sich die Anfertigung einer Skizze und die Einführung einer geeigneten Notation (z.B. Beschriftung) erwiesen.

*Phase 2 – Entwicklung eines Plans:* Der Schritt vom Verstehen des Problems zur Entwicklung eines Plans zur Lösung wird von Pólya als der schwierigste beim Lösen eines Problems angesehen. Wichtig ist die entscheidende Idee zur Lösung – diese kann schrittweise erarbeitet werden oder aber, nach einer längeren unfruchtbaren Suche, plötzlich als „Geistesblitz“ auftreten. Die Fragen, die zur zweiten Phase in der Tabelle 2.4 zusammengefasst sind, sollen zu solchen Geistesblitzen hinführen. Als wichtig für gute Ideen im Allgemeinen sieht Pólya, ebenso wie Dewey (2002) im vorangegangenen Kapitel, das vorhandene Wissen an. Auch wenn das bloße Erinnern nicht ausreicht, wie in der Definition eines Problems nach Smith (1991a) (s.h. Kapitel 2.1.2), so kann ohne relevantes Faktenwissen keine gute Idee entstehen. Bereits bekannte Probleme sind ebenfalls nützlich, um auf den richtigen Weg zu kommen. Für Pólya steht dabei die Frage im Vordergrund, wie man aus der großen Menge der Probleme, die etwas mit dem jetzigen Problem zu tun haben (z.B. irgendetwas mit Dreiecken), das oder die wirklich nützlichen auswählen kann. Für eine geeignete Auswahl muss man das Problem genau untersuchen und Teilaspekte verändern (einige Fragen aus der Liste weisen genau darauf hin). Eine weitere vorgeschlagene Strategie ist das Aufstellen und Lösen von ähnlichen Problemen, die den Bearbeitenden in Teilaspekten weiterbringen können. Zusammengefasst hält Pólya fest, dass es in keinsten Weise einfach ist, einen guten Plan zur Lösung eines Problems zu entwickeln: Man braucht Wissen, gute mentale Fähigkeiten, Konzentration und auch Glück.

*Phase 3 – Durchführung des Plans:* Die eigentliche Durchführung des Plans ist nun wesentlich einfacher – Pólya geht soweit zu sagen, dass man

## 2. Problemlösen

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Erstens.</b><br>Du musst das Problem verstehen.                                                                                                                                                                                                                  | VERSTEHEN DES PROBLEMS (Understanding the Problem)<br><i>Was ist unbekannt? Was ist gegeben? Was sind die Randbedingungen?</i><br>Ist es möglich, die Randbedingungen zu erfüllen? Sind die Randbedingungen ausreichend, um das Unbekannte zu bestimmen? Oder reichen sie nicht aus? Oder sind sie redundant? Oder widersprüchlich?<br>Zeichne eine Skizze. Führe eine passende Notation ein.<br>Trenne die unterschiedlichen Teile der Randbedingung. Kannst du sie aufschreiben?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Zweitens.</b><br>Finde die Verbindung zwischen dem Gegebenen und dem Unbekannten. Vielleicht bist du gezwungen, Hilfsprobleme zu betrachten, wenn du keine unmittelbaren Verbindungen finden kannst. Du solltest schließlich einen Plan für die Lösung erhalten. | ENTWICKLUNG EINES PLANS (Devising a Plan)<br>Hast du dieses Problem schon einmal gesehen? Oder hast du es in einer etwas anderen Form gesehen?<br><i>Kennst du ein Problem, das mit dem jetzigen in Beziehung steht?</i> Kennst du einen Satz, der nützlich sein könnte?<br><i>Schau dir das Unbekannte an!</i> Versuche dich an ein dir bekanntes Problem zu erinnern, bei dem das Gleiche oder Ähnliches unbekannt ist.<br><i>Dies hier ist ein Problem, das mit deinem in Beziehung steht und das du bereits gelöst hast.</i> Kannst du das nutzen? Kannst du die Ergebnisse nutzen? Oder die verwendete Methode? Musst du einige Hilfselemente einführen, um es nutzen zu können? Kannst du das Problem neu formulieren? Kannst du es noch anders formulieren? Schau dir die Definitionen an.<br>Wenn du das Problem nicht lösen kannst, versuch zuerst ein paar ähnliche Probleme zu lösen. Kannst du dir ein zugänglicheres ähnliches Problem vorstellen? Ein allgemeineres Problem? Ein spezielleres Problem? Ein analoges Problem? Kannst einen Teil des Problems lösen? Behalte nur einen Teil der Randbedingungen und vernachlässige die anderen; inwieweit ist das Unbekannte nun festgelegt, wie kann es sich verändern? Kannst du etwas Nützliches aus den gegebenen Angaben ableiten? Kannst du dir andere gegebene Angaben vorstellen, die das Unbekannte angemessen bestimmen? Kannst du das Gegebene oder das Unbekannte oder beide, wenn nötig, ändern, sodass das neue Unbekannte und das neue Gegebene näher beieinander liegen?<br>Hast du alle gegebenen Angaben verwendet? Hast du alle Randbedingungen verwendet? Hast du alle wesentlichen Begriffe, die für das Problem relevant sind, in Betracht gezogen? |
| <b>Drittens.</b><br>Führe deinen Plan durch.                                                                                                                                                                                                                        | DURCHFÜHRUNG DES PLANS (Carrying out the Plan)<br>Führe deinen Plan zur Lösung durch, <i>prüfe jeden Schritt</i> . Kannst du klar sehen, dass jeder Schritt richtig ist? Kannst du beweisen, dass er richtig ist?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Viertens.</b><br>Prüfe die Lösung.                                                                                                                                                                                                                               | RÜCKSCHAU (Looking Back)<br>Kannst du <i>das Ergebnis überprüfen</i> ? Kannst du die Argumentation überprüfen?<br>Kannst du das Ergebnis anders erhalten? Kannst du das auf einen Blick sehen?<br>Kannst du das Ergebnis oder die Methode für andere Probleme nutzen?                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Tabelle 2.4.: „Die Liste“ – Modell des Problemlösens nach Pólya, 1985, S. xvi-xvii (eigene Übersetzung)

hierfür hauptsächlich Geduld benötigt. Als größte Fehlerquelle erweist sich seiner Ansicht nach die Tendenz von Schülern, ihren eigentlichen Plan zu vergessen. Darüber hinaus weist er darauf hin, dass Lehrer darauf bestehen sollten, jeden Schritt der Lösung zu überprüfen.

*Phase 4 – Rückschau:* Auch wenn dieser Schritt, wie Pólya anmerkt, von guten Schülern gerne übersprungen wird, bietet eine Rückschau auf das Problem weitere Lernmöglichkeiten. Es soll nicht nur überprüft werden, ob die Lösung korrekt ist, sondern darüber hinaus die Einbettung des Problems in den Gesamtzusammenhang untersucht werden. So können die Schüler nicht nur ihre Fähigkeiten zum Problemlösen festigen, sondern auch weitere Einsichten in den Fachzusammenhang gewinnen.

Abschließend gibt Pólya noch zu bedenken, dass seine Liste ausreichend für die Mehrheit einfacher Fälle ist, jedoch sicher noch verbessert werden kann.

\*

Pólyas Modell des Problemlösens gibt aufeinander aufbauende Schritte vor („die Liste“), deren Einhaltung und Durchführung seiner Erfahrung nach zu einer erfolgreichen Lösung eines Problems verhelfen. Es handelt sich somit um ein präskriptives Stufenmodell. Pólya war Mathematiklehrer, dementsprechend ist sein Modell auf die Domäne Mathematik ausgerichtet und liefert Handlungsanweisungen insbesondere für Schüler. Nichtsdestotrotz kann der Handlungsablauf gut auf andere Domänen übertragen werden: Die Struktur lässt sich domänenübergreifend wiederfinden und das Modell von Pólya wird in einigen Untersuchungen als Basismodell zum Problemlösen verwendet, beispielsweise bei PISA (s.h. Kapitel 2.4.4). Auch das Modell des wissenszentrierten Problemlösens (s.h. Kapitel 2.4.5) baut auf dem Modell von Pólya (1985) auf und passt es auf eine Verwendung in der Domäne Physik an. Das Modell von Pólya bildet somit indirekt die Grundlage der zur Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen verwendete Strukturierung des Problemlöseprozesses (s.h. Kapitel 2.5).



### 2.4.3. Problemlösen als Informationsverarbeitung

Studien, die seit den 1970ern durchgeführt wurden, betrachteten das Problemlösen als Informationsverarbeitung. Hierbei wurden die Prozesse untersucht, die ein „Informationsverarbeiter“ (Mensch oder Computer) bei der Umwandlung einer Problemstellung in eine interne Repräsentation und bei der Entwicklung und Durchführung der Schritte zur Lösung vollzieht (vgl. Maloney, 1994). Modelle aus der Informationsverarbeitung liefern vor allem Ergebnisse darüber, wie gewisse Teile des Problemlösens strukturiert sind oder nachgebildet werden können und weniger darüber, wie der komplette Problemlöseprozess strukturiert ist. Um das Problemlösen zu erforschen, werden überwiegend Computeranalogien oder Computermodelle eingesetzt. Man unterscheidet zwei komplementäre Herangehensweisen.

(1) Ziel ist es, ein Programm zu entwickeln, das den genauen Problemlöseprozess von Menschen reproduzieren kann. Der Mensch und seine Leistung (als Novize oder Experte) ist hierbei das Vorbild. Es handelt sich somit um eine deskriptive Herangehensweise (Beispiel Kapitel 2.4.3.3: Wahl der Lösungsmethode simuliert das Verhalten von Experten und Novizen). Dieser Ansatz wird von Kognitionspsychologen und „*cognitive science education researchers*“ verwendet (vgl. Maloney, 1994).

(2) Es wird anhand von theoretischen Überlegungen, ohne direkten Bezug auf das tatsächliche Vorgehen menschlicher Problemlöser, ein Modell mit „Arbeitsanweisungen“ entwickelt, von deren Durchführung erfolgreiches Problemlösen erwartet wird. In einem zweiten Schritt wird dieses Modell mit der tatsächlichen Leistung von Menschen verglichen. Es handelt sich hierbei um eine präskriptive Herangehensweise (Beispiel Kapitel 2.4.3.4: ausreichendes Metawissen über den Problemlöseprozess verbessert den Erfolg beim Problemlösen). Diesen Weg gehen Forschungen, die im Bereich der künstlichen Intelligenz („*artificial intelligence*“) einzuordnen sind (vgl. Maloney, 1994).

Grundlage für viele Studien zur Informationsverarbeitung ist die Veröffentlichung von Newell & Simon (1972): *Human Problem Solving*, deren

Arbeit zum Verständnis des Informationsverarbeitungsansatzes in den folgenden beiden Abschnitten vorgestellt wird.

### 2.4.3.1. Informationsverarbeitungssysteme nach Newell & Simon

Newell & Simon (1972) postulieren, dass Menschen sich beim Denken und Problemlösen wie „Informationsverarbeitungssysteme“ (IVS) verhalten. Im Folgenden werden einige grundlegende Aspekte von Informationsverarbeitungssystemen vorgestellt.

Ein IVS besteht aus dem Gedächtnis, das Symbolstrukturen enthält, einem Prozessor, Effektoren und Rezeptoren (s.h. Abbildung 2.4).

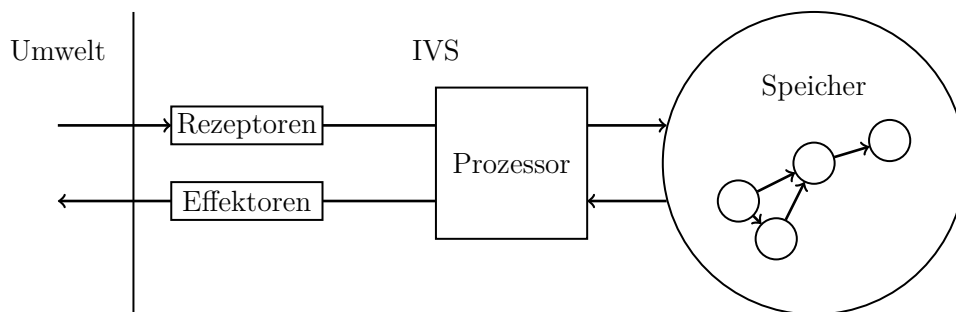


Abbildung 2.4.: Struktur eines informationsverarbeitenden Systems (IVS) nach Newell & Simon, 1972, S. 20

Newell & Simon legen in Form von mehreren Postulaten und Definitionen die grundsätzlichen Eigenschaften eines Informationsverarbeitungssystems fest:

Bei einer *Symbolstruktur* handelt es sich um eine Gruppe von Elementen, die durch *Beziehungen* miteinander verbunden sind. Symbolstrukturen können in einem Teil des IVS, dem *Speicher*, festgehalten werden.

Eine *Informationsverarbeitung* ist ein Prozess, bei dem Symbolstrukturen eingelesen (Input/Rezeptoren) oder ausgegeben (Output/Effektoren) werden. Der *Prozessor* ist ein Teil des Informationsverarbeitungssystems, der aus drei Komponenten besteht: (a) ein (festes) Set von *elementaren Informationsprozessen* (EIP); (b) ein *Kurzzeitspeicher*, der den Input und den Output der EIPs festhält; (c) ein *Interpreter*, der auf Basis der Symbolstrukturen im Kurzzeitgedächtnis ermittelt, welche Sequenzen von EIPs vom IPS ausgeführt werden.

## 2. Problemlösen

Newell & Simon machen die Funktionsweise eines Informationsverarbeitungssystems anhand eines einfachen Beispiels, eines Systems zum Senden und Empfangen von Morsecodes, deutlich, das nachfolgend zusammengefasst wird. Im *Speicher* sind die verschiedenen Codes beim Morsen (kurz ( $\cdot$ ), lang ( $-$ ), kurze Pause, lange Pause) als einzelne *Symbole* gespeichert. Diese Symbole sind nun auf vielfältige Art und Weise verknüpft, sodass *Symbolstrukturen* entstehen, die auf bestimmte Buchstaben oder auch Worte verweisen. Wird nun von außen ein Morsecode (z.B. „ $\cdot \cdot \cdot$ “ für den Buchstaben „S“) gesendet, so wird dieser vom Rezeptor aufgenommen und so umgewandelt, dass er vom Prozessor weiterverarbeitet werden kann. Der Prozessor speichert die Information im Kurzzeitspeicher und vergleicht dessen Inhalt über EIPs mit dem Speicher. Hierbei wird festgestellt, dass der Code „ $\cdot \cdot \cdot$ “ zur Symbolstruktur des Buchstaben „S“ passt. Dieser wird nun, im Kurzzeitspeicher, an den Prozessor zurückgegeben. Er wandelt die Information wieder so um, dass sie vom Effektor ausgegeben werden kann. Informationsverarbeitungssysteme können auf verschiedene Arten beschrieben werden:

(1) *Programmiersprache*: Hierbei werden mehrere Prozesse vorgegeben, auf die je nach Situation verwiesen wird. Es kann Schleifen oder wenn-dann-Abfragen geben.

(2) *Flussdiagramm*: Die Inhalte des Programminhalts werden graphisch dargestellt.

(3) *Production Systems*: Hierbei handelt es sich um eine Reihe von wenn-dann-Abfragen, die festlegen, was unter bestimmten Bedingungen zu tun ist. Handlungen rechts vom Pfeil ( $\rightarrow$ ) werden dann ausgeführt, wenn die davor stehende Bedingung wahr ist. Wenn mehrere Bedingungen wahr sind, wird die mit der höheren Priorität (steht weiter oben) betrachtet. Das Beispiel in Tabelle 2.5 simuliert das Verhalten eines Thermostaten in einem Heizkessel.

Im Vergleich zu den anderen Arten ist ein Produktionssystem eine kompakte und einfache Art, den Inhalt eines Informationsverarbeitungssystems abzubilden, auch wenn die Darstellung als Programm einen tatsächlichen

Temperatur = 70°C -> Stopp.  
Temperatur < 70°C UND Heizkessel aus -> schalte Heizkessel an.  
Temperatur > 70°C UND Heizkessel an -> schalte Heizkessel aus.

Tabelle 2.5.: Production System für einen Thermostaten

Nutzen mit Hilfe eines Computers zulässt (wenn vorher eine formale Sprache hierfür definiert wurde).

Um Probleme durch Maschinenprogramme (z.B. die von Newell & Simon (1972) entwickelten *Logic Theorist* (LT) oder *General Problem Solver* (GPS))<sup>2</sup> bearbeiten zu lassen, ist eine grundsätzliche Strukturierung des Problemlöseprozesses notwendig. Im nächsten Abschnitt wird die Organisation des Problemlöseprozesses von Newell & Simon (1972) vorgestellt, der, wie sich zeigen wird, in seiner grundsätzlichen Anlage mit den bereits vorgestellten Modellen zum Problemlösen übereinstimmt, jedoch aus der Perspektive der Informationsverarbeitungssysteme erstellt ist.

### 2.4.3.2. Der Problemlöseprozess nach Newell & Simon

Von einem Problem sprechen Newell & Simon, wenn eine Person „*etwas möchte und nicht unmittelbar weiß, welche Handlungen sie durchführen kann, um es zu bekommen*“ (Newell & Simon, 1972, S. 72). Diese Definition ist ähnlich offen, wie die in Kapitel 2.1.2 beschriebene wesentlich jüngere Definition von Smith (1991a) und ermöglicht es, eine Reihe verschiedener Probleme einzuschließen. In *Human Problem Solving* beschäftigen sich Newell & Simon intensiver mit Problemen aus der Kryptographie, der Logik und dem Schach, anhand derer sie ihr Modell mit dem *Logic Theorist* und später dem *General Problem Solver* überprüfen.

Newell & Simon stellen die Organisation eines Problemlöseprozesses vor, der sich gut als Informationsverarbeitungssystem beschreiben lässt. Dieser gilt sowohl für Menschen als auch für andere Informationsverarbeitungs-

---

<sup>2</sup>Der *Logic Theorist* (LT) und *General Problem Solver* (GPS) sind Informationsverarbeitungssysteme, die in der Lage sind, mit bestimmten (domänenunabhängigen) Heuristiken Probleme zu lösen. Insbesondere der GPS, als Weiterentwicklung des LT, gilt als Meilenstein in der Geschichte der Forschung des Informationsverarbeitungsansatzes und der künstlichen Intelligenz, auch wenn die damit verbundenen Erwartungen nicht erfüllt werden konnten und aus heutiger Sicht eher von einem „*Special Problem Solver*“ gesprochen werden müsste (vgl. Funke, 2003).

## 2. Problemlösen

systeme, wie z.B. Maschinen oder Tiere. Der Problemlöseprozess lässt sich übergeordnet in zwei Teilprozesse unterteilen (vgl. Funke, 2003): (1) Der *Verstehensprozess* ermöglicht eine interne Repräsentation des Problems – es werden aus der Problemsituation Informationen abgeleitet, die den Anfangszustand, mögliche Operatoren und Eigenschaften des Zielzustandes betreffen (vgl. Kapitel 2.1). Hierdurch wird der Problemraum<sup>3</sup> beschrieben. (2) Im *Suchprozess* wird, aufbauend auf den Ergebnissen des Verstehensprozesses, die Lösung eines Problems erzeugt. Newell & Simon (1972) beschreiben verschiedene Suchmethoden, die dabei zum Einsatz kommen können. Es wird zwischen schwachen Methoden, die zwar in vielen Situationen anwendbar, jedoch weniger effektiv sind, und spezifischen („starken“) Methoden, die nur in wenigen Situationen eingesetzt werden können, unterschieden. Beispiele für schwache Methoden, die auch in den folgenden Kapiteln eine Rolle spielen, sind:

*Vorwärtsverkettung* (forward chaining): Es werden nacheinander passende Operationen auf den Ausgangszustand und auf Zwischenzustände angewendet, um so zum Ziel zu gelangen; *Rückwärtsverkettung* (backward chaining): Ausgehend von einem wohldefinierten Ziel wird auf den Ausgangszustand „zurückgearbeitet“; *Zwischenzielbildung* (operator subgoalings): Kann ein für das Problem sinnvoller Operator nicht direkt angewendet werden, werden Zwischenziele gesucht, von denen aus dies möglich ist.

*Differenzreduktion* (difference reduction / hill climbing): Es wird jeweils der Operator angewendet, der die Differenz zwischen der aktuellen Situation und dem gegebenen Ziel maximal reduziert. Das klassische Beispiel hierfür ist das „hill climbing“ (Besteigen eines Gipfels): Um den Gipfel eines Hügels mit verbundenen Augen zu erreichen, wird immer ein Schritt in die Richtung gemacht, bei dem die größte Höhendifferenz nach oben gegeben ist.

*Mittel-Ziel-Analyse* (means-end analysis): Eine Verbindung aus Vorwärtsverkettung und Zwischenzielbildung. In späteren Kapiteln wird dargelegt,

---

<sup>3</sup>Unter einem Problemraum verstehen Newell & Simon (1972) die Menge aller möglichen Verhaltensschritte, die ein Individuum beim Problemlösen zeigen kann. Je größer der Problemraum, desto schwerer ist ein Problem einzuschätzen.

dass die Wahl der Methode ein Unterscheidungsmerkmal zwischen Experten und Novizen ist (s.h. Kapitel 2.4.3.3).

Die Beschreibung des Problemlöseprozesses aus informationstheoretischer Sicht verbindet die Verstehensprozesse und Suchprozesse miteinander und wird im Folgenden vorgestellt (s.h. Abbildung 2.5).

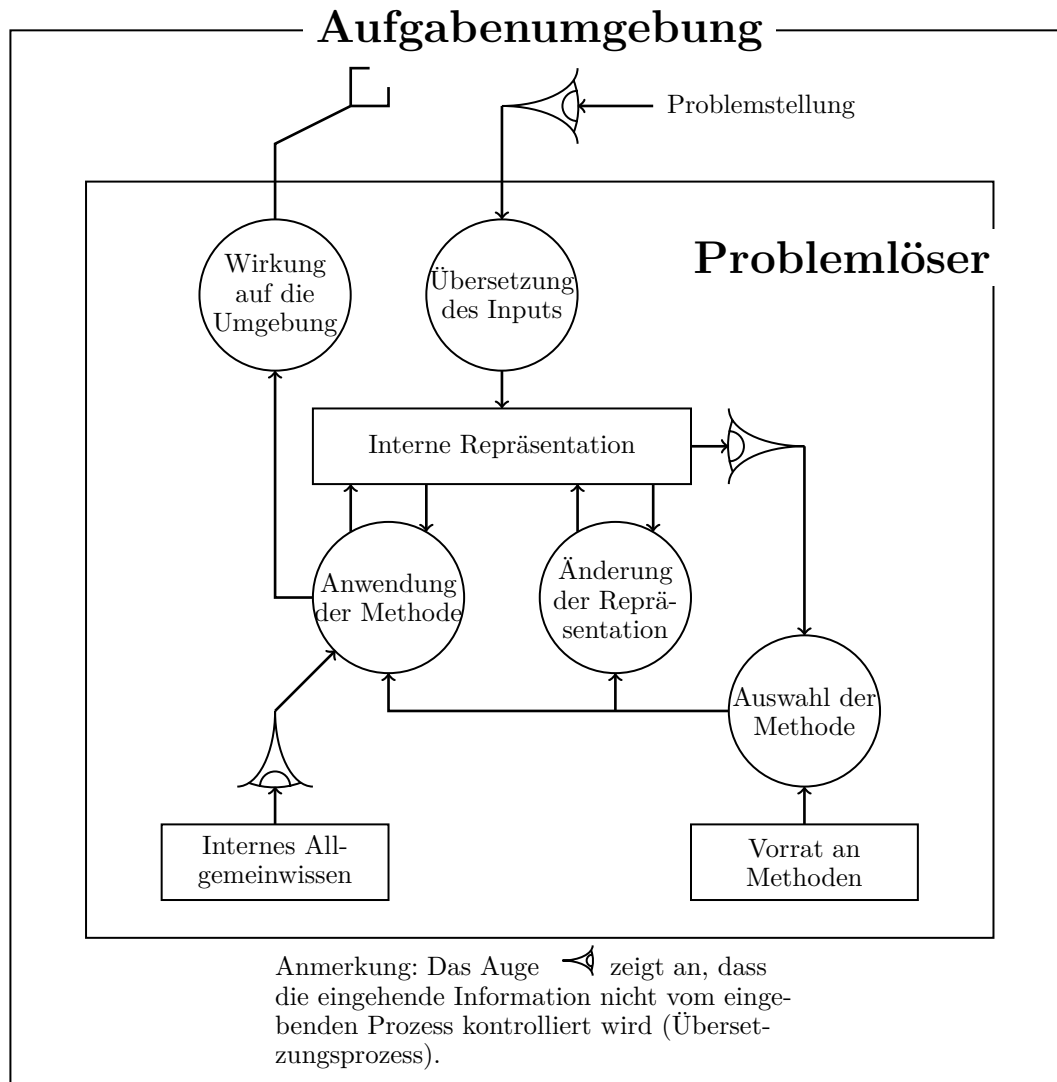


Abbildung 2.5.: Organisation des Problemlöseprozesses nach Newell & Simon, 1972, S. 89

(1) Als erstes wird die *externe Aufgabenumgebung* (so, wie die Problemstellung dem Problemlöser dargelegt wird) in eine *interne Repräsentation* übersetzt. Gleichzeitig steckt der Problemlöser einen „Problemraum“ ab. Der Problemlöseprozess läuft nun weiter im Rahmen der gefundenen Repräsentation ab – diese kann die Lösung einfacher, sogar trivial machen oder erschweren (vgl. Newell & Simon, 1972).

## 2. Problemlösen

(2) Wenn das Problem intern repräsentiert ist, wählt das Informationsverarbeitungssystem in Form des Problemlösers eine *Methode* aus, die für ihn (im Rahmen der gewählten internen Repräsentation) einen vernünftigen Bezug zur erwünschten Lösung enthält.

(3) Die ausgewählte Methode wird nun angewandt und beeinflusst sowohl das *interne* (z.B. Wechselwirkung mit der internen Repräsentation) als auch das *externe Verhalten* (Wirkung auf die Umwelt) des Problemlösers. Das Vorgehen kann jederzeit gestoppt werden, z.B. durch Subprozesse in der Methode selbst oder durch andere übergeordnete Überwachungsprozesse, die sich aus internem (Allgemein)Wissen speisen.

(4) Ist eine Methode abgeschlossen, hat der Problemlöser drei Möglichkeiten, wenn die Anwendung der Methode nicht zur Lösung des Problems geführt hat: (a) Er wendet eine andere Methode an, (b) die interne Repräsentation wird abgeändert und ausgehend davon wird das Problem neu bearbeitet oder (c) die Lösung des Problems wird abgebrochen.

(5) Während ihres Einsatzes kann eine Methode neue Probleme, z.B. Teilziele, hervorrufen und der Problemlöser arbeitet erst auf diese Teilziele hin (Rekursivität). Teilziele können aber auch ignoriert werden und es kann stattdessen mit anderen Teilen der ursprünglichen Methode weitergearbeitet werden.

Die von Newell & Simon (1972) dargelegte Organisation des Problemlöseprozesses weist, trotz ihres informationstheoretischen Ansatzes, strukturelle Ähnlichkeiten zu den bereits vorgestellten Modellen von Dewey (2002) und Pólya (1985) auf. Auch hier werden in den Schritten (1) bis (3) die grundsätzlichen Herangehensweisen zur Problemlösung beschrieben: Finden einer geeigneten Repräsentation, Auswahl einer Lösungsmethode, Durchführung der Methode und Überwachung der Korrektheit. Die Schritte (4) und (5) nennen weitere Herangehensweisen zur Bearbeitung eines Problems, wenn keine unmittelbare Lösung möglich ist: Anpassung der Repräsentation und Setzen von Teilzielen (Rekursivität). Diese Hinweise sind auch bei den anderen Modellen (stärker bei Pólya, 1985) zu finden.

Neben dem unumstrittenen Nutzen, mit Hilfe von Informationsverarbei-

tungssystemen Prozesse von Menschen oder Maschinen darzustellen, gibt es zu diesem Ansatz einige Kritikpunkte. So erinnert das Vorgehen des Informationsverarbeitungsansatzes, trotz seiner Einordnung nach der kognitiven Wende in den 1960er Jahren (vgl. Funke, 2003), stark an Stimulus-Response Modelle aus der behavioristischen Ausrichtung der Psychologie (vgl. Mayer, 1992). Solche Modelle können zwar gut beschreiben, wie z.B. Menschen Routineprobleme lösen, scheitern jedoch bei Problemen, die kreativere Lösungsansätze erfordern (vgl. Mayer, 1992).

Hinzu kommt eine, nach Funke (2003), zu starke Fokussierung auf die vollständige Rückführung des Denkens auf Elementarprozesse, was strukturelle Eigenschaften des Lösens von Problemen zu sehr betont, situative Einflüsse und Bedeutungen aber ignoriert. Funke (2003) fasst zusammen, dass die schlichte Addition der Teile das Ganze nicht adäquat darstellt.

Darüber hinaus beschäftigten Newell & Simon (1972) sich primär mit Puzzles oder Spielen und nicht mit komplexeren Domänen (wie der Physik), die von anderen Autoren (z.B. Larkin et al., 1980b; Chi et al., 1981; Reif & Heller, 1982; Heller & Reif, 1984) aufgegriffen wurden. Diese Arbeiten konnten die Bedeutung des vorhandenen Wissens (sowohl den Inhalt als auch die Struktur betreffend) und der Herangehensweise auf den Erfolg beim Problemlösen darlegen (s.h. Kapitel 2.7).

\*

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich die grundlegende Beschreibung des Problemlöseprozesses aus informationstheoretischer Sicht von Newell & Simon (1972) mit den bereits vorgestellten Modellen deckt. Der Ansatz ist jedoch sehr formal und auf eine Verwendung mit Computerprogrammen ausgerichtet, darüber hinaus fehlen domänenspezifische Bezüge, da die Lösung von Puzzles zum damaligen Zeitpunkt im Mittelpunkt des Forschungsinteresses standen.

Eine direkte Nutzung der Forschung von Newell & Simon (1972) im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit ist aber auch nicht vorgesehen. Die Vorstellung des Modells dient der Verständnisgrundlage, da die Arbeit von Newell & Simon prägend für einige Aspekte der Forschung zum Problemlösen



## 2. Problemlösen

ist, beispielsweise der Betrachtung verschiedener Lösungsansätze („Suchmethoden“) wie Vorwärtsverkettung oder Mittel-Ziel-Analyse. Aber auch neuere Arbeiten, wie beispielsweise die PISA-Studien (s.h. Kapitel 2.4.4) beziehen sich auf Informationsverarbeitungssysteme nach Newell & Simon.

Insbesondere die beiden im Folgenden dargelegten Ansätze, die Problemlösen in der Physik aus der Perspektive von Informationsverarbeitungssystemen betrachten, basieren in ihrer Ausrichtung auf Newell & Simon (1972). Wichtig hierbei ist weniger die Strukturierung des gesamten Problemlöseprozesses, als vielmehr die Betrachtung einzelner Teilaspekte, wie z.B. die Auswahl der Suchmethode im Problemraum, die zwischen Experten und Novizen unterschiedlich ausfällt.

### **2.4.3.3. Deskriptives Modell nach Larkin et al. – oder die Wahl der Methode**

Larkin et al. (1980b) beschreiben in ihrer Studie zwei Computerprogramme („Modelle“), die Probleme auf die Art und Weise lösen, wie es mehr oder weniger kompetente Menschen tun würden (deskriptive Herangehensweise). Die beiden Modelle, die menschliche Problemlöser als Informationsverarbeitungssysteme sehen, unterscheiden sich lediglich in ihrer Wahl der Methode zur Lösung.

Die Probleme, die mit Hilfe der Programme bearbeitet werden sollten, wählten die Autoren aus Physiklehrbüchern des College-Niveaus aus. Sie begründen ihre Wahl, analog zur Begründung in Kapitel 2.2, damit, dass diese Art von Problemen Eigenschaften von realen Situationen beinhalten, jedoch so komprimiert sind, dass sie gut in der Schule oder auch zu Forschungszwecken eingesetzt werden können. Darüber hinaus bietet sich Physik für solche Untersuchungen an, da es sich um eine wohlorganisierte Domäne handelt, die auf relativ wenigen grundlegenden Prinzipien (z.B. Energieerhaltung) basiert, sodass die Probleme gut mit Hilfe von Informationsverarbeitungssystemen bzw. Computerprogrammen bearbeitet werden können.

Die beiden Programme sind analog zueinander aufgebaut. Sie besitzen einen Langzeitspeicher, der durch eine Reihe von „Productions“ (s.h. Ka-

pitel 2.4.3.1) mit einer unterschiedlichen Anzahl von Bedingungen repräsentiert wird. Die Modelle testen, ob bestimmte Productions erfüllt sind, indem sie untersuchen, ob bestimmte Informationen, die vorher in den Arbeitsspeicher<sup>4</sup> geladen wurden, vorhanden sind (s.h. Tabelle 2.6). Wenn eine Production zutrifft, werden Handlungen ausgeführt, die dazu führen, dass Informationen aus dem Arbeitsspeicher gelöscht, hinzugefügt oder in einen externen „Papierspeicher“<sup>5</sup> übertragen werden.

das Zeitintervall zwischen den Zeitpunkten =x und =y ist bestimmt ->  
weise das Symbol t(=x, =y) zu diesem Intervall zu und verbinde  
mit diesem Symbol den Status "bekannt".

Tabelle 2.6.: Beispiel für eine Production aus Larkin et al., 1980b, S. 320

Den Modellen wird ein Teil der Problemrepräsentation abgenommen, indem die Problemstellung ihnen bereits in einer für Computerprogramme lesbaren Form vorgegeben wird. Der Schritt einer „Übersetzung“ von natürlicher Sprache in Computersprache wird von den Autoren übersprungen, da dies bereits in anderen Arbeiten beschrieben wurde (z.B. Novak, 1976; Novak, 1977).

Neben den bereits beschriebenen Speichern beinhalten beide Modelle ein gewisses Wissen über Physik und Algebra (Vergabe von Symbolen, Auswahl von Gleichungen, Generierung von Gleichungen, Verbindung von Variablen zu den Informationen aus der Problemstellung, Lösung von Gleichungen).

Die Unterschiede zwischen den Modellen liegen in der eigentlichen Herangehensweise an die Lösung, dem strategischen Wissen. Das Modell „ME“ („**m**means-**e**nd“ Ansatz) arbeitet rückwärts, es erstellt, von der gewünschten Lösung ausgehend, Gleichungen, deren Unbekannte mit neuen Gleichungen bestimmt werden sollen. Dies ist typischerweise das Vorgehen von Novizen. Das Modell „KD“ („**k**nowledge-**d**evelopment“ Ansatz; Vorwärtsverkettung) hingegen zeigt das Verhalten von Experten. Es arbeitet vorwärts

<sup>4</sup>Die Größe des Arbeitsspeicher ist so gewählt, dass passend zur Kurzzeitgedächtnisleistung von Menschen nur eine relativ geringe Anzahl von Elementen hineinpasst.

<sup>5</sup>Der „Papierspeicher“ ist eine Analogie zu dem, was menschliche Problemlöser auf einem Blatt Papier notieren können und was somit nicht im begrenzten Arbeitsspeicher verweilen muss.

## 2. Problemlösen

und geht von den gegebenen Werten aus, um so Gleichungen zu erstellen, die letztendlich zur gewünschten Lösung führen. Zur Veranschaulichung der beiden Herangehensweisen sind in Tabelle 2.4.3.3 die Modelle ME und KD einander gegenübergestellt und zwar anhand des Vorgehens bei der Lösung des folgenden Problems:

*Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.* (Problem nach Sherin, 2001)<sup>6</sup>

| Modell ME: Rückwärtsverkettung                                                                                                                                                                                                | Modell KD: Vorwärtsverkettung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Idee: Von dem ausgehen, was man haben möchte und „rückwärts denken“<br>So würden Novizen vorgehen.                                                                                                                            | Idee: Von dem ausgehen, was man hat und „vorwärts denken“<br>So würden Experten vorgehen.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Gesucht: $s$<br>Körper wird abgebremst, also hat $s(t)$ die Form<br>$s(t_0) = -\frac{1}{2}at_0^2 + v_0t_0$ ,<br>wobei $a$ die Beschleunigung beim Abbremsen ist und $t_0$ die Zeit, bis der Körper zur Ruhe kommt.            | Es handelt sich um einen Abbremsvorgang durch Reibung, also erhält man die Beschleunigung $a$ durch<br>$F_{reib} = \mu \cdot G = m \cdot a$ .                                                                                                                                                                                                                                |
| Gesucht: $a$ und $t_0$<br>$a$ ergibt sich aus der Reibung<br>$F_{reib} = \mu \cdot G = m \cdot a$ .<br>$t_0$ ergibt sich aus dem Zeitpunkt, wenn die Geschwindigkeit des Körpers 0 ist:<br>$v(t_0) = 0 = v_0 - a \cdot t_0$ . | Um herauszufinden, wie weit der Körper kommt, muss man wissen, wie lange er unterwegs ist, bis er ruht ( $t_0$ ). Dies hängt von der Anfangsgeschwindigkeit $v_0$ und der Reibung ab.<br>Wenn er ruht gilt für die Geschwindigkeit<br>$v(t_0) = 0 = v_0 - a \cdot t_0$ .<br>Über $s(t_0) = -\frac{1}{2}at_0^2 + v_0t_0$ erhält man den Weg, den der Körper zurückgelegt hat. |
| Alles einsetzen und man erhält $s(t_0)$ .                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Tabelle 2.7.: Skizzierung einer Lösung durch Vorwärtsverkettung und Rückwärtsverkettung

Auch wenn die beiden oben beschriebenen Modelle offensichtliche Schwächen haben, wie das Fehlen von qualitativen Begründungen, eine primitive Problemrepräsentation, die nur sehr einfache mathematische Strategien

<sup>6</sup>Larkin et al. (1980b) nutzen für ihre Untersuchung ein analoges Problem. Da das Problem bereits schon als wissenszentriertes Problem vorgestellt wurde und später auch im Problemlösetest verwendet wird, wird auf diese Formulierung zurückgegriffen.

beinhaltet oder das Fehlen von wirklich „physikalischem“ Wissen, konnten sie ihren Zweck erfüllen, eine möglichst einfache Beschreibung des Problemlöseprozesses von mehr oder weniger bewanderten Problemlösern zu simulieren, die sich auch mit dem Verhalten tatsächlicher Experten und Novizen deckt.

\*

Larkin et al. (1980b) konnten das Verhalten von Experten und Novizen mit zwei Modellen zur Informationsverarbeitung darstellen. Die beiden Modelle sind in ihren Grundlagen sehr einfach angelegt und unterscheiden sich lediglich durch die Wahl der Suchmethode im Problemraum. Das Modell „ME“ („means-end“-Ansatz) arbeitet rückwärts, wohingegen das Modell „KD“ („knowledge development“) vorwärts arbeitet. Diese kleine Variation deckt sich mit den Unterschieden zwischen Experten und Novizen: Experten nutzen Vorwärtsverkettung und Novizen Rückwärtsverkettung. Larkin et al. (1980b) konnten so zeigen, dass sich Experten und Novizen nicht nur in der Menge ihres Wissen und der Erfahrung unterscheiden, sondern auch qualitativ in der Auswahl ihrer Lösungsstrategien. Andere Studien konnten diesen Unterschied zwischen guten und schlechten Problemlösern, unabhängig von der Betrachtung von Informationsverarbeitungssystemen, bestätigen (vgl. Kapitel 2.7.5), was auch im Rahmen der qualitativen Betrachtung (s.h. Kapitel 3.3) zum Erfolg beim Problemlösen miteinbezogen wird.

### **2.4.3.4. Präskriptives Modell nach Reif & Heller - oder: Das Metawissen ist entscheidend**

Auch Reif & Heller (1982) bzw. darauf aufbauend Heller & Reif (1984) wenden sich domänenspezifischen Problemen zu. Im Fokus ihrer Arbeit steht das zugrundeliegende (physikalische) Wissen, das menschlichen Problemlösern dabei helfen soll, zu einer nützlichen Repräsentation<sup>7</sup> des Problems zu kommen. Die Autoren weisen explizit darauf hin, dass es sich hierbei um

---

<sup>7</sup>Heller & Reif sprechen von „initial description“, was jedoch inhaltlich dem Begriff der Repräsentation aus den vorangegangenen und nachfolgenden Kapiteln entspricht.

## 2. Problemlösen

ein präskriptives Modell, im Gegensatz zu Larkin et al. (1980b), handelt. Dies bedeutet, dass das entwickelte Modell zwar erfolgreiches Problemlösen darstellen, aber nicht zwingend das Verhalten von tatsächlichen Experten simulieren soll (vgl. Heller & Reif, 1984).

Die Vorteile eines solchen Modells liegen nach Heller & Reif (1984) darin, dass der Ansatz mehr Freiheiten zur Erstellung eines Modells bietet – man ist nicht daran gebunden, die Leistung von tatsächlichen Experten exakt nachzuempfinden, sondern kann aus theoretischen Überlegungen ein Modell erstellen, dessen einziges Qualitätskriterium das erfolgreiche Lösen von Problemen ist. Des Weiteren stellen sie heraus, dass durch ihre Forschung ein Beitrag dazu geleistet werden soll, Novizen Anleitungen an die Hand zu geben, mit denen sie ihre Problemlösefertigkeiten verbessern können. Ziel ist hierbei jedoch nicht, dass sie lediglich das Verhalten von Experten „kopieren“, da viele Schritte von Experten nicht explizit geäußert werden (können) und „im Verborgenen“ automatisch durchgeführt werden (vgl. Prozedurales Wissen; Kapitel 1.3.2).

Für die Formulierung ihres Modells unterteilen Heller & Reif den Problemlöseprozess in drei Phasen (s.h. Abbildung 2.6): (1) Erstellung einer Repräsentation („*basic description*“ und „*theoretical description*“) und einer *qualitativen Analyse*, die dabei hilft eine Lösung zu erarbeiten; (2) Erarbeitung der Lösung des Problems durch Methoden, die die Entscheidung für einen Lösungsweg erleichtern und (3) Beurteilung und Verbesserung der gefundenen Lösung.

Der Fokus der Studie wird auf die Betrachtung der Repräsentation gelegt, da „[...] die Repräsentation eines Problems oft festlegt, wie einfach das Problem später gelöst werden kann oder ob es überhaupt gelöst werden kann“ (Heller & Reif, 1984, S. 181). Die Autoren unterteilen die Repräsentation in zwei Unterschritte.

(1a) Das Modell bzw. die bearbeitende Person beginnt mit der dargelegten Problemstellung und formuliert diese mit allgemeinem, domänenunabhängigem Wissen in eine „*basic description*“ des Problems um. Hierbei wird das Problem in eine leichter interpretierbare Form gebracht; es wird zusammengefasst, was gegeben und was gesucht ist, es werden Symbole für

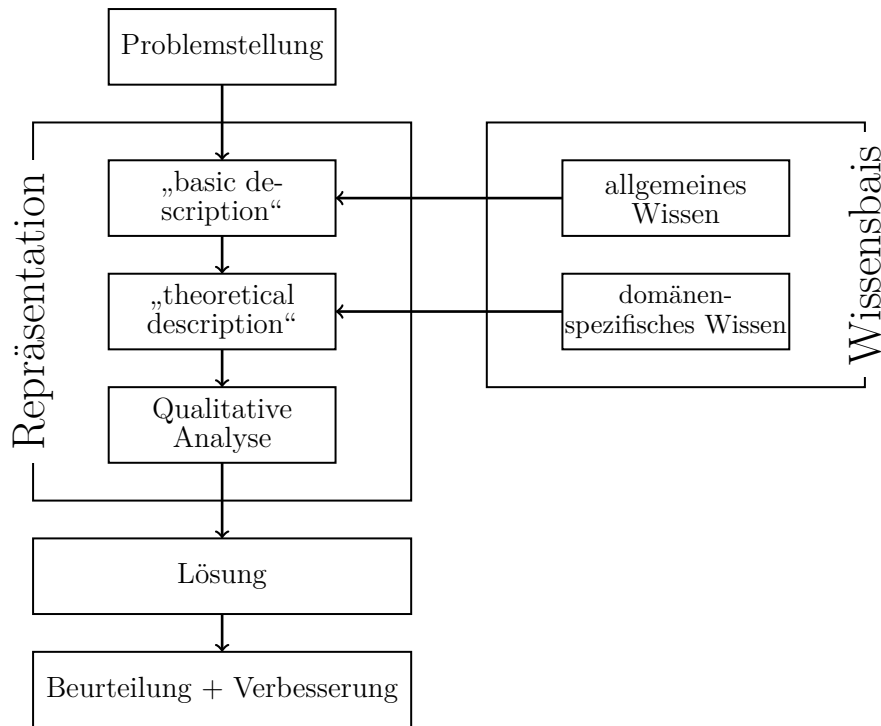


Abbildung 2.6.: Problemlöseprozess nach Reif & Heller (1982) bzw. Heller & Reif (1984)

verschiedene Angaben eingeführt, es wird identifiziert, ob es sich um eine zeitabhängige Situation handelt oder nicht und die eingeführten Symbole werden dazu genutzt, die relevanten Informationen zweckdienlich verbal oder als Skizze auszudrücken. Die Schritte, die zur Erstellung einer „*basic description*“ führen, sind für Schüler nicht trivial – es werden oft Fehler in diesen relativ einfachen Prozessen gemacht (vgl. Heller & Reif, 1984).

(1b) Die so gefundene „*basic description*“ wird im nächsten Schritt mit dem domänenspezifischen deklarativem Wissen (Wissen über spezielle Konzepte und ihre Eigenschaften, Prinzipien und Regeln) in eine „*theoretical description*“ überführt. Diese beinhaltet nun zur Lösung wichtiges Wissen und vereinfacht die Anwendung der für das Problem relevanten Prinzipien. Die Erarbeitung einer solchen „*theoretical description*“ wird durch die Verfügbarkeit von gewissen Verfahren („*explicit procedures*“) unterstützt. Heller & Reif (1984) haben in ihr Modell die folgenden Methoden implementiert, um aus einer „*basic description*“ zu einer „*theoretical description*“ zu gelangen: Identifizierung der Größen, die beschrieben werden müssen; Anwendung spezieller Konzepte, um diese Größen zu beschreiben; Nut-

## 2. Problemlösen

zung der Eigenschaften dieser Konzepte und Nutzung der Prinzipien, um zu prüfen, ob die Repräsentation auch konsistent und richtig ist.

(1c) Sinnvollerweise wird im Anschluss an die Aufstellung einer „*theoretical description*“ eine *qualitative Analyse* der Situation vorgenommen (vgl. Reif & Heller, 1982). Im Rahmen dieser Analyse wird untersucht, welche qualitativen Auswirkungen die gefundene Repräsentation auf das Problem hat. Es werden z.B. Extremwerte betrachtet, um einen Einklang mit allgemeinen physikalischen Prinzipien sicherstellen zu können. Eine qualitative Analyse erleichtert die anschließende Lösung, da so bereits mögliche Lösungsansätze verworfen werden können und auch eine sinnvolle physikalische Interpretation der mathematischen Operationen sichergestellt werden kann.

(2) Ausgehend von der Repräsentation wird die *Lösung* des Problems erarbeitet. Reif & Heller (1982) geben hierzu die Methode der „*Constraint Satisfaction*“ (Erfüllung von Lösungsbedingungen) an. Lösungsbedingungen verringern die Anzahl der Lösungsmöglichkeiten, die zu den entsprechenden Bedingungen passen, was die Lösung vereinfacht (vgl. Größe des Problemraums; Newell & Simon, 1972). Die Lösung wird durch Aufstellen und Erfüllen von Lösungsbedingungen konstruiert.

(3) Nachdem eine zu allen Bedingungen passende Lösung gefunden wurde, wird diese im letzten Schritt noch *überprüft*. Kriterien, die es hierbei zu erfüllen gilt, sind: Klarheit der Interpretation der mathematischen Lösung, Vollständigkeit der Lösung, interne und externe Konsistenz, Optimalität der Lösung. Bei der Überprüfung ist ein Rückgriff auf die Erkenntnisse aus der qualitativen Analyse hilfreich.

Das Modell stellt, insbesondere bei der Aufstellung der Repräsentation, durch seine expliziten Anweisungen sicher, dass das wichtige deklarative Wissen systematisch und korrekt in den Problemlöseprozess miteinbezogen wird. Heller & Reif (1984) nehmen im Rahmen der Repräsentation z.B. explizit Bezug auf die Betrachtung von „Bewegungsdiagrammen“<sup>8</sup> oder die Unterscheidung zwischen Kurzstrecken- und Langstreckeninteraktionen zwischen Körpern (z.B. Reibung und Gravitation). Die Autoren vermuten,

---

<sup>8</sup>Eine Veranschaulichung von verschiedenen Bewegungen, analog zur Verwendung von Kraftpfeilen.

ausgehend von den Eigenschaften ihres Modells, dass durch die genaue Anleitung ihres Modells eine sehr detaillierte Repräsentation erstellt wird, die genauer ist, als die von Experten und Beispielen aus Lehrbüchern. Die Schritte des Modells sollen Schülern dabei helfen, häufige Fehler zu vermeiden und zu einer deutlichen Vereinfachung der daraus folgenden Lösung führen.

Um zu prüfen, ob das ausgearbeitete Modell auch tatsächlich zu erfolgreichem Problemlösen führt, wurden Schüler des College-Niveaus mit dem Modell vertraut gemacht und dazu angeleitet, die vorgegebenen Schritte zum Problemlösen genau zu befolgen.

Die Probleme, die den Probanden vorgelegt wurden, waren – wie auch bereits bei der Untersuchung von Larkin et al. (1980b) – aus Physiklehrbüchern des College-Niveaus aus dem Bereich Mechanik entnommen. Heller & Reif begründen ihre Wahl, wie bereits in Kapitel 2.2 diskutiert, damit, dass diese Domäne realistisch komplex und repräsentativ für andere quantitative Felder der Physik ist. Ebenfalls ist es aus ihrer Sicht ein Thema von praktischer Bedeutung für den Unterricht und stellt für Schüler, da es oft als schwierig empfunden wird, eine ernsthafte Herausforderung dar. Die Mechanik an sich ist zudem hinreichend simpel, wohldefiniert und als Domäne gut erforscht.

Als Ergebnis der Untersuchung zeigte sich, dass das von Heller & Reif (1984) aufgestellte Modell unter detaillierter Anleitung tatsächlich sowohl zu einer guten Repräsentation als auch zu einer erfolgreichen Lösung von Problemen in der Mechanik führt. Darüber hinaus konnten die Autoren mit Hilfe von Kontrollgruppen zeigen, dass es nicht Defizite im deklarativen Wissen sind, die zu schlechteren Leistungen führen, sondern das Fehlen eines gewissen „Metawissens“, um eine zielführende Repräsentation erstellen zu können.

\*

Das Modell von Heller & Reif (1984) entwickelt ausgehend von theoretischen Überlegungen eine Herangehensweise, die erfolgreiches Problemlösen sicherstellt. Die Zielsetzung und Ausführung zeigen Übereinstimmungen



## 2. Problemlösen

mit der „Liste“ von Pólya (1985) (Kapitel 2.4.2), beispielsweise in ihrer Ausrichtung auf Schüler als Anleitung zum besseren Bearbeiten von Problemen oder in der detaillierten Ausführung der einzelnen Schritte. Das Modell von Heller & Reif ist ebenfalls domänenspezifisch; es wird die (wohl-definierte) Domäne Physik betrachtet.

Für die Autoren steht (ebenso wie für Pólya, 1985) das Finden einer geeigneten Repräsentation im Vordergrund. Dies zeigt sich durch die detaillierte Betrachtung und Unterteilung in Teilprozesse, die durch entsprechende Handlungsanweisungen beschrieben werden. Untersuchungen mit Schülern konnten zeigen, dass die Einhaltung dieser Handlungsanweisungen auch tatsächlich zu guten Repräsentationen führt, welche eine erfolgreiche Lösung des Problems ermöglichen.

Heller & Reif (1984) bezeichnen das Wissen, das nötig ist, um eine gute Repräsentation zu erstellen, als „Metawissen“ über das Problemlösen, das nicht gleichzusetzen ist mit dem deklarativen Wissen über physikalische Inhalte. Die Autoren sehen die Defizite beim Problemlösen in der Abwesenheit von Metawissen, z.B. zur Erstellung der Repräsentation, begründet.

In Hinblick auf die vorliegende Arbeit ist das Modell von Heller & Reif (1984) für eine direkte Verwendung zu sehr auf die Konstruktion einer geeigneten Repräsentation fokussiert, um es als allgemeines Modell zur theoretischen Beschreibung des Problemlöseprozesses zu nutzen. Jedoch gibt das Modell Auskunft darüber, was eine gute Repräsentation ausmacht und wie wichtig diese für erfolgreiches Problemlösen ist.

#### 2.4.4. Problemlösekompetenz nach PISA

Die „PISA-Studien“ (*Programme for International Student Assessment*) wurden von der OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) initiiert. Es handelt sich hierbei um eine vergleichende Erhebung der grundlegenden Kompetenzen von fünfzehnjährigen Schülern aus den verschiedenen Teilnehmerstaaten. PISA bezieht sich hierbei nicht explizit auf die jeweiligen Lehrpläne eines Landes, sondern es werden grundlegende Kompetenzen überprüft, die Schüler am Ende der Pflichtschulzeit (mit 15 Jahren) erworben haben sollten, um zu einer aktiven gesellschaftlichen Partizipation befähigt zu sein (vgl. Wirtz & Strohmer, 2013). Die Bundesrepublik Deutschland nahm 2000 das erste Mal an den Untersuchungen teil. Die grundlegenden Kompetenzbereiche, die im Rahmen von PISA alle drei Jahre abwechselnd als Schwerpunktthemen gesetzt werden, sind Lesekompetenz (PISA 2000, 2009), mathematische Kompetenz (PISA 2003, 2012) und naturwissenschaftliche Kompetenz (PISA 2006, 2015). In den folgenden Abschnitten wird dargelegt, welche Auffassung von „Problemlösekompetenz“ den PISA-Studien zugrunde liegt, wie diese in Kompetenzstufen umgesetzt wurden und welche Bezüge zur vorliegenden Arbeit zu sehen sind.

Der von PISA geprägte Kompetenzbegriff geht auf die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Konzeptualisierung von Weinert (1999) zurück, die die verschiedenen Aspekte von „Kompetenz“ darstellt<sup>9</sup>. Weinert empfiehlt eine funktionale Auffassung, die in folgender Arbeitsdefinition zusammengefasst wird:

*„Kompetenzen sind Systeme aus spezifischen, prinzipiell erlernbaren Fertigkeiten, Kenntnissen und metakognitivem Wissen, die es erlauben, eine Klasse von Anforderungen in bestimmten Alltags-, Schul- oder Arbeitsumgebungen zu bewältigen.“* (Klieme et al., 2001, S. 182)

Hierbei ist „Kompetenz“ funktional definiert, das bedeutet, dass die ei-

---

<sup>9</sup>Kompetenz als (1) allgemeine intellektuelle Fähigkeiten; (2) funktionale Auffassung; (3) motivationale Orientierung; (4) Handlungskompetenz; (5) Metakompetenzen

## 2. Problemlösen

ner Person zugeschriebene Kompetenz davon abhängt, wie gut sie eine Anforderung bewältigen kann – kompetent ist derjenige, der erfolgreich handelt. Hierbei werden nur kognitive Fähigkeiten eingeschlossen, die jeweils bereichsspezifisch sind. Kompetenzen sind über die jeweilige konkrete Anforderung begrenzt verallgemeinerbar; das heißt von der Performanz bei einer Anforderung wird darüber hinaus auf andere Situationen geschlossen.

Insbesondere Kompetenzen, die sich nicht auf einzelne Fächer beziehen, sogenannte „Schlüsselkompetenzen“ oder auch fächerübergreifende Kompetenzen, werden dem allgemeinen Kompetenzbegriff gerecht, da diese über eine gewisse Breite von Situationen und Aufgabenstellungen zum Einsatz kommen können. Die „Problemlösekompetenz“ ist eine solche fächerübergreifende Kompetenz, die bereits in PISA 2000 untersucht wurde und mit PISA 2003 in den Fokus der Untersuchung rückte. Problemlösen wird von den PISA-Autoren als ein sehr weit gefasster Begriff gesehen, der sich auf kognitive Prozesse bezieht. Er beinhaltet das *„zielorientierte Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine routinierten Vorgehensweisen verfügbar sind“* (Klieme et al., 2001, S. 185). Problemlösekompetenz wird demnach definiert als die:

*„Fähigkeit einer Person, kognitive Prozesse zu nutzen, um sich mit solchen realen, fächerübergreifenden Problemstellungen auseinanderzusetzen und sie zu lösen, bei denen der Lösungsweg nicht unmittelbar erkennbar ist und die zur Lösung nutzbaren Wissensbereiche nicht einem einzelnen Fachgebiet der Mathematik, der Naturwissenschaften oder des Lesens entstammen.“*  
(OECD, 2003, S. 156, zitiert nach Leutner et al., 2004, S. 148)

Auch bei der oben vorgestellten Konzeptualisierung des Problemlösebegriffes ist, wie schon bei anderen Autoren in Kapitel 2.1 dargelegt, die Differenz zwischen dem zu erreichenden Ziel und der Ausgangssituation charakterisierend für eine Problemsituation. Der Problemlöseprozess ist deshalb vom Verstehen der Situation und einer durch planendes und schlussfolgerndes Denken geprägten schrittweisen Annäherung an die Lösung charakterisiert (vgl. Klieme et al., 2001; Leutner et al., 2004).

Hintergrund für den Problemlöseprozess bildet das in Kapitel 2.4.2 vorgestellte Modell des Problemlösens nach Pólya (1985) – die Aufgaben sind so konstruiert, dass die „*klassische[n] Schritte des problemlösenden Denkens*“ (vgl. Leutner et al., 2004, S. 148) durchlaufen werden müssen.

„Problemlösen“ ist nicht auf eine einzige Art von Aufgabenstellung beschränkt. Sowohl die Bearbeitung von Teilen einer Aufgabe als auch die vollständige Planung und Ausführung umfangreicher Projekte ist dem Problemlösen zuzuordnen.

Das Konstrukt des Problemlösens wird von den PISA-Autoren in zwei verschiedene Typen, das analytische und das dynamische Problemlösen, unterteilt (Leutner et al., 2004). Beim analytischen Problemlösen werden in der Problemstellung alle relevanten Informationen explizit gegeben oder können aus den gegebenen Angaben schlussfolgernd abgeleitet werden. Zum analytischen Problemlösen sind die Aufgaben wiederum in drei Arten der Problemstellung unterteilt: (1) Entscheidungen treffen, (2) Systeme analysieren und entwerfen und (3) Fehlersuche. In Tabelle 2.8 sind die Ziele und ausgewählte kognitive Prozesse der drei Arten des analytischen Problemlösens dargelegt.

Das dynamische Problemlösen beinhaltet im Gegensatz dazu weder eine wohldefinierte Ausgangssituation noch ein klares Ziel. Es werden nicht alle zur Lösung benötigten Informationen explizit oder implizit vorgegeben. Das Problem, das in Form von Computersimulationen vorgegeben wird, muss erst erkundet werden, um so weitere Kenntnisse zur Lösung zu erarbeiten. Dynamische Probleme lassen sich am besten dem komplexen Problemlösen (s.h. Kapitel 2.3) zuordnen. Um den dynamischen Aspekt komplexer Probleme abbilden zu können, werden von den PISA-Autoren Computersimulationen empfohlen. Das dynamische Problemlösen wurde mit PISA 2003 lediglich im Rahmen eines deutschen Ergänzungstests erfasst (Leutner et al., 2004) und wird im Folgenden nicht weiter behandelt, da komplexes Problemlösen nicht im Forschungsinteresse der hier vorliegenden Arbeit liegt.

Da es sich bei der Problemlösekompetenz um eine fächerübergreifende Kompetenz handelt, kann der inhaltliche Kontext der einzelnen Problem-

## 2. Problemlösen

|                                     | <b>Entscheidungen treffen</b>                                                                                                             | <b>Systeme analysieren und entwerfen</b>                                                                                                                                                   | <b>Fehlersuchen</b>                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ziel</b>                         | Aus einer Liste von Handlungsoptionen unter Berücksichtigung von Bedingungen eine Auswahl treffen.                                        | Die Abhängigkeit zwischen Teilen eines Systems identifizieren und ein Umsetzungskonzept zur Bewältigung einer Aufgabenstellung entwickeln.                                                 | Den Fehler eines nicht angemessen funktionierenden Systems oder Mechanismus diagnostizieren und gegebenenfalls korrigieren                                                           |
| <b>Kognitive Prozesse (Auswahl)</b> | Relevante Bedingungen erkennen.<br>Zwischen Handlungsoptionen entscheiden.<br>Die Entscheidung prüfen, bewerten, mitteilen und begründen. | Relevante Komponenten eines Systems erkennen.<br>Abhängigkeiten zwischen den Komponenten des Systems verstehen.<br>Die Analyse oder den Entwurf prüfen, bewerten, mitteilen und begründen. | Ursächlich aufeinander bezogene Variablen erkennen.<br>Die Funktionsweise des Systems verstehen.<br>Die Diagnose und den Lösungsvorschlag prüfen, bewerten, mitteilen und begründen. |

Tabelle 2.8.: Auszug der kognitiven Anforderungen der Aufgaben zum analytischen Problemlösen aus Leutner et al., 2004, S. 150

stellungen in unterschiedlichen Domänen aber auch in Alltagssituationen ohne direkten Bezug zu einer Domäne angesiedelt sein. In PISA 2003 wurde der Fokus auf das Problemlösen in Alltagssituationen, wie die Auswahl einer geeigneten U-Bahn-Route (s.h. Beispielitem „Anschlusszüge“ Tabelle 2.9), gelegt, wobei die verwendeten Kontexte (1) Privat-Persönliches, (2) Arbeit und Freizeit und (3) Gesellschaft umfassen (vgl. Leutner et al., 2004).

Ergänzend hinzuzufügen ist, dass, auch wenn die Autoren von PISA Problemlösen als eine fächerübergreifende Kompetenz ansehen, dem jeweiligen Domänenwissen (sowohl deklaratives als auch prozedurales) seine Bedeutung für anspruchsvolles Problemlösen nicht abgesprochen wird. Der Einfluss des Wissens wird hervorgehoben: „*Wissen ist [...] Input des Problemlöseprozesses, und Problemlösen ist – zumindest in einem wesentlichen Teil – Anwendung von Wissen*“ (Leutner et al., 2004, S. 149). Wie sich beim Vergleich von wissenszentrierten und PISA-Problemen weiter unten zeigen

wird, ist die Menge an Wissen, die für das Problemlösen im Sinne von PISA vorausgesetzt wird, im Vergleich zu wissenszentrierten Problemen recht klein und beschränkt sich im Wesentlichen auf die Informationen, die dem Aufgabentext entnommen werden können.

Die Autoren von PISA halten fest, dass „Problemlösen“ im obigen Sinne nur für bestimmte Aufgaben bei bestimmten Personen stattfinden kann – es muss schlussfolgerndes Denken benötigt werden, das nicht bei der Anwendung von erlernten Routinen oder Versuchs-und-Irrtums - „Strategien“ gefunden werden kann (vgl. Definition Problem von Dörner Kapitel 2.1.1). Im schlussfolgernden Denken („*Reasoning*“) sehen die Autoren von PISA gerade die Komponente der Problemlösekompetenz, welche die Gemeinsamkeit über verschiedene Domänen darstellt. In der psychologischen Forschung ist es jedoch deshalb umstritten, inwieweit „Problemlösekompetenz“ im Sinne von PISA von „Intelligenz“ (s.h. Kapitel 1.3.1) abgegrenzt werden kann (vgl. Klieme et al., 2001).

Zusammengefasst ist „Problemlösen“ im Sinne von PISA ein sehr breiter Begriff, der in Reichweite (Teilaufgaben vs. komplette Projekte), Kontext (Alltag vs. domänenspezifisch) und Komplexität (analytische vs. komplexe Probleme) variiert. In Tabelle 2.9 sind drei Beispielaufgaben aus PISA 2003 dargelegt, die verdeutlichen, was im Rahmen der „Problemlösekompetenz“ zum Typ „Entscheidungen treffen“ erhoben wird. Der Problemtyp wurde zum Vergleich ausgewählt, da er sich mit dem Ziel, eine Lösung zu finden, am deutlichsten mit den verwendeten Problemen aus Lehrbüchern (s.h. Kapitel 2.2) deckt.

Vergleicht man die in PISA verwendeten Probleme mit den im Rahmen der vorliegenden Arbeit zum Einsatz kommenden wissenszentrierten Problemen (s.h. Kapitel 2.2), so ist festzustellen, dass beide, trotz eines ähnlichen theoretischen Rahmens<sup>10</sup>, wenig gemein haben. Der wohl wichtigste Unterschied besteht darin, dass wissenszentrierte Probleme domänenspezifisch sind und ohne entsprechendes Wissen aus der Physik nicht bearbeitet werden können. Die PISA-Probleme hingegen liefern alle benötigten Informationen in der Aufgabenstellung mit und erfordern (abgesehen vom

---

<sup>10</sup>Gap-Definition von „Problem“; Modell von Pólya; Betonung der Bedeutung von Wissen

| Aufgabenbeschreibung                                                                                                                                                                                                           | Aufgaben                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ANSCHLUSSZÜGE</b><br>Als begleitende Abbildung ist der Ausschnitt des öffentlichen Verkehrsnetzes in einer Stadt mit drei U-Bahn-Linien angegeben. Es wird über Preise, Fahrtzeiten und Umsteigzeiten informiert.           | Beste Strecke in Bezug auf Kosten und Zeit markieren. Fahrpreis und Fahrzeit angeben.                                                  |
| <b>ENERGIEBEDARF</b><br>Bei dieser Aufgabe sind zwei Tabellen angegeben; eine für den empfohlenen täglichen Energiebedarf eines Erwachsenen und eine zu einer Speisekarte eines Restaurants mit den Energiemengen pro Gericht. | Energiebedarf für eine Person angeben.<br>Entscheiden, ob ein vorgebendes Menü noch in den Energiebedarf einer Person passt.           |
| <b>KINOBESUCH</b><br>Bei dieser Aufgabe soll, unter den zeitlichen und sonstigen Rahmenbedingungen, ein Termin für einen Kinobesuch gefunden werden.                                                                           | Auswählen, ob ein Film für einen gemeinsamen Kinobesuch infrage kommt. Bei gegebenem Film soll ein passender Termin ausgewählt werden. |

Tabelle 2.9.: Beschreibung der Aufgaben zum Problemtyp „Entscheidungen treffen“ aus Leutner et al., 2004, S. 152

Beherrschen der Grundrechenarten) nur logische Schlussfolgerungen, um zu einem Ergebnis bzw. zu einer Entscheidung zu kommen. Jedoch steht dieser Unterschied des Problembegriffs im Einklang mit der Definition der Problemlösekompetenz im Sinne von PISA: Es wird auf alltägliche Situationen zurückgegriffen, die kein fachspezifisches Wissen benötigen, jedoch formal nach der Definition nach Dörner (1976) als Probleme einzuschätzen sind. Die wissenszentrierten Problemen zugrundeliegende Definition nach Smith (1991a) hingegen bezieht explizit das Verständnis in einer bestimmten Domäne mit ein. Das in dieser Arbeit vorliegende Verständnis von „Problem“ ist mit der Begriffsauffassung von PISA nicht vereinbar und muss deswegen klar davon abgegrenzt werden.

Auch wenn keine Übereinstimmung zwischen dem Problembezug nach PISA und dem wissenszentrierten Problemlösen gefunden werden kann, wird die Ermittlung von Kompetenzstufen über die im Rahmen der in PISA 2003 eingesetzten Aufgaben zum analytischen Problemlösen im Folgenden vorgestellt. Dies geschieht insbesondere im Hinblick auf die Auswertung (s.h. Kapitel 5, bei der ebenfalls eine Aufstellung von Stufen zum Erfolg beim Problemlösen angestrebt wird).

Bei der Betrachtung des internationalen Tests lassen sich in Hinblick auf das analytische Problemlösen drei Kompetenzstufen finden, bei denen der Grad der kognitiven Anforderungen an den Bearbeitenden variiert (vgl. Leutner et al., 2004). Die Kompetenzstufen wurden ausgehend von einer Rasch-Skalierung der PISA-Aufgaben gesetzt (s.h. Abbildung 2.7). Es ist jeweils das Problem angegeben, dessen Itemkennwert innerhalb der entsprechenden Kompetenzstufe liegt.

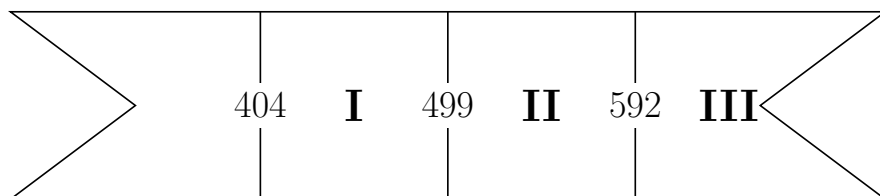


Abbildung 2.7.: Einteilung der Kompetenzstufen des analytischen Problemlösens nach PISA 2003 (s.h. Leutner et al., 2004, S. 153)

*Kompetenzstufe 3:* Stufe 3 ist die höchste zu erreichende Kompetenzstufe. Schüler, die Aufgaben aus dieser Stufe erfolgreich lösen, können sehr



## 2. Problemlösen

anspruchsvolle Probleme bearbeiten und zeigen eine systematische Herangehensweise. Schüler können eigene Repräsentationsformen (z.B. Graphen) entwickeln und ihre Lösungen erfüllen alle mit der Aufgabenstellung gegebenen Bedingungen. Die Schwierigkeit der Aufgaben ist weiter als eine Standardabweichung oberhalb vom OECD-Mittelwert entfernt. Als Beispielitem hierfür ist die Aufgabe zu den ANSCHLUSSZÜGEN (teilweise und vollständig gelöst) aus Tabelle 2.9 zu nennen.

*Kompetenzstufe 2:* Die Probleme der Kompetenzstufe 2 sind begrenzte konkrete Problemsituationen. Schüler können bei diesen Problemen mögliche Konstellationen systematisch vergleichen und begründen, worauf die Entscheidung für eine Lösung beruht. Die Schwierigkeit der Aufgaben liegt innerhalb einer Standardabweichung oberhalb des OECD-Mittelwerts. Eine vollständige Bearbeitung der Auswahl eines geeigneten Films bei der Aufgabe zum KINOESUCH (s.h. 2.9) ist in dieser Kompetenzstufe angesiedelt.

*Kompetenzstufe 1:* Schüler, die Anforderungen für Kompetenzstufe 1 erfüllen, können nur Probleme lösen, deren Informationen aus einer einzigen, wohldefinierten Datenquelle stammen. Sie können grundlegende Strukturen solcher Probleme verstehen und lösungsrelevante Informationen in eine andere Darstellungsform überführen. Schwierigere Probleme, die z.B. mehrere Informationsquellen benötigen, können nicht bearbeitet werden. Die Schwierigkeit der Aufgaben liegt innerhalb einer Standardabweichung unterhalb des OECD-Mittelwerts. In dieser Kompetenzstufe liegt die Auswahl eines geeigneten Termins bei der Aufgabe zum KINOESUCH (s.h. Tabelle 2.9).

*Unter Kompetenzstufe 1:* Schüler, die die Kompetenzstufe 1 nicht erreichen können, haben große Schwierigkeiten Entscheidungen zu treffen oder Systeme zu analysieren und zu bewerten. Sie können lediglich Aufgaben bearbeiten, bei denen wenige einfache Fakten zu berücksichtigen sind. Die Autoren von PISA merken im Sinne einer aktiven gesellschaftlichen Partizipation an, dass bei diesen Schülern eine erfolgreiche Teilnahme an der Arbeitswelt nicht sichergestellt werden kann. (vgl. Leutner et al., 2004) Die Schwierigkeit der Aufgaben ist weiter als eine Standardabweichung

unterhalb vom OECD-Mittelwert entfernt. Unterhalb von Kompetenzstufe 1 liegt das Problem zum ENERGIEBEDARF, bei dem angegeben werden soll, wie groß der Bedarf bei einer Person ist (s.h. Tabelle 2.9).

\*

Problemlösekompetenz im Sinne von PISA ist eine fächerübergreifende Kompetenz mit großen Überschneidungen zur klassischen Intelligenz. Für die hier vorgestellte Arbeit wird nicht auf die Problemlösekompetenz im Sinne von PISA zurückgegriffen, da sich diese nicht mit dem Problemverständnis nach Smith (1991a) und der Anlage wissenszentrierter Probleme, wie beispielsweise Schulbuchproblemen, deckt. Die Definition nach PISA ist zu breit gefasst, nicht domänenspezifisch, zu stark outputorientiert und setzt kein, beziehungsweise kaum vorhandenes Wissen voraus. Nichtsdestotrotz verweisen die Autoren von PISA als theoretischen Hintergrund ebenfalls auf die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Arbeiten (z.B. Definition von „Problem“; Problemlösen nach Pólya; Bedeutung von Wissen).

Die PISA-Studien sind jedoch im Hinblick auf die Auswertung in Form von Kompetenzstufen als nützlich für die eigenen Auswertungen (s.h. Kapitel 5) einzuschätzen.

### 2.4.5. Wissenszentriertes Problemlösen nach Friege (2001)

Das Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (2001) vereint die Ergebnisse der Expertiseforschung (Kapitel 1) und der Forschung zum Problemlösen (Kapitel 2) in der Physik und angrenzenden Domänen (vgl. Friege, 2001; Reinhold et al., 1999) und untersucht die Problemlöseprozesse und Wissenskomponenten, die bei der Bearbeitung wissenszentrierter Probleme (s.h. Kapitel 2.2) benötigt werden.

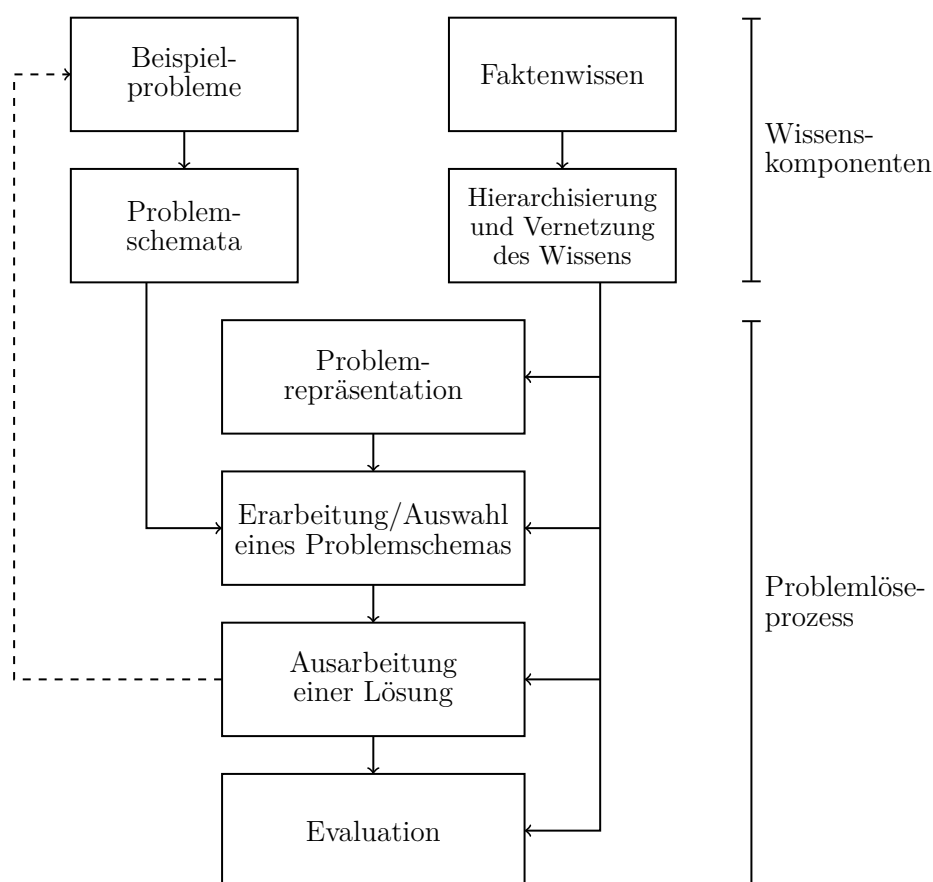


Abbildung 2.8.: Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (2001)

Die Struktur des Modells (s.h. Abbildung 2.8) ist grundsätzlich zweigeteilt – im oberen Teil werden die benötigten Wissenskomponenten und ihre Vernetzung untereinander untersucht, im unteren Teil werden die ablaufenden Problemlöseprozesse und die Verbindungen zu den relevanten Wissenskomponenten genannt.

Die Darstellung des Problemlöseprozesses orientiert sich unter anderem an den weiter oben vorgestellten Modellen von Dewey (2002) und Pólya

(1985) und überträgt die charakteristischen Schritte auf wissenszentrierte Probleme in der Physik. Friege (2001) merkt an, dass dieses Modell nicht, wie z.B. das strukturell ähnliche Modell von Heller & Reif (1984) (Kapitel 2.4.3.4), präskriptiv zu verstehen ist, sondern lediglich eine „*Aufzählung der wesentlichen Stationen, die beim Problemlösen in einer wohlstrukturieren Domäne wie der Physik oder Mathematik auftreten [...]*.“ (Friege, 2001, S. 78). Erfahrene Problemlöser vollziehen z.B. nicht zwingend eine Trennung der Repräsentation und der Auswahl / Erarbeitung eines Problemschemas – was eher für weniger erfolgreiche Problemlöser typisch ist – sondern beziehen diese Schritte implizit in ihre Lösungsansätze mit ein (vgl. Friege, 2001). Auch der zeitliche Ablauf der Phasen ist nicht zwingend linear. So sind, insbesondere bei komplizierteren Problemen, Zwischenschritte nötig, die zu Teilrepräsentationen und Teillösungen führen. Eine solche Auffassung des Problemlösens als zyklische Prüfung von Hypothesen entspricht insbesondere dem von Dewey (2002) beschriebenen Verlauf des Problemlösens. Für Pólya (1985) liegt mehr ein lineares Vorgehen vor.

Die Wissenkomponenten wurden im Wesentlichen bereits im Kapitel 1.3.2 dargelegt. Sie umfassen deklaratives Wissen (*Faktenwissen*), strukturelles Wissen (*Hierarchisierung und Vernetzung des Wissens*) und das Wissen über *Beispielprobleme* und *Problemschemata*. Die Beziehungen zwischen den verschiedenen Wissenkomponenten werden über Pfeile dargestellt. So kann eine Hierarchisierung und Vernetzung des Wissen nur anhand des aufgebauten Faktenwissens stattfinden. Die Strukturierung des Wissens in Kombination mit dem Wissen über Beispielprobleme beeinflusst, welche Problemschemata ausgebildet werden.

Die Bearbeitung von wissenszentrierten Problemen erfolgt formal nach vier Phasen, die unterschiedliche Anforderungen an den Bearbeitenden stellen und im Folgenden kurz vorgestellt werden. Eine genauere Darlegung der Inhalte der einzelnen Phasen findet in Kapitel 2.5 statt.

(1) *Problemrepräsentation*: Die physikalischen Inhalte eines Problems werden erkannt und mit Fachtermini ausgedrückt. Zur Repräsentation gehören Skizze, physikalische Konzepte und Idealisierungen. (2) *Auswahl /*

## 2. Problemlösen

*Erarbeitung eines Lösungswegs:* Ist ein ähnliches Problem wie das zu bearbeitende bereits bekannt, kann dies als Beispielpunkt für den Lösungsweg herangezogen werden. Ist kein ähnliches Problem bekannt, wird durch Rückgriff auf Faktenwissen (z.B.  $F = m \cdot a$ ) und Beziehungen zwischen Wissensselementen (Kräfte addieren sich) ein neuer Lösungsweg entwickelt. (3) *Erarbeitung einer Lösung:* Unter Verwendung des Lösungswegs wird eine Lösung ausgearbeitet. Hierbei stehen Probleme mathematischer Natur im Vordergrund. (4) *Evaluation:* Nachdem eine Lösung ermittelt wurde, wird versucht, diese auf ihre Richtigkeit zu prüfen.

\*

Das Modell von Friege (2001) vereint die bisher vorgestellten Erkenntnisse aus der Expertiseforschung und der Forschung zum Problemlösen und bringt die ablaufenden Problemlöseprozesse (vgl. Kapitel 2.5) mit dem erforderlichen Wissen (vgl. Kapitel 1.3.2) zusammen.

Die Einteilung des Problemlöseprozesses in vier Phasen fasst die wesentlichen Schritte aller in Kapitel 2.4 vorgestellten Modelle zusammen und liefert auch die grundlegende Struktur für die in Kapitel 2.5 verwendete Strukturierung des Problemlöseprozesses.

Im nächsten Kapitel wird begründet, worin die Vorteile des Modells von Friege liegen und warum es als zugrundeliegendes Modell für diese Arbeit ausgewählt wurde. Ausgewählte Ergebnisse der Untersuchung von Friege zum Zusammenhang zwischen den verschiedenen Wissensarten und dem Problemlösen werden in Kapitel 2.7.1.1 vorgestellt.

### 2.4.6. Begründung der Wahl des Modells nach Friege (2001)

Das im vorangegangenen Kapitel 2.4.5 vorgestellte Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001) wird als grundlegendes Modell für die hier vorgestellte Arbeit ausgewählt, was im Folgenden begründet wird.

Grundsätzliches Ziel der Arbeit (s.h. Forschungsfragen und Hypothesen Kapitel 3) ist die Aufstellung eines Modells zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen bei Studierenden über verschiedene Faktoren, wie z.B. Fachwissen oder Selbstkonzept (s.h. Kapitel 2.7) und eine Beschreibung der Größe des jeweiligen Einflusses.

Um nun den Erfolg beim Problemlösen adäquat messen zu können, muss der Problemlöseprozess an sich betrachtet werden. Hierbei ist zu beachten, dass, als Gemeinsamkeit über alle der in Kapitel 2.4 vorgestellten Modelle, der Problemlöseprozess in verschiedene Phasen strukturiert ist, die aufeinander aufbauen und unterschiedliche Anforderungen an den Bearbeitenden stellen. Somit ist ohne eine geeignete Repräsentation (wie auch immer diese durch das Modell gekennzeichnet ist) keine Lösung des Problems möglich. Sollte ein Student also beispielsweise bei der Repräsentation scheitern, kann nicht beobachtet werden, ob er – bei Vorgabe der relevanten Informationen – die Lösung durchführen kann. Dies wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit als problematisch angesehen, weshalb eine getrennte Erhebung des Erfolgs in den unterschiedlichen Phasen erfolgen soll. Hierzu wird nun ein Modell benötigt, das eine klare Abgrenzung der einzelnen Phasen zueinander enthält, um eine geeignete Operationalisierung zu ermöglichen. Das Modell von Friege (2001) erfüllt diese Anforderung, wie kurz in Kapitel 2.4.5 angerissen wurde und in Kapitel 2.5 ausführlicher dargelegt wird.

Um ein Modell zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen aufzustellen, müssen Faktoren ausgewählt werden, von denen auch ein Einfluss zu erwarten ist. Im Rahmen des Kapitels 1 zur Expertiseforschung wurden unter anderem das Wissen und die Erfahrung als wesentliche Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln in einer Domäne identifiziert. Insbeson-

## 2. Problemlösen

dere das „Wissen“ nimmt in Frieges Modell einen zentralen Platz ein und es wird nicht nur die Bedeutung des deklarativen Faktenwissens beschrieben, sondern auch dem Einfluss des Wissens über Beispielprobleme und Problemschemata Rechnung getragen, die insbesondere in der Physik für erfolgreiches Problemlösen wichtig sind (s.h. auch Kapitel 2.7). Das Modell des wissenszentrierten Problemlösen verzahnt die vorgestellten Ergebnisse aus der Expertiseforschung und der Forschung zum Problemlösen miteinander und ist somit für das Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit in besonderem Maße geeignet.

Friege (2001) bezieht nicht nur die Ergebnisse der Expertiseforschung in sein Modell mit ein, sondern baut bei der Erstellung seines Modells auch auf den Arbeiten anderer in diesem Kapitel vorgestellten Autoren (z.B. Dewey, 2002; Pólya, 1985; Heller & Reif, 1984) auf. Er verbindet dadurch die Ergebnisse der verschiedenen Forschungsarbeiten und arbeitet die Gemeinsamkeiten prägnant und praktikabel heraus. Somit stellt das Modell des wissenszentrierten Problemlösens ein Kondensat der gängigen Modelle des Forschungsgebiets dar.

Hierbei hat das Modell von Friege (2001) den Vorteil, ein auf die Domäne Physik spezifiziertes Modell zu sein – die von Pólya (1985) verwendete ähnliche Einteilung des Problemlösens ist beispielsweise auf die Domäne Mathematik bezogen, was eine direkte Übertragung auf die Physik schwierig macht. Durch die Verortung innerhalb der Physik sind die Inhalte der einzelnen Phasen zum Problemlösen sehr gut definiert und im Hinblick auf ein Instrument zur Erhebung des Erfolgs beim Problemlösen angemessen operationalisierbar. Andere domänenspezifische Modelle, z.B. das von Larkin et al. (Kapitel 2.4.3.3) oder Heller & Reif (Kapitel 2.4.3.4) fokussieren zu sehr auf einzelne Aspekte des Problemlösens, wie die Wahl der Lösungsmethode oder die Erstellung einer geeigneten Repräsentation und sind daher ungeeignet als Grundlage zur Darstellung des gesamten Problemlöseprozesses.

Auch die Wahl der betrachteten Probleme ist im Rahmen des Modells nach Friege wohldefiniert. Der Autor nutzt ebenfalls die Definition nach Smith (1991a), um den Problembegriff näher einzugrenzen und verwendet

wissenszentrierte Probleme (s.h. 2.2) als Ausgangspunkt seiner Untersuchungen zum Problemlösen. Dies ermöglicht eine klare theoretische Abgrenzung zu anderen Problemtypen (bzw. „Aufgaben“ im Sinne von Dörner, 1976). Zudem ist – als klassische Vorgehensweise in der einschlägigen Forschung – die Nutzung von Schul- bzw. Lehrbuchproblemen zur Bestimmung des Erfolgs beim Problemlösen möglich, da viele dieser Probleme die Vorgaben an wissenszentrierte Probleme erfüllen.

Zusammengefasst stellt das Modell von Friege (2001), nicht zuletzt wegen seiner Einbettung in die neuere physikdidaktische Forschung, ein gutes Fundament zur empirischen Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen dar und wird als Basis dieser Arbeit herangezogen. Dementsprechend werden im nächsten Kapitel, aufbauend auf dem Modell von Friege (2001), die Inhalte der einzelnen Phasen der verwendeten Strukturierung des Problemlöseprozesses vorgestellt.



### 2.5. Strukturierung des Problemlöseprozesses

In diesem Kapitel werden die einzelnen Phasen des Problemlösens vorgestellt, anhand derer der Problemlöseprozess im Rahmen der vorliegenden Arbeit strukturiert wird. Die Abgrenzung der Phasen voneinander basiert im Wesentlichen auf dem Modell von Friege (2001) (s.h. Kapitel 2.4.5) zum wissenszentrierten Problemlösen. Die Inhalte der einzelnen Phasen, die sich in ihrer Grundstruktur in allen weiter oben vorgestellten Modellen wiederfinden, werden anhand des folgenden Beispielproblems aus der Mechanik<sup>11</sup> vorgestellt:

#### **Problem**

Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.  
Problem nach Sherin (2001)

Abbildung 2.9.: Beispiel für ein wissenszentriertes Problem

#### 2.5.1. Problemrepräsentation

Der erste Schritt zur Lösung besteht darin, das Problem aus der „Alltags-situation“ in die physikalische Sprache zu übersetzen. Hierbei werden die wesentlichen Inhalte einer Situation erkannt, passende physikalische Fachtermini verwendet, Symbole eingeführt und Idealisierungen angenommen. Eine Skizze, die die Inhalte der physikalischen Situation darstellt, wird angefertigt.

Am unten stehenden Beispiel (s.h. Abbildung 2.10) bedeutet dies, dass erkannt wird, dass es sich um ein Problem handelt, bei dem die Reibung zwischen Körper und Oberfläche eine wesentliche Rolle spielt. Es werden Überlegungen über beteiligte Kräfte und Bewegungen durchgeführt, welche auch in die Skizze übertragen werden. Zentral für die Repräsentation ist die Idee einer der Anfangsgeschwindigkeit entgegenwirkenden Abbremsung

---

<sup>11</sup>Die Mechanik wurde gewählt, da die im späteren Verlauf vorgestellte Untersuchung auf Problemen aus der Mechanik basiert.

durch die Reibung. Diese Grundidee wird in der Auswahl / Erarbeitung eines Lösungsansatzes aufgegriffen. Die Richtung der beteiligten Größen wird in der Skizze mit Pfeilen dargestellt. Als Idealisierung, die die Situation vereinfachen soll, wird angenommen, dass die Stärke der Reibung lediglich von der Gewichtskraft des Körpers und der Beschaffenheit der Oberfläche abhängt (Coulomb-Reibung) und nicht noch beispielsweise von der Geschwindigkeit.

### Repräsentation

Der Körper hat durch das Anstoßen eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit und würde sich in einer reibungsfreien Umgebung gleichförmig über den Tisch bewegen. Tatsächlich erfährt der Körper jedoch Reibung, welche in Form einer Kraft der Bewegung des Körpers entgegen wirkt und ihn abbremst, bis er zur Ruhe kommt. Die Reibung ist abhängig von der Gewichtskraft des Körpers, jedoch unabhängig von der Größe seiner Oberfläche.

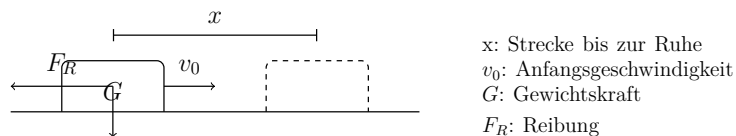


Abbildung 2.10.: Beispiel für die Repräsentation

Die Repräsentation ist ein, wenn nicht *der* wesentliche Schritt zur Lösung eines Problems, weshalb sich auch viele Forschungen intensiv mit ihr beschäftigt haben (aus der Physik s.h. z.B. Chi et al., 1981; Reif & Heller, 1982; Heller & Reif, 1984; Chi et al., 1982). Ohne eine geeignete Repräsentation können die darauf aufbauenden Lösungsschritte nicht oder nur erschwert durchgeführt werden. Gute Repräsentationen können die Lösung eines Problem unter Umständen so vereinfachen, dass die darauf folgenden Schritte quasi „automatisch“ erfolgen müssen (s.h. z.B. Newell & Simon, 1972; Heller & Reif, 1984; Friege, 2001; Reif, 2008). Deshalb ist es wichtig, ausreichend Zeit in die Erstellung einer Repräsentation zu investieren. Charakteristisch für Novizen ist jedoch, dass dieser Schritt vernachlässigt wird (s.h. auch Kapitel 2.7.5).

### 2.5.2. Auswahl / Erarbeitung eines Problemschemas

Nachdem eine Repräsentation gefunden wurde, wird im nächsten Schritt ein geeigneter Lösungsweg<sup>12</sup> gesucht. Dies geschieht in Rückgriff auf bereits bekannte Problemschemata (s.h. Kapitel 1.3.2). Verfügt der Bearbeitende über ein geeignetes Problemschema, kann es auf das aktuelle Problem übertragen werden. Ist keines bekannt, muss, ausgehend von der Repräsentation, anhand von Wissen über relevante physikalische Fakten und Beziehungen zwischen Wissenselementen ein neues Problemschema erarbeitet werden. Es werden nun auch quantitative Überlegungen z.B. Formeln miteinbezogen. Das folgende Beispiel zeigt die Erarbeitung eines Lösungswegs ohne direkten Rückgriff auf ein vorgefertigtes Problemschema.

Experten fällt es, wie auch in Kapitel 2.7.5 dargelegt wird, leichter auf Problemschemata zurückzugreifen, da sie in der Regel bereits mehr Probleme gelöst haben als Novizen und sie auf einer abstrakteren Ebene kategorisieren. Die Routine von Experten führt auch dazu, dass die von Friege getrennt dargestellten Phasen oftmals zusammenfallen – da sie jedoch bei Novizen häufig beobachtet und auch geübt werden können, wird diese Trennung trotzdem vorgenommen (vgl. Friege, 2001).

Die Erarbeitung eines Lösungswegs ohne Rückgriff auf bereits bekannte Problemschemata ist fehleranfällig und wird hauptsächlich von Novizen verwendet (vgl. Friege, 2001). Aber auch Experten müssen so zu einem Lösungsansatz kommen, wenn sie über kein geeignetes Problemschema für ein Problem verfügen.

Im Bereich der Mechanik lassen sich folgende übergeordnete Problemschemata finden (s.h. z.B. Chi et al., 1981; Schultz & Lochhead, 1991), die natürlich eine Vielzahl von Problemen umfassen und zusammen auftreten können:

*Überlagerung von Bewegungen:* Bewegungen überlagern sich ungestört (Superposition). Daraus folgt, dass z.B. der Abbremsvorgang als eine gleichförmige Bewegung gesehen werden kann, der einer Beschleunigung entgegenwirkt, bis die Geschwindigkeit 0 ist und ein Körper zur Ruhe kommt.

---

<sup>12</sup> „Problemschema“ und „Lösungsweg“ werden von Friege (2001) weitestgehend synonym verwendet, wobei der „Lösungsweg“ sich mehr auf ein konkret vorliegendes Problem bezieht.

### Erarbeitung eines Lösungsansatzes

Die Repräsentation führt einige Begriffe und Konzepte ein, die in Erinnerung gerufen werden:

- Die Reibung  $F_R$  ist eine Kraft, die der Bewegungsrichtung entgegengerichtet ist. Sie ist abhängig von der Gewichtskraft  $G$  und den Materialien der Oberflächen. Hierbei gilt, im Falle der Coulomb-Reibung, der einfache Zusammenhang  $F_R \propto G$ .
- Kräfte wirken, indem sie eine Bewegungsänderung (in Betrag oder Richtung) bei einem Körper durchführen. Hierbei gilt  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ .
- Wirken auf einen Körper keine Kräfte, so bewegt er sich gleichförmig mit  $v_0$ . Hierbei gilt folgendes Weg-Zeit-Gesetz:  $s(t) = v_0 \cdot t$ .
- Wird ein Körper (gleichförmig) mit  $a$  beschleunigt, so gilt das Weg-Zeit-Gesetz:  $s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$  und Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz  $v(t) = a \cdot t + v_0$ .
- Bewegungen überlagern sich ungestört und werden (vektoriell) addiert (Superpositionsprinzip).

### Lösungsschritte

Ausgehend von der Idee der Repräsentation, dass die Reibung der Bewegung so lange entgegenwirkt, bis der Körper zur Ruhe kommt, werden folgende Lösungsschritte aufgestellt:

*(1) Die (negative) Beschleunigung aufgrund der Reibung bestimmen.*

Reibung und Gewichtskraft des Körpers sind bei der Coulomb-Reibung zueinander proportional.

*(2) Die Zeit berechnen, nach der der Körper zur Ruhe kommt.*

Der gleichförmigen Geschwindigkeit  $v_0$  wirkt die beschleunigte Bewegung durch die Reibung entgegen, bis der Körper zur Ruhe kommt.

*(3) Den Weg berechnen, nach dem der Körper zur Ruhe kommt.*

Aus der in Schritt (2) ermittelten Zeit kann der Weg berechnet werden, nach dem der Körper zur Ruhe kommt.

Abbildung 2.11.: Beispiel für die Erarbeitung eines Lösungswegs

## 2. Problemlösen

Bei Problemen, die Bewegungen beinhalten, wird analysiert, welche grundlegenden Bewegungen (gleichförmig oder beschleunigt) sich überlagern. Hieraus können dann einfach Gleichungen für die entsprechenden Situationen generiert werden. Das in diesem Kapitel vorgestellte Problem lässt sich am besten dem letzten Lösungsschema zuordnen, mit dem „Unterschema“ Bremsvorgänge.

*Energieansatz:* Der Energieansatz geht von der Energieerhaltung aus, die besagt, dass in einem geschlossenen System Energie weder erzeugt noch vernichtet werden kann, sondern dass Energieformen lediglich ineinander umgewandelt werden. Um zu einer Lösung zu gelangen, müssen Situationen auf ihre jeweiligen „Energieanteile“ untersucht werden – z.B. welcher Anteil der gesamt vorhandenen Energie ist zu einem gewissen Zeitpunkt in kinetischer Energie gespeichert und welcher in potenzieller Energie. Typisch für Probleme zum Energieansatz sind „Vorher-Nachher-Situationen“, bei denen keine Verformung etc. auftritt.

*Kraftansatz:* Der Kraftansatz geht davon aus, dass in statischen Situationen, wenn also keine beschleunigte Bewegung stattfindet, die Summe aller auf einen Körper wirkenden Kräfte gleich 0 sein muss (Zweites Newtonsches Gesetz). Es wird analysiert, welche Kräfte vorhanden sind und wie diese sich ausgleichen. Hierbei spielen Kraftdiagramme eine wesentliche Rolle.

*Impulsansatz:* Der Impulsansatz geht von der Impulserhaltung aus und liefert Lösungsansätze durch die Grundidee, dass der Impuls eine Erhaltungsgröße ist. Typisch für Probleme zum Impulsansatz sind „Vorher-Nachher-Situationen“, bei denen beispielsweise Verformung auftritt und deswegen eine Betrachtung mit dem Energieansatz schwierig bis unmöglich ist. Probleme zur Impulserhaltung wurden in dieser Arbeit nicht zur Bearbeitung herangezogen.

### 2.5.3. Erarbeitung einer Lösung

Nachdem mit der Repräsentation und dem Lösungsweg die wesentlichen Grundsteine zur Lösung gelegt wurden, wird diese im Folgenden erarbeitet. Wenn Repräsentation und Lösungsweg für das Problem geeignet waren, erfolgt dieser Schritt, wie bereits weiter oben dargelegt, quasi „von selbst“ –

### Konkurrierende Termteile:<sup>1</sup>

|                         |                                                                                                                     |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\square + \square$     | Ergänzende Termteile; z.B. Kräfte, die in die gleiche Richtung wirken                                               |
| $\square - \square$     | Entgegenwirkende Termteile; z.B. Kräfte, die einander entgegenwirken; enthält oft „Richtung“ des Koordinatensystems |
| $\square = \square$     | Im Gleichgewicht; z.B. Kräftegleichgewicht                                                                          |
| $0 = \square - \square$ | Ausgleich entgegenwirkender Termteile; z.B. Bewegung kommt zur Ruhe                                                 |

### Terme als Mengen:

|                                     |                                                                                                                 |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\square + \square + \square \dots$ | Teile, die zu einem Ganzen beitragen, sich aber nicht gegenseitig beeinflussen; z.B. verschiedene Energieformen |
| $\square \pm D$                     | Abweichung von einem Basiswert                                                                                  |
| $\square = \square$                 | Gleiche Menge; z.B. Energieerhaltung                                                                            |

### Proportionalität:

|                         |                                                                     |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| $\dots x \dots / \dots$ | Proportionalität; je größer, desto größer                           |
| $\dots / \dots x \dots$ | Umgekehrte Proportionalität; je größer, desto kleiner               |
| $n \cdot \square$       | Koeffizient; gibt Stärke eines Effekts z.B. bei Proportionalität an |

<sup>1</sup>  $\square$  Steht für einen Termteil, also beispielsweise eine bestimmte Größe (Kraft F) oder ausgeschriebene Formeln ( $\frac{1}{2}mv^2$ )

Tabelle 2.10.: Auswahl von Strukturierungsmöglichkeiten für Terme und Gleichungen nach Sherin (2001)

nichtsdestotrotz kann es noch zu Fehlern z.B. mathematischer Natur kommen, weshalb eine Lösung nicht zwangsweise zu einem richtigen (oder vollständigen) Ergebnis führen muss. Wird während der Lösung festgestellt, dass Repräsentation oder Lösungsweg doch nicht geeignet sind, müssen diese nachträglich angepasst werden. Im Folgenden wird die Lösung des oben vorgestellten Problems durchgeführt (s.h. Abbildung 2.12). Im Vordergrund steht nun, wie die physikalischen Inhalte (z.B. Proportionalität oder Superposition von Bewegungen) mathematisch dargestellt und manipuliert werden können. Sherin (2001) liefert eine ausführliche Arbeit dazu, wie verschiedene physikalische Inhalte mathematisch beschrieben werden können (s.h. Tabelle 2.10).

Auch bei dieser Phase ist es schwierig, sie (z.B. in schriftlichen Lösungen)

### Ausarbeitung der Lösung

(1) Die (negative) Beschleunigung aufgrund der Reibung bestimmen:

Einführung eines Proportionalitätsfaktors, dem Reibungskoeffizienten  $\alpha$ , um die Beschleunigung durch die Reibung aus der Gewichtskraft zu berechnen.

$$F_R \propto G \Rightarrow F_R = \alpha \cdot G$$
$$a_R = \alpha \cdot g$$

(2) Die Zeit berechnen, nach der der Körper zur Ruhe kommt:

Der Anfangsbewegung  $v_0$  wirkt die beschleunigte Bewegung aufgrund der Reibung  $a_R \cdot t$  entgegen. Mathematisch stellt man dies durch Subtraktion dar. Von Interesse ist die Zeit  $t_0$ , nach der der Körper zur Ruhe kommt  $v(t_0) = 0$ .

$$v(t_0) = 0 = v_0 - a_R \cdot t_0$$

Durch Umformung erhält man die Zeit  $t_0$ , nach der der Körper zur Ruhe kommt.

$$t_0 = \frac{v_0}{a_R}$$

(3) Den Weg berechnen, nach dem der Körper zur Ruhe kommt:

Auch für den Weg gilt, dass der gleichförmigen Anfangsbewegung  $v_0 \cdot t$  die beschleunigte Bewegung aufgrund der Reibung  $\frac{1}{2} \cdot a_R \cdot t^2$  entgegenwirkt. Mathematisch wird dies wiederum durch Subtraktion dargestellt. Von Interesse ist der Weg  $x$ , der nach der Zeit  $t_0$ , also bis zur Ruhe, zurückgelegt wurde.

$$s(t_0) = x = v_0 \cdot t_0 - \frac{1}{2} \cdot a_R \cdot t_0^2$$

Durch Umformung erhält man den Weg  $x$ , nach dem der Körper zur Ruhe kommt in Abhängigkeit von der Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  und dem Reibungskoeffizienten  $\alpha$ .

$$x = \frac{v_0^2}{2\alpha \cdot g}$$

Abbildung 2.12.: Beispiel für die Lösung

## 2.5. *Strukturierung des Problemlöseprozesses*

von der Repräsentation und insbesondere der Erarbeitung der Lösungsschritte zu trennen (vgl. Friege, 2001). Im Hinblick auf eine differenzierte Untersuchung des Problemlöseprozesses werden die Schritte trotzdem getrennt voneinander untersucht.



### 2.5.4. Evaluation

Nachdem eine Lösung ermittelt wurde, gehört zum vollständigen Problemlöseprozess, dass versucht wird, die Richtigkeit dieser Lösung zu bestätigen. Hierfür können verschiedene Methoden gewählt werden (vgl. Heller & Reif, 1984; Friege, 2001):

(1) *Überprüfen der Einheiten*: Sicherstellen, dass die berechneten Größen die richtigen Einheiten haben. (2) *Überprüfen der Größenordnung*: Wenn numerische Ergebnisse berechnet werden, kann die Größenordnung überprüft werden – z.B.: Sind Kräfte in dieser Größenordnung sinnvoll? (3) *Vergleich mit bekannten Fakten*: Es sollten keine Widersprüche zu bekannten Fakten auftreten. (4) *Grenzfallbetrachtungen*: Geht die Lösung bei der Grenzwertbildung von bestimmten Größen (z.B. gegen 0 oder Unendlich) in bekannte Gesetze über? (5) *Symmetrieüberlegungen*: Wird die Lösung vorher durchgeführten Symmetrieüberlegungen gerecht? (6) *Verletzung von Erhaltungssätzen*: Werden Erhaltungssätze verletzt? (7) *Überprüfen der Mächtigkeit der Lösungsmenge*: Sind alle berechneten Lösungen physikalisch sinnvoll?

Betrachtet man die obige Lösung, können mindesten zwei Prüfungen auf Richtigkeit erfolgen (s.h. Abbildung 2.13).

(1) *Überprüfung der Einheiten*: Die Überprüfung der Einheiten ergibt, dass das Ergebnis tatsächlich eine Strecke angibt ( $\alpha$  ist ein einheitenloser Koeffizient):

$$[x] = \frac{[v_0]^2}{[g]} = \frac{\frac{m^2}{s^2}}{\frac{m}{s^2}} = m$$

(2) *Vergleich mit bekannten Fakten*: Je größer die Reibung, also der Reibungskoeffizient  $\alpha$ , desto kürzer ist der zurückgelegte Weg, da  $\alpha$  im Nenner des Bruchs steht. Dies war zu erwarten, da bei größerer Reibung ein Körper erfahrungsgemäß schneller zur Ruhe kommt.

Abbildung 2.13.: Beispiel für die Evaluation

Natürlich ist auch eine erfolgreiche Evaluation kein Garant dafür, dass die Lösung tatsächlich richtig ist – sie erhöht lediglich die Wahrscheinlich-

keit dafür (vgl. Friege, 2001). Evaluationen, die über eine Einheitenkontrolle hinausgehen, können durchaus fordernd sein, da für die oben aufgelisteten Verfahren viel physikalisches Wissen vorhanden sein muss.

In Lösungsprotokollen von Schülern wird eine Evaluation der erarbeiteten Lösungen selten gezeigt (vgl. Friege, 2001) – es herrscht vielmehr eine gewisse Zufriedenheit darüber, dass überhaupt eine Lösung erreicht wurde, sodass diese nicht weiter hinterfragt wird. Auch wenn die Lösungen von Problemen beispielsweise vom Lehrer vorgestellt werden, spielt die Evaluation oft keine Rolle. Es wird angenommen, dass der Lehrer oder das Schulbuch schon alles richtig macht.

Experten wird nachgesagt (vgl. Gruber & Mandl, 1996), dass bei ihnen die Selbstkontrolle höher ausgeprägt ist und sie deswegen ihre einzelnen Lösungsschritte gewissenhafter überprüfen als Novizen. Friege (2001) weist darauf hin, dass diese Aussage eher auf Plausibilität als auf tatsächlichen empirischen Fakten beruht und auch Experten bei schulnahen Problemen eher auf eine ausführliche Evaluation am Ende verzichten. Für Experten, die jedoch aus Berufsgründen Probleme lösen müssen (z.B. Ingenieure), stellt die Evaluation einen integralen Bestandteil des Problemlösens dar (vgl. Friege, 2001), da etwaige Fehler (z.B. bei der Konstruktion einer Brücke) zu weitreichenderen Konsequenzen führen können, als Lösungen von Problemen aus Schulbüchern.

### 2.5.5. Nachvollziehen

Da, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, die Evaluation von Problemen nur selten gezeigt wird, wird diese Phase bei der Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen durch das Nachvollziehen von ausgearbeiteten Problemen ersetzt. Hierbei handelt es sich strenggenommen nicht um einen Problemlöseprozess, jedoch ist davon auszugehen, dass die Fähigkeit zum Erklären bereits ausgearbeiteter Probleme elementar für die Problemlösefähigkeit als solche ist – nur so können Problemschemata und Beispielprobleme gebildet werden.

Beim obigen Beispiel würden den Bearbeitenden die ausgearbeitete Lösung in Form der Skizze und der einzelnen mathematischen Lösungsschritte

## 2. Problemlösen

vorgelegt. Ausgehend davon sollen die Bearbeitenden erklären, wie es zu den einzelnen Schritten kommt.

\*

In diesem Kapitel wurden die verschiedenen Phasen im Problemlöseprozess vorgestellt. Die Einteilung und Benennung beruht im Wesentlichen auf der Arbeit von Friege (2001), jedoch folgen auch die anderen in Kapitel 2.4 vorgestellten Modelle im Grunde einem identischen Ablauf. Die Inhalte und Anforderungen der einzelnen Phasen sind gut voneinander abgegrenzt, was eine wesentliche Voraussetzung für die später stattfindende Operationalisierung in Form eines Problemlösetest ist (s.h. Kapitel 4.3.1).

Während der Repräsentation findet ein Übersetzungsprozess zwischen der gegebenen Problemstellung („Realität“) und der Sprache der Physik statt. Eine gute und ausführliche Repräsentation ist für erfolgreiches Problemlösen unverzichtbar und beeinflusst alle darauf aufbauenden Schritte – eine fehlerhafte Repräsentation führt (oft) zu einer falschen Lösung, wohingegen eine angemessene Repräsentation fast automatisch eine richtige Lösung generiert. Aufbauend auf der Repräsentation wird bei der Erarbeitung eines Lösungswegs aus bekannten Problemschemata, wenn vorhanden, ein passendes ausgewählt. Ist keines bekannt, muss durch Faktenwissen und durch Kenntnisse über Beziehungen zwischen Wissens-elementen ein „neuer“ Lösungsweg erstellt werden. Ausgehend vom Lösungsweg wird die Lösung durchgeführt – mathematische Probleme, wie die Übersetzung der physikalischen Inhalte in mathematische Symbole oder algebraische Umformungen, stehen nun im Vordergrund. Da die Evaluation (die Überprüfung der erhaltenen Ergebnisse) unter Schülern bzw. Studierenden nur wenig gezeigt wird, wird diese Phase im später vorgestellten Problemlösetest durch das Nachvollziehen einer ausgearbeiteten Lösung ersetzt.

Durch die verschiedenen Anforderungen wird angenommen, dass die einzelnen Phasen unterschiedlich schwierig sind. Plausibel ist die Annahme, dass die Repräsentation und die Erarbeitung eines (neuen) Lösungsweges schwieriger für Problemlöser sind als die Lösung und das einfache Nach-

## 2.5. *Strukturierung des Problemlöseprozesses*

vollziehen einer ausgearbeiteten Lösung. Diese Vermutung wird im Rahmen der Auswertung (s.h. Kapitel 5) überprüft.

### 2.6. Abgrenzung zum Modellieren

Neben dem „Problemlösen“ ist das „Modellieren“ ein weiterer fundamentaler Prozess in der Physik (und auch in der Mathematik). Die beiden Begrifflichkeiten liegen – abhängig von der Disziplin – durchaus nahe beieinander, auch wenn es sich nicht zwingend um identische Tätigkeiten handelt. Insbesondere bei einem Blick in die Mathematik zeigen sich Ähnlichkeiten zwischen Modellieren und Problemlösen. Um die Begrifflichkeiten in den verschiedenen fachdidaktischen Richtungen klar voneinander zu trennen, soll in diesem Kapitel das Modellieren sowohl in der Physik als auch der Mathematik kurz umrissen und voneinander abgegrenzt werden. Abschließend wird das Problemlösen zu beiden Begriffen in Beziehung gesetzt.

#### 2.6.1. Modellbegriff in der Physik

Der Modellbegriff hängt mit der erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Position zusammen, in die er eingebunden ist. Eine detaillierte Gegenüberstellung der verschiedenen Positionen ist im Rahmen dieser Arbeit nicht zu leisten – eine genauere Darlegung der verschiedenen Standpunkte findet sich beispielsweise bei Mikelskis-Seifert (2002) oder Leisner (2005). In der Physikdidaktik gründet Kircher (1995) den Modellbegriff auf die kritisch-realistische Auffassung<sup>13</sup>, die physikalische Modellvorstellungen als hypothetisch-deduktive Systeme<sup>14</sup> auffasst.

Bevor der Modellbegriff, der für eine Gegenüberstellung von „Modellierung“ und „Problemlösen“ in Physik und Mathematik Relevanz besitzt, genauer beschrieben wird, soll eine grundsätzliche Kategorisierung von Modellen vorgenommen werden. In Rückgriff auf die Modellklassifikation nach Kircher (1995) können Modelle grundsätzlich in *„gegenständliche Modelle im weiteren Sinne“* und *„theoretische Modelle im weiteren Sinne“* unterteilt werden. Von besonderem Interesse sind hierbei *„Theorien“* bzw. *„theore-*

---

<sup>13</sup>Im kritischen Realismus gibt es eine reale Welt, deren Strukturen teilweise über Modelle dargestellt werden. Der Erkenntnisprozess ist durch ein Wechselspiel von Experiment und Theorie geprägt, um sich so – im Sinne von Popper – an die Wahrheit anzunähern. (vgl. Mikelskis-Seifert & Leisner-Bodenthin, 2007).

<sup>14</sup>Hypothetisch-deduktive Systeme bedeuten, dass Modelle als Hypothesen aufgestellt werden, die deduktiv auf ihre Tragfähigkeit hin überprüft werden (vgl. Mikelskis-Seifert, 2002).

*tische Modelle im engeren Sinne*“. Ikonische oder gegenständliche Modelle (z.B. schematische Zeichnungen eines Kraftwerks oder ein Nachbau eines Verbrennungsmotors), die vor allem den alltäglichen Modellbegriff prägen (vgl. Leisner, 2005), werden bei den weiteren Betrachtungen außen vor gelassen. Neben den Alltagsbedeutungen des Begriffs „Modell“ sind alle theoretischen Konstrukte Modelle (vgl. Kircher, 1995) und alle physikalischen Beschreibungen basieren auf Modellen (vgl. Mikelskis-Seifert & Euler, 2013).

Um den Modellbegriff definieren zu können, nennt Mikelskis-Seifert (2002) zwei verschiedene Herangehensweisen. In der Beschreibung nach Goldkuhle (1993) sind nur die Relationen zwischen dem Objekt und dem Modell relevant. Angemessener für die physikdidaktische Forschung ist jedoch die Beschreibung von Kircher (1995), die ein „kybernetischer Modellbegriff“ ist – neben dem Objekt  $O$  und dem Modell  $M$  werden auch die Beziehungen beider zum Subjekt  $S$ , das Modell und Objekt untersucht, miteinbezogen. Demnach ergibt sich die folgende Definition und die daraus resultierende Darstellung (s.h. Abbildung 2.14):

*„Ein Modell  $M$  ist ein von einem Subjekt  $S$  für bestimmte Zwecke und für eine bestimmte Zeit benutzter bzw. geschaffener Gegenstand oder theoretisches Konstrukt  $M$  derart, daß zu bestimmten Elementen von  $M$  Analogien zu Elementen des Objekts  $O$  bestehen.“* (Kircher, 1995, S. 97)

Der Modellbegriff, der Teil des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses ist (Näheres hierzu siehe weiter unten), beschreibt die Beziehungen zwischen dem Modellobjekt, dem Modell und dem Modellsubjekt<sup>15</sup>. Das Modell ist eine Abbildung<sup>16</sup> bestimmter Eigenschaften eines zu untersuchenden Objekts. Diese einfache, direkte Abbildung „Objekt auf Modell“

<sup>15</sup>Die Beziehung zwischen Modell und Subjekt betrifft Aspekte des Lernens, die für einen Vergleich zwischen „Modellieren“ und „Problemlösen“ nicht unmittelbar von Interesse sind. Deshalb wird auf eine vertiefte Betrachtung dieser Beziehung verzichtet.

<sup>16</sup>Auch wenn Stachowiak in der Abbildung der Eigenschaften des Originals zu denen des Modells einen „mengentheoretischen, algebraischen“ (Stachowiak, 1973, S. 132) Begriff sieht, so stellt Kircher (1995) heraus, dass es sich hier nicht um eine (isomorphe) Abbildung im mathematischen Sinne handelt – Objekt und Modell weisen lediglich Analogien bzw. Ähnlichkeiten im umgangssprachlichen Sinne auf.

## 2. Problemlösen

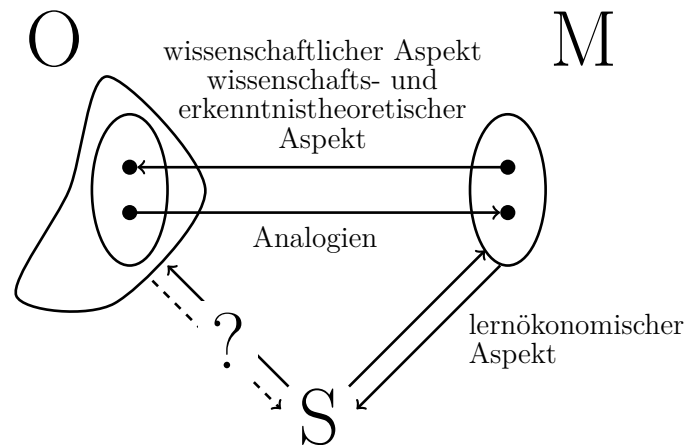


Abbildung 2.14.: Formale Darstellung der Relation des Modells M zum Modellobjekt O und Modellsubjekt S (Kircher, 1995, S. 96)

( $O \rightarrow M$ ), wie man sie beim naiven Realismus und induktivem Vorgehen erwarten würde, ist zu trivial (vgl. Kircher, 1995). Angemessener ist die Auffassung, dass – beim durchaus komplexen Vorgang des Modellierens – das zu erstellende theoretische Modell (über Experimente) auf das Objekt abgebildet wird ( $M \rightarrow O$ ) (s.h. Abbildung 2.15). Hierbei werden aus der Realität experimentelle Daten gewonnen, die (auf der Basis eines Modells) analysiert und interpretiert werden. „Modellierung“ kann hierbei zweierlei bedeuten (vgl. Mikelskis-Seifert & Euler, 2013): Einerseits die Findung eines Modells und andererseits der iterative Vorgang zur Überprüfung und Überarbeitung eines vorhandenen Modells.

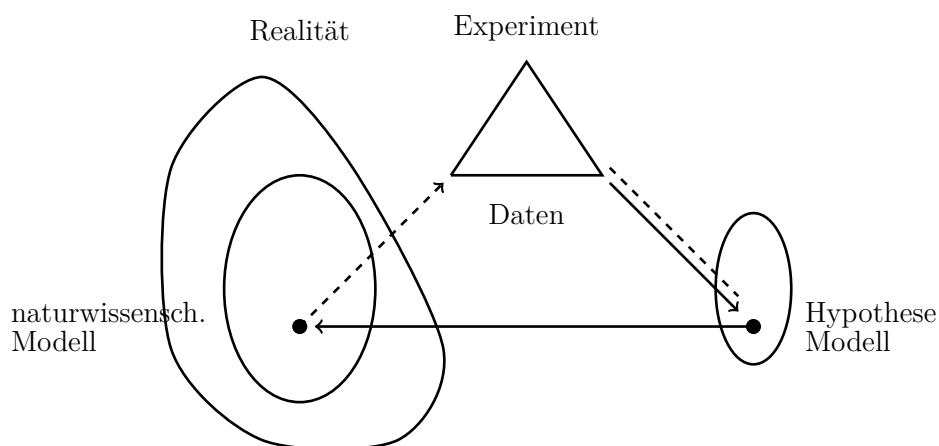


Abbildung 2.15.: Abbildung der Realität mit Hilfe von Experimenten (Kircher, 1995, S. 100)

Kircher (1995) merkt hierzu jedoch an, dass eine einfache Verkettung

der Abbildungen „Modell auf Experiment“ ( $M \rightarrow E$ ) „und“ „Experiment auf Objekt“ ( $E \rightarrow O$ ) zu kurz greift, um die beim Modellieren eigentlich ablaufende Abbildung des Modells auf das Objekt ( $M \rightarrow O$ ) zur naturwissenschaftlichen Theoriebildung darzustellen. Generell scheint es schwierig zu sein, die bei der Modellierung<sup>17</sup> ablaufenden Prozesse (mathematisch) zu beschreiben. Kircher (1995) fasst dies zusammen:

*„Insbesondere die kreativen Momente der naturwissenschaftlichen Forschung scheinen gegenwärtig nicht durch mathematische Abbildungen darstellbar zu sein.“* (Kircher, 1995, S. 101)

Neben dem weiter oben aufgeführten „Abbildungsmerkmal“ zeichnen sich Modelle durch das „Verkürzungsmerkmal“ aus, das aus den *„erkenntnistheoretischen Annahmen [folgt], daß theoretische Modelle der Physik die Realität nicht in eindeutiger und nicht endgültiger Weise darstellen.“* (Kircher, 1995, S. 103). Das bedeutet, dass sich nicht alle Eigenschaften des Objekts im Modell wiederfinden und umgekehrt, dass das Modell Eigenschaften besitzt, die das Objekt nicht hat. Man kann diese Abweichungen als „Grenzen des Modells“ bezeichnen. Stachowiak (1973) begründet die Verkürzung der Eigenschaften eines Modells über die Intention des Modellerschaffers bzw. -benutzers – es wird auf diejenigen Eigenschaften fokussiert, die für Ersteller und Anwender eines Modells Relevanz besitzen. So wird beispielsweise bei einem einfachen Teilchenmodell (zur Erklärung der Aggregatzustände o.ä.) eine Kugelform aller Teilchen angenommen, wobei z.B. Wasserteilchen angemessener über die Zusammensetzung mehrerer Kugeln beschrieben werden könnten, was aber keinen Mehrwert für Erklärungen durch das Modell hätte.

Stachowiak (1973) nennt neben den beiden oben dargelegten Merkmalen eine dritte Eigenschaft von Modellen. Das „pragmatische Merkmal“ hebt hervor, dass ein Modell eines Objekts nicht für sich selbst als Modell von etwas existiert, sondern dass stets berücksichtigt werden muss, *„für wen, wann und wozu [...] es Modell ist“* (Stachowiak, 1973, S. 133) und dass

<sup>17</sup>Physikalische „Modellierung“ wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit schlicht als Findung eines angemessenen (physikalischen) Modells gesehen. Der Begriff ist jedoch in der fachdidaktischen Forschung nicht näher eingegrenzt, im Gegensatz zum „Modell“.



## 2. Problemlösen

es zu diesem Zweck nützlich ist. Ein einfaches Modell, das Teilchen als Kugeln annimmt, ist für Schüler, die einfache Vorgänge, wie die Aggregatzustände und deren Wechsel beschreiben, verstehen und erklären sollen, aus pragmatischer Sicht angemessen.

Über die drei eben vorgestellten Merkmale von Modellen hinaus besitzen Modelle weitere Eigenschaften (Anschaulichkeit, Einfachheit, Transparenz, Vertrautheit und Produktivität), die jedoch für eine Gegenüberstellung von Modellieren und Problemlösen nicht weiter von Bedeutung sind und deswegen hier nicht weiter ausgeführt werden (Näheres hierzu findet sich beispielsweise bei Kircher, 1995).

Wie bereits weiter oben angerissen, ist die zentrale Funktion von naturwissenschaftlichen Modellen die Erkenntnisgewinnung. Die Verbindung von Modellieren (das Aufstellen/Prüfen eines Modells) und Experimentieren (das Gewinnen von Daten, die die Grundlage zur Aufstellung/Prüfung eines Modells liefern) bildet in einem zyklischen Wechsel den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess (s.h. Leisner, 2005; Abbildung 2.16).

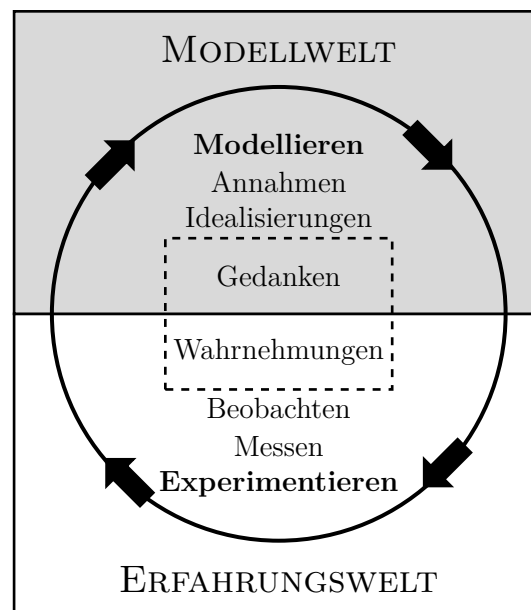


Abbildung 2.16.: Naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozess nach Leisner (2005)

Modelle haben innerhalb dieses Erkenntnisprozesses zwei Funktionen inne (vgl. Kircher, 1995). (1) *Erklärungen durch Modelle*: Hierbei muss zwischen der wissenschaftlichen Bedeutung der Erklärung und der Bedeu-

tung im schulischen Kontext unterschieden werden. Bei ersterer geht es darum, Phänomene adäquat auf quantitative Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen – Phänomene aus der Elektrodynamik werden durch die Maxwell-Gleichungen erklärt. Im schulischen Kontext hingegen rückt das Individuum, dem sich etwas erklärt, in den Vordergrund. Als Erklärung ist hier alles anzusehen, das das Bedürfnis, eine Erkenntnislücke zu schließen, befriedigt. Kircher (1995) merkt hierbei an, dass im Rahmen der Fachdidaktik das „Erklären“ eng mit dem „Verstehen“ verbunden ist. (2) *Prognosen durch Modelle*: Aus Modellen können Prognosen über zukünftiges Verhalten des Objekts abgeleitet werden – aus Kenntnissen über die Gravitation kann vorausgesagt werden, wie sich ein Objekt im freien Fall verhält (bzw. nach Aussagen des Modells verhalten sollte).

Aus der zweiten Funktion von Modellen, der Prognosefunktion, lässt sich auch ableiten, wie Modelle auf ihre „Richtigkeit“<sup>18</sup> geprüft werden können. Es ist nämlich nicht möglich, festzustellen, dass ein Modell „richtig“ ist. Durch den Abgleich mit der Realität kann jedoch zweifelsfrei festgestellt werden, dass ein Modell falsch ist: Liefert ein Modell Prognosen, die sich bei experimenteller Überprüfung als nicht zutreffend herausstellen, ist das Modell falsifiziert worden und muss – in der Wissenschaft – verworfen oder angepasst werden. Über das Wechselspiel zwischen Modellierung und Prüfung des Modells durch Experimente (s.h. Abbildung 2.16) findet eine Annäherung an die Wahrheit durch immer bessere Modelle statt (s.h. Leisner, 2005).

In der fachdidaktischen Forschung steht naturgemäß die Beziehung zwischen Modell und Subjekt ( $M \rightarrow S$ ) im Vordergrund (z.B. beim Lernen über Modelle; Mikelskis-Seifert, 2002 oder bei der Entwicklung von Modellkompetenz; Leisner, 2005). Dabei wird als wichtiges Ziel des Unterrichts eine angemessene Sichtweise der Schüler über die Natur der Naturwissenschaften ausgewiesen, die auch ein entsprechendes Modellverständnis enthält (Mikelskis-Seifert, 2006). Nichtsdestotrotz zeigen Schüler (und

---

<sup>18</sup>Leisner (2005) merkt an, dass im hypothetischen Realismus ein Modell nicht „richtig“ oder „falsch“ sein kann, sondern „zweckmäßig“ oder „unzweckmäßig“.

## 2. Problemlösen

auch Lehrer) oft eine naiv-realistische Sicht<sup>19</sup> von Modellen (vgl. Mikelskis-Seifert, 2006). Mit einem speziellen Unterricht über Modelle kann das Modellverständnis von Schülern jedoch signifikant verbessert werden (mehr hierzu s.h. Mikelskis-Seifert, 2002). Ein Beispiel für den Einsatz im Unterricht ist die „Modellmethode“ (vgl. Mikelskis-Seifert & Leisner-Bodenthin, 2007), die in Kapitel 2.6.3 näher vorgestellt und auf ihre Gemeinsamkeiten mit dem Problemlösen untersucht wird.

\*

Legt man einen breiten Modellbegriff zugrunde, so sind alle theoretischen Konstrukte, die in der Physik auftauchen (Theorien, Gesetze etc.) Modelle. Eine Aufgabe von Modellen ist die Abbildung der Realität. Dies geschieht nicht in einem mathematischen Sinne, sondern über Analogien beziehungsweise Ähnlichkeiten, wobei sich nicht alle Eigenschaften des Objekts im Modell wiederfinden und umgekehrt. Die Abbildung des Objekts auf das Modell erfolgt mit Hilfe von Experimenten, deren Daten interpretiert werden.

Als physikalische Modellierung wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Findung eines angemessenen Modells verstanden, das Erklärungen für Phänomene und korrekte Prognosen liefert. Wie genau dieser Prozess des Modellierens abläuft, lässt sich mit mathematischen Mitteln nicht genau fassen, da hierbei beispielsweise die Kreativität einzelner Wissenschaftler einer Rolle spielt. Zentrales Anliegen des Modellierens ist die Erkenntnisgewinnung.

Modelle können – unter anderem über nicht korrekte Prognosen – falsifiziert werden. Modellprüfungen z.B. anhand von experimentellen Daten und den daraus folgenden Korrekturen und Anpassungen verbessern in ihrem Wechselspiel Modelle und führen so zu einer immer besseren Abbildung der Realität.

In der Fachdidaktik steht die Beziehung zwischen Modell und Subjekt im Vordergrund, wie zum Beispiel beim Lernen über Modelle oder beim

---

<sup>19</sup>Beim naiven Realismus wird davon ausgegangen, dass Modelle eine exakte, nur vergrößerte Wiedergabe der Wirklichkeit sind (vgl. Mikelskis-Seifert & Leisner-Bodenthin, 2007).

Denken in Modellen. Ein Lernen über Modelle zur Förderung einer angemessenen Sicht auf die Natur der Naturwissenschaften kann beispielsweise über die Modellmethode geschehen.

### 2.6.2. Modellierung in der Mathematik

Auch in der mathematikdidaktischen Forschung spielt das Modellieren eine wichtige Rolle, insbesondere da nach den PISA-Studien die „*Mathematical Literacy*“ als Fähigkeit, reale Probleme mit mathematischen Kenntnissen zu lösen, in den Vordergrund des schulischen Interesses rückten (vgl. Blum & Borromeo Ferri, 2009). Jedoch bezieht sich der Begriff auf einen vollkommen anderen Vorgang als in der Physik, was in Kapitel 2.6.3 diskutiert wird.

Nach Blum & Borromeo Ferri (2009) wird in der Mathematikdidaktik jeder Übersetzungsprozess zwischen Realität und Mathematik als mathematisches Modellieren bezeichnet<sup>20</sup>. Um die bei der Modellierung ablaufenden kognitiven Prozesse besser untersuchen zu können, haben Blum einen Modellierungskreislauf erstellt, der den Wechsel zwischen realer Welt und der Mathematik mit den einzelnen nacheinander ablaufenden Schritten darstellt (s.h. Abbildung 2.17).

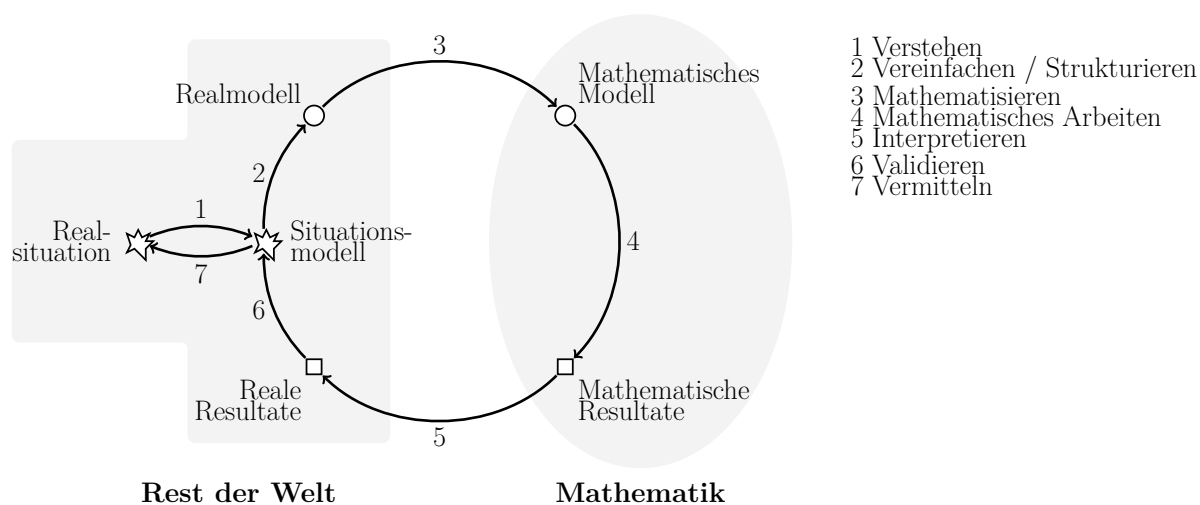


Abbildung 2.17.: Mathematischer Modellierungskreislauf nach Blum (2006)

Der Modellierungskreislauf beginnt damit, dass eine *Realsituation* vorliegt, die von der bearbeitenden Person<sup>21</sup> zunächst verstanden werden muss.

<sup>20</sup>Im Sinne der Abgrenzung des Modellierens zum Problemlösen ist anzufügen, dass Blum (2006) „Modellieren“ auch als „angewandte[s] Problemlösen im umfassendsten Sinne“ (Blum, 2006, S. 9) bezeichnet.

<sup>21</sup>Blum & Borromeo Ferri (2009) bezeichnen (diese in Hinblick auf die Gemeinsamkeiten zwischen mathematischem Modellieren und Problemlösen) sogar als „problem solver“ – Problemlöser.

Sie versteht die Situation und erstellt (1) aufbauend darauf ein *Situationsmodell*. (2) Um zu einem *Realmodell* der Situation zu gelangen, muss dieses Situationsmodell nun weiter vereinfacht und strukturiert werden. Durch Mathematisierung (3) findet der Übergang in die mathematische Welt statt; das Modell wird in ein *mathematisches Modell* übertragen, das beispielsweise aus Gleichungen besteht, die die Situation angemessen beschreiben. Anhand dieses mathematischen Modells wird mit mathematischen Methoden (Lösen von Gleichungen, Berechnungen etc.) gearbeitet (4), die zu *mathematischen Resultaten* führen. Es findet nun ein Rückschritt in die reale Welt statt – die mathematischen Resultate werden als (5) *reale Resultate* interpretiert. Diese Lösung muss validiert werden (6). Der Validierungsprozess kann ergeben, dass das Ergebnis unvollständig oder nicht angemessen ist, was zu einem weiteren Durchlaufen des Modellierungskreislaufs – unter verändertem Situationsmodell – führt. Ist der Modellierungsprozess zufriedenstellend abgeschlossen, erfolgt ein Rückbezug/ eine Vermittlung (7) zur realen Situation.

Da der hier vorgestellte Modellierungskreislauf mit seinen sieben Schritten von den Autoren als unangemessen für die Weitergabe an Schüler erachtet wird, schlagen Blum & Borromeo Ferri (2009) einen auf vier Schritte reduzierten Modellierungskreislauf (vgl. Abbildung 2.18) vor, der auf Arbeiten des Projekts DISUM<sup>22</sup> (s.h. z.B. Blum & Leiß, 2003) zurückgeht (deutsche Version aus Blum, 2006).

Bei dieser reduzierten Variante wurden die Schritte 2 und 3 aus Abbildung 2.17 zusammengelegt zum Schritt „*Modell erstellen*“ und die Schritte 5, 6 und 7 zum Schritt „*Ergebnis erklären*“. Blum & Borromeo Ferri (2009) weisen hierbei explizit auf die Ähnlichkeit dieser Abfolge zum Problemlöseprozess nach Pólya (1985) (s.h. Kapitel 2.4.2) hin.

\*

In der Mathematikdidaktik werden alle Prozesse, die eine Übersetzung zwischen der realen Welt und der Mathematik beinhalten, als Modellierung bezeichnet. Der weit verbreitete Modellierungskreislauf nach Blum

---

<sup>22</sup>DISUM: Didaktische Interventionsformen für einen selbstständigkeitsorientierten aufgabengesteuerten Unterricht am Beispiel Mathematik

## 2. Problemlösen

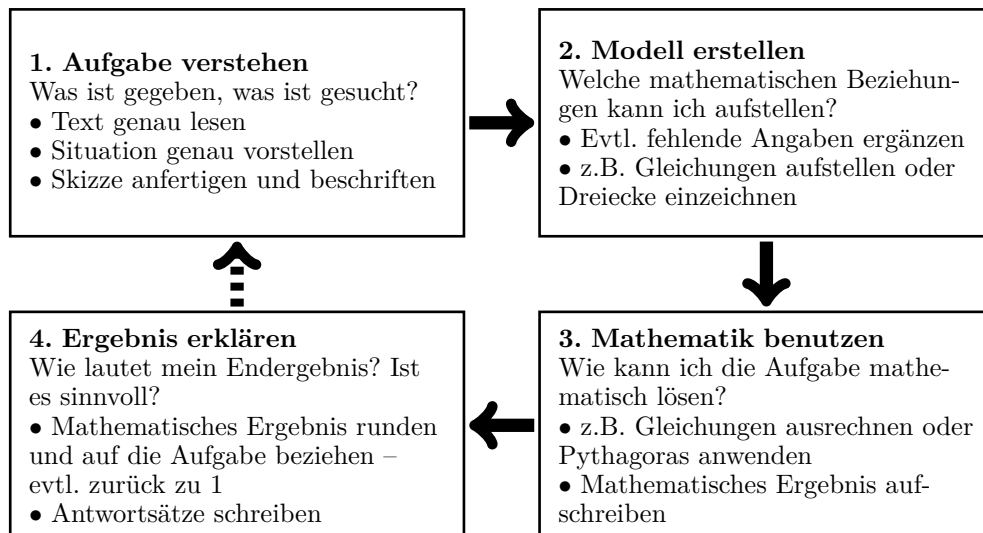


Abbildung 2.18.: „Lösungsplan“ für Modellierungsaufgaben (aus dem Projekt DISUM vgl. Blum, 2006)

(2006) beinhaltet sieben Schritte, die die ablaufenden kognitiven Prozesse beschreiben. Es zeichnet sich ab, dass mathematisches Modellieren dem Problemlösen sehr nahe steht – so weist der vereinfachte Modellierungskreislauf die gleiche Grundstruktur auf, wie der Problemlöseprozess nach Pólya (1985).

### 2.6.3. Vergleich „Modellierung“ in Physik und Mathematik und der Bezug zum Problemlösen

Nachdem in den beiden vorangegangenen Kapiteln der Modellbegriff in der Physik und der Mathematik vorgestellt wurde, sollen nun beide miteinander verglichen und voneinander abgegrenzt werden. Es soll gezeigt werden, dass physikalisches und mathematisches Modellieren - obwohl der gleiche Begriff verwendet wird – zwei verschiedene Tätigkeiten sind, die in unterschiedlichem Bezug zum Problemlösen zu sehen sind. Die Unterschiede zwischen dem physikalischen Modellieren und dem mathematischen Modellieren begründen sich im Wesentlichen im unterschiedlichen Zugang der beiden Disziplinen zur Erkenntnis.

Blickt man in die Mathematik, ist festzustellen, dass diese die Realität zum Existieren nicht benötigt. Erkenntnis wird (vereinfacht ausgedrückt) aus logischen Ableitungen weniger Axiome gewonnen, die sich zu einem

Konstrukt aus aufeinander aufbauenden, widerspruchsfreien Sätzen zusammenschließen. Wo physikalische Gesetze nur falsifiziert werden können, besteht bei mathematischen Sätzen die Möglichkeit, diese durch Beweise zu verifizieren. Die Mathematik ist demnach – bildlich gesprochen – eine Welt für sich.

Hieraus ergibt sich auch ein anderes Verständnis des Modellbegriffs bzw. des Modellierens. Wie bereits in Kapitel 2.6.2 dargelegt, ist innerhalb der Mathematik jedwede Übersetzung zwischen realer Welt und Mathematik Modellieren. Da es keinen direkten Bezug der Mathematik zur realen Welt gibt, muss immer eine Übersetzung stattfinden, wenn reale Situationen (z.B. physikalische, soziale oder ökonomische) mit mathematischen Mittel beschrieben werden sollen (vgl. Büchter & Leuders, 2007). Problemlösen auf der anderen Seite wird – im Sinne der Mathematikdidaktik – immer dann benötigt, wenn kein Lösungsverfahren für eine Situation bekannt ist (so wie in der Definition von „Problem“ im Kapitel 2.1 diskutiert wurde). Hier zeigt sich die enge Verknüpfung von mathematischem Modellieren und Problemlösen: Beim Modellieren findet als ein Teilprozess (während des innermathematischen Arbeitens) Problemlösen statt. Der Begriff des Problemlösens kann somit auch auf das Modellieren (als „*Problemlösen im weiteren Sinne*“ vgl. Büchter & Leuders, 2007) übertragen werden. Formal betrachtet ist jedoch nur das innermathematische Arbeiten beim Modellieren dem Problemlösen zuzuordnen („*Problemlösen im engeren Sinne*“ vgl. Büchter & Leuders, 2007) – Problemlösen wäre damit ein Teilprozess des Modellierens.

Allerdings gibt es darüber hinaus Ansätze (z.B. die PISA-Aufgaben), die das innermathematische Problemlösen als Modellierung (im weiteren Sinne) bezeichnen (vgl. Büchter & Leuders, 2007). Diese Übertragung wird nachvollziehbar, wenn der Modellierungskreislauf (s.h. Abbildung 2.17 oder Abbildung 2.18; Kapitel 2.6.2) mit dem Problemlöseprozess z.B. nach Pólya (1985), der ja selbst Mathematiklehrer war, (s.h. Kapitel 2.4.2) oder nach Friege (2001) (s.h. Kapitel 2.4.5) verglichen wird. Der vereinfachte Modellierungskreislauf (Abbildung 2.18) durchläuft die vier inhaltlich gleichen Schritte (Verstehen/Repräsentieren – geeignetes Modell/Lösungsansatz wäh-



## 2. Problemlösen

len – Rechnen – Ergebnis prüfen), die auch die Autoren zum Problemlösen angeben. Diese Ähnlichkeiten (und damit begrifflichen Überschneidungen) zwischen Modellieren und Problemlösen werden auch von einigen mathematikdidaktischen Autoren so gesehen (vgl. z.B. Blum, 2006; Büchter & Leuders, 2007; Blum & Borromeo Ferri, 2009; s.h. Kapitel 2.6.2). Büchter & Leuders (2007) fassen die Situation treffend zusammen:

*„Wir haben also die verwirrende Situation, dass die Bezeichnungen 'Modellieren' und 'Problemlösen' beide in wechselnden Bedeutungen verwendet werden – ein steter Quell für Irritationen.“* (Büchter & Leuders, 2007, S. 31)

Büchter & Leuders (2007) finden eine Abgrenzung zwischen Modellieren und Problemlösen darin, dass sie Modellieren als *„Arbeiten in außermathematischen Kontexten“* und Problemlösen als *„Arbeiten in innermathematischen Situationen“* festlegen (Büchter & Leuders, 2007, S. 31). Dieser Abgrenzung ist, insbesondere mit Blick auf schulpraktische Kontexte, zuzustimmen, jedoch bleibt festzuhalten, dass innerhalb der Mathematik, Modellieren und Problemlösen die strukturell gleichen Schritte durchlaufen und dementsprechend nahe beieinander liegen bzw. ineinander übergehen.

Blickt man nun wieder in die Physik, ist festzustellen, dass sie an die reale Welt gebunden ist und diese zu beschreiben und zu erklären versucht. Sie erhält über das Wechselspiel zwischen Experiment und Modellieren (s.h. Kapitel 2.6.1) Informationen darüber, wie ihre Modelle weiter verbessert werden können, um so die Realität adäquater abzubilden. Ein physikalisches Modell kennzeichnet sich durch seinen Bezug zu einem physikalischen System oder Phänomen, das vereinfacht oder idealisiert wird (vgl. Greca & Moreira, 2001; s.h. auch Kapitel 2.6.1). Modellierung ist in der Physik Erkenntnisgewinnung und somit *nicht* gleichzusetzen mit dem Problemlösen.

Natürlich spielt hierbei die Mathematik (als Sprache, Strukturierungs- und Formalisierungsmöglichkeit etc.; s.h. auch Kapitel 2.7.1.2) eine entscheidende Rolle – Modelle in der Physik werden mit Hilfe der Mathematik beschrieben. Jedoch wäre es – meiner Ansicht nach – nicht kor-

rekt, sie deswegen mit „mathematischen Modellen“ (im Sinne des Kapitels 2.6.2) gleichzusetzen, es bleiben physikalische Modelle. Eine genaue Festlegung der Rolle der Mathematik innerhalb der Physik ist, wie auch von Krey (2012) ausführlich diskutiert wird, schwierig. Greca & Moreira (2001) beschäftigen sich ebenfalls mit der Rolle der Mathematik innerhalb von physikalischen Modellen und schreiben ihr lediglich eine formale Rolle als „axiomatisches System“ zu, das aus sich heraus ohne Bedeutung ist:

*„Therefore, even if the physical model carries within it a mathematical model, this one is not in itself a description of the phenomena. This occurs because this axiomatic system lacks a frame of reference, being semantically blind (Lombardi, 1997).“*  
(Greca & Moreira, 2001, S. 108)

Auch wenn das physikalische Modell ein mathematisches Modell enthält, ist letzteres aus sich heraus keine Beschreibung des Phänomens. Dies ist deswegen so, weil dem axiomatischen System ein Bezugsrahmen fehlt, es ist semantisch blind [ohne Bedeutung]. (eigene Übersetzung)

Der Aussage von Greca & Moreira (2001) ist, im Rahmen einer Unterscheidung zwischen physikalischem und mathematischem Modellieren zuzustimmen. Uhden (2012) kritisiert jedoch diese Ansicht von Greca & Moreira (2001) mit der Begründung, dass die Autoren eine „geschlossene physikalische Theorie ohne Mathematik implizier[en]“ (Uhden, 2012, S. 48). Dies ist – meiner Ansicht nach – jedoch nicht der Fall; Greca & Moreira (2001) möchten mit ihrer Aussage herausstellen, dass Physik mehr ist als ein Set von Formalismen und Gleichungen. Die Physik liegt jenseits der mathematischen Darstellung, benötigt diese jedoch, um klar zu formulieren und Vorhersagen zu treffen. Greca & Moreira (2001) unterstreichen ihre Position, indem sie anfügen, dass „*Verständnis in einem gewissen Gebiet der Physik dann erreicht wurde, wenn es möglich ist, ein physikalisches Phänomen aus physikalischen Modellen vorherzusagen, ohne zuvor auf mathematische Formalismen zurückgreifen zu müssen* (Schenzle, 1996).“ (Greca & Moreira, 2001, S. 108; eigene Übersetzung).

## 2. Problemlösen

Es stellt sich abschließend die Frage, welche Beziehung Modellieren und Problemlösen innerhalb der Physik haben. Wie in Kapitel 2.5 ausgeführt, wird beim Problemlösen auf physikalisches Wissen, also physikalische Erkenntnisse zurückgegriffen, um diese dann anzuwenden. Physikalisches Problemlösen ist also die *Anwendung* von Modellen. Abbildung 2.19 stellt diesen Zusammenhang dar.

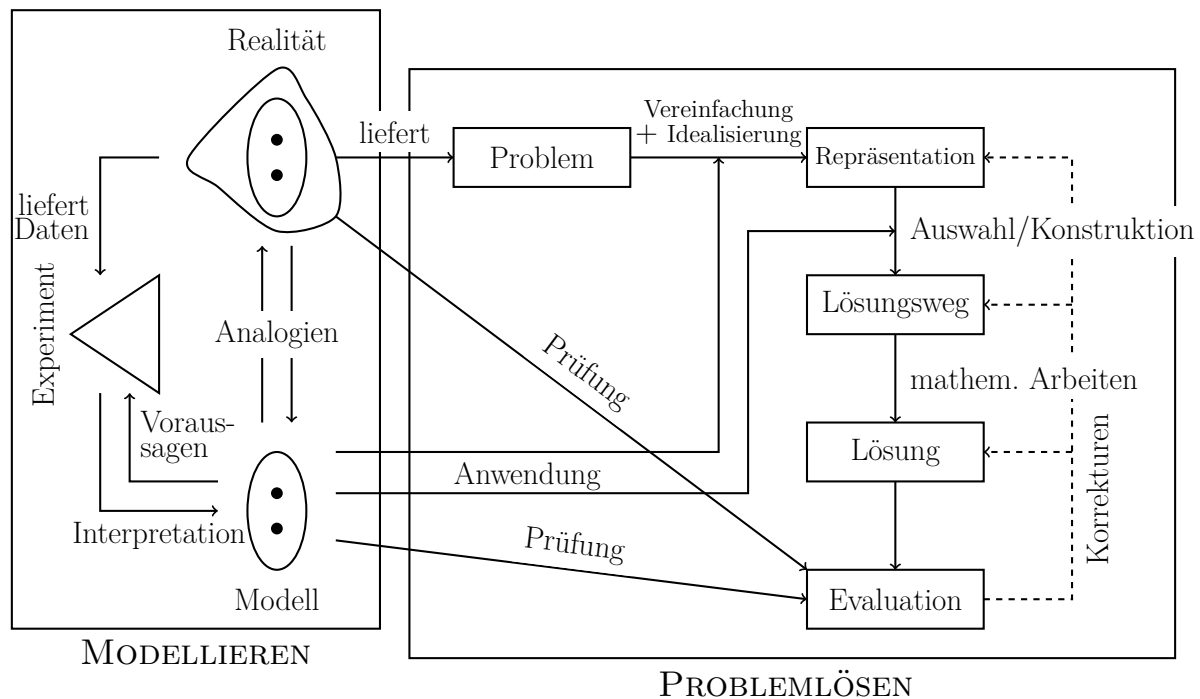


Abbildung 2.19.: Beziehung zwischen physikalischem Modellieren und Problemlösen

Auf der linken Seite ist der Modellierungsprozess über die „Abbildung“ der Realität durch Experimente dargestellt (vgl. Kircher, 1995; Kapitel 2.6.1). Auch wenn es eine vereinfachte Darstellung ist, stellt sie die wesentlichen Züge bei der Erkenntnisgewinnung über das Modellieren dar. Aus der Realität werden über das Experiment Daten gewonnen, die interpretiert werden. Die Interpretation erfolgt auf Basis des Modells, das Voraussagen liefert, die sich wiederum mit Experimenten prüfen lassen (iterativer Prozess). „Passen“ die Daten aus den Experimenten nicht zu den Voraussagen, muss das Modell verworfen oder angepasst werden. Aus diesem Wechselspiel von Experiment und Modellieren gehen immer bessere Beschreibungen der Realität hervor. Wie genau der Prozess des Modellierens abläuft, ist jedoch schwer zu fassen, da hier z.B. auch Kreativität eine

Rolle spielt (vgl. Kircher, 1995). Es ist somit schwierig, immer passende „Modellierungsschritte“ festzulegen. Für einfache Fälle (z.B. in der Schule) kann die „Modellmethode“ eine Art des Modellierens über fest ablaufende Schritte charakterisieren. Diese stellen, vor dem Hintergrund der weiter oben diskutierten Unterschiede zwischen Modellieren und Problemlösen, eine Kombination von Problemlösen und Modellieren dar, wie weiter unten begründet wird.

Auf der rechten Seite der Abbildung 2.19 ist der Problemlöseprozess, so wie er in Kapitel 2.5 vorgestellt wurde, abgebildet. Er wurde durch seine Bezüge zur Realität und zu physikalischen Modellen ergänzt. Aus der Realität ergeben sich Problemstellungen. Diese werden über Vereinfachungen und Idealisierungen in eine angemessene physikalische Repräsentation überführt. Bei diesem Schritt werden die Erkenntnisse aus physikalischen Modellen angewendet. Nachdem eine geeignete Repräsentation gefunden ist, wird ausgehend von dieser ein Lösungsweg aus der Menge der bekannten Lösungswege ausgewählt oder neu konstruiert. Insbesondere bei der Erstellung von neuen Lösungswegen erfolgt ein Rückgriff auf physikalisches Fachwissen, das sich wiederum aus der Anwendung physikalischer Modelle ergibt. Die Lösung wird durch mathematisches Bearbeiten ermittelt. In der abschließenden Evaluation der Lösung findet eine Prüfung sowohl gegenüber dem Ausgangsproblem und der Realität statt („Passt das Ergebnis zur Realität? Ist es sinnvoll? etc.“), als auch gegenüber den (verwendeten) physikalischen Modellen („Steht das Ergebnis in Einklang mit der Theorie? Werden Gesetze verletzt?“).

Die Verbindung des Modellierens und Problemlösens findet mit der „Modellmethode“ ihren Einsatz in der Schule. Bei dieser Art des Unterrichtens wird ein Lernen über Modelle, das für ein adäquates Verständnis über die Natur der Naturwissenschaften nötig ist, ermöglicht. Hierbei werden die folgenden Phasen durchlaufen (vgl. Mikelskis-Seifert & Leisner-Bodenthin, 2007): (1) *Beobachten eines Phänomens* . (2) *Modellentwicklung* bzw. *Modellauswahl*, (3) Beantworten der Frage / Lösen des Problems (*Modellanwendung*) und (4) Zweckmäßigkeit und *Erklärungswert des Modells prüfen*. Die Schritte (1) und (2) sind dem Modellieren zuzuordnen, wohingegen die

## 2. Problemlösen

Schritte (3) und (4) zur Modellanwendung (bzw. zum Problemlösen) und zur Modellprüfung gehören.

\*

Mathematisches und physikalisches Modellieren unterscheiden sich – trotz des gleichen Begriffs – wesentlich voneinander. Das mathematische Modellieren, das jede Übersetzung zwischen realer Welt und Mathematik einschließt, ist eine Art des Problemlösens mit ähnlichen, aufeinander aufbauenden Schritten.

Modellieren in der Physik ist Mittel zur Erkenntnisgewinnung. Durch Beobachtung und Experimente soll die reale Welt auf ein Modell abgebildet werden. Problemlösen bedeutet die Anwendung von Modellen – für die Repräsentation einer realen Situation oder bei der Findung eines Lösungswegs muss auf geeignete Modellvorstellungen und Erkenntnisse daraus zurückgegriffen werden.

Trotz des Einsatzes der Mathematik zur physikalischen Modellierung ist diese dem mathematischen Modellieren nicht gleichzusetzen. Auch eine Übertragung der Schritte des mathematischen Modellierens auf die Physik ist ungeeignet, da die beiden Prozesse „Erkenntnisgewinnung“ und „Problemlösen“ nicht kompatibel zueinander sind.

## 2.7. Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus der Expertiseforschung und der Forschung zum Problemlösen zusammengeführt und Faktoren identifiziert, die als Prädiktoren für erfolgreiches Problemlösen einzuschätzen sind (zur Übersicht s.h. Tabelle 2.11). Für die vorliegende Arbeit werden diejenigen Faktoren berücksichtigt, von denen ein großer Einfluss zu erwarten ist, die stabil sind und sich mit einem Papier-und-Bleistift-Test gut erfassen lassen. Darauf aufbauend werden kognitive (Wissen, Erfahrung) und kognitive-emotionale (Selbstkonzept, Interesse) Einflüsse berücksichtigt. Abschließend werden noch weitere Unterschiede zwischen guten und schlechten Problemlösern (beziehungsweise Experten und Novizen) genannt, die über die quantitativen Unterschiede hinaus Aussagen über Charakteristika von Problemlösern machen, was in Hinblick auf die qualitative Auswertung (s.h. Kapitel 3.3) von Bedeutung sein wird.

### 2.7.1. (Fach-)Wissen

#### 2.7.1.1. Physikalisches Fachwissen

Wie bereits im Kapitel 1.3.2 zur Entstehung und Entwicklung von Expertise dargelegt, stellt das verfügbare Wissen eine wesentliche (wenn nicht *die* wesentliche) Voraussetzung für Expertise und dementsprechend erfolgreiches Problemlösen dar. Auch in den weiter oben vorgestellten Modellen spielt das vorhandene Fachwissen als Ressource, auf die beim Problemlösen zurückgegriffen wird, eine wesentliche Rolle. Insbesondere in dem als Basis verwendeten Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (2001) (Kapitel 2.4.5) wird auf die Bedeutung von (physikalischem) Fachwissen für die erfolgreiche Durchführung des Problemlöseprozesses hingewiesen. Im Folgenden wird dargelegt, wie physikalisches Fachwissen operationalisiert werden kann und welche Zusammenhänge Friege (2001) zwischen Wissen und Problemlösen finden konnte.

Riese (2009) entwickelt in seiner Arbeit zur Untersuchung des professionellen Wissens in der Lehrerbildung eine Operationalisierung des physik-

## 2. Problemlösen

|                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Smith (1991a)</b><br><i>Toward a unified theory of problem solving</i>                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wissen und der Zugriff darauf</li> <li>• Dauer der Problemlöseerfahrung</li> <li>• Kenntnis über generelle Problemlösestrategien</li> <li>• Chunking des Wissens</li> <li>• Affektive Variablen (z.B. Selbstvertrauen, Ausdauer, Freude, Motivation, Beliefs, Werte)</li> <li>• Kontext / Domäne (in der „eigenen“ Domäne löst man Probleme besser)</li> <li>• Form (z.B. Sprache)</li> <li>• Komplexität</li> <li>• Soziale Umgebung</li> </ul> |
| <b>Jonassen (2000)</b><br><i>Toward a design theory of problem solving</i>                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertrautheit mit Problemen</li> <li>• Menge domänenspezifischen Wissens</li> <li>• Bessere/mehr Problemschemata</li> <li>• Strukturierung des Wissens</li> <li>• Wissen über / Anwendung von Problemlösestrategien</li> <li>• Kognitive Kontrolle (z.B. Flexibilität, Komplexität, Denkmuster)</li> <li>• Metakognition (z.B. richtige Beurteilung von Schwierigkeiten, Wissen über das Lernen)</li> <li>• Einstellungen und Beliefs</li> </ul>  |
| <b>Laukenmann et al. (2000)</b><br><i>Eine Untersuchung zum Einfluss emotionaler Faktoren auf das Lernen im Physikunterricht</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorwissen (Zeugnisnoten)</li> <li>• Selbstkonzept</li> <li>• (Fach-)Interesse</li> <li>• Motivation</li> <li>• Angst</li> <li>• Konzentration</li> <li>• Prüfungsstrategien</li> <li>• Wohlbefinden</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Friege (2001)</b><br><i>Wissen und Problemlösen</i>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faktenwissen</li> <li>• Kenntnis von Problemschemata</li> <li>• Strukturelles Wissen (Vernetzung und Flexibilität)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Tabelle 2.11.: Ausgewählte Faktoren für den Erfolg beim Problemlösen aus verschiedenen Quellen (Faktoren jeweils absteigend in ihrer Bedeutung)

## 2.7. Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen

lischen Fachwissen in Mechanik, die dieses in drei Dimensionen unterteilt (s.h. Abbildung 2.20). Das Modell basiert auf fachspezifischen Kompetenzstufenmodellen (s.h. z.B. Neumann et al., 2007; Labudde & Metzger, 2007; zur Übersicht: Schecker & Parchmann, 2006), orientiert sich aber auch an Modellen aus „Large Scale“ Untersuchungen der mathematikdidaktischen Forschung (COACTIV<sup>23</sup> Brunner et al., 2006 und MT21<sup>24</sup> Blömeke et al., 2008a). Riese (2009) sieht die Aufgabe seines Modells zur Operationalisierung physikalischen Fachwissens darin, als Hilfe zur zielgerichteten Itemkonstruktion für sein Forschungsvorhaben zu dienen. Im Folgenden werden die verschiedenen Dimensionen des Modells vorgestellt und in Bezug zu dieser Arbeit gesetzt.

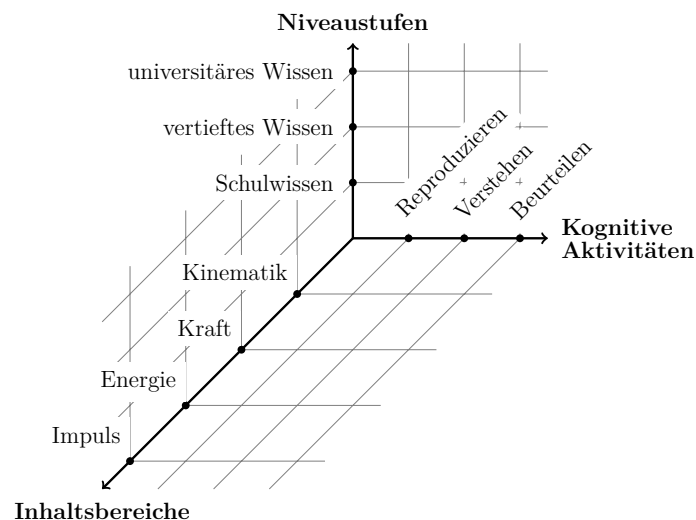


Abbildung 2.20.: Operationalisierung des physikalischen Fachwissens nach Riese (2009)

Die Dimension der *Inhaltsbereiche* bezieht Riese (2009) auf die typischen zentralen Inhalte physikalischer Fachvorlesungen im Bereich Mechanik, die auch eine gute Übereinstimmung mit den schulbezogenen Ansatzpunkten (z.B. Bildungsstandards KMK Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2004)) zeigen. Die Mechanik ist in die folgenden Unterdimensionen unterteilt: Die Kinematik beinhaltet die

<sup>23</sup>Cognitive Activation in the Classroom: The Orchestration of Learning Opportunities for the Enhancement of Insightful Learning in Mathematics – Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung mathematischer Kompetenz

<sup>24</sup>Mathematics Teaching in the 21st Century



## 2. Problemlösen

verschiedenen Bewegungsarten und ihre Beschreibung sowie das Superpositionsprinzip. Der Inhaltsbereich Kraft bezieht sich auf das allgemeine Kraftverständnis und die Newtonschen Axiome. Als weitere Bereiche sind die Erhaltungsgrößen Energie, mit den verschiedenen Energieformen und Umwandlungen, und Impuls, insbesondere bei Stoßprozessen, aufgeführt. Alle Bereiche beziehen sich auf Translationsbewegungen und die Äquivalente bei Rotationsbewegungen. Die verschiedenen Inhaltsbereiche stehen in Einklang mit den verschiedenen Problemschemata, die in Kapitel 2.5.2 vorgestellt wurden.

Für die *kognitiven Aktivitäten* als weitere Dimension wählte Riese (2009) eine allgemeine, nicht domänenspezifische Strukturierung. Dies weicht von der Unterteilung in der Mathematik (z.B. MT21) ab, da diese Prozesse („Algorithmisieren“, „Problemlösen“, „Modellieren“, vgl. Blömeke et al., 2008a) nur schwer als kognitive Aktivitäten auf die Physik übertragen werden können. Auch spezifisch physikalische Prozesse („Fachwissen nutzen“, „Erkenntnisse gewinnen“, „Kommunizieren“, „Bewerten“, vgl. Schecker & Parchmann, 2006) schätzt Riese (2009) als ungeeignet ein, da sich diese (auf Experimente bezogenen) Prozesse nur schwer mit einem Papier-und-Bleistift-Test, wie er in seiner Arbeit entwickelt wurde, erheben lassen.

Die erste<sup>25</sup> Stufe ist das Reproduzieren von Wissen (z.B. die Nennung von Formeln). Das Verstehen des physikalischen Fachwissens ist die zweite Stufe der Dimension der kognitiven Aktivität. Dieses Wissen kommt in komplexeren Situationen zur Anwendung und beinhaltet das konzeptuelle Verständnis und die Vernetzung von Wissen. Es ermöglicht die Herstellung von Analogien und Zusammenhängen und liefert Begründungen für physikalische Situationen. Die dritte Stufe ist das fachliche Beurteilen von Wissen. Beim wissenszentrierten Problemlösen nach Friege (2001) werden kognitive Aktivitäten aus allen drei Unterdimensionen benötigt; beispielsweise wird für die Entwicklung neuer Lösungswege explizit auf das Reproduzieren und Verstehen von Wissenselementen zurückgegriffen. Über

---

<sup>25</sup>Riese (2009) weist explizit darauf hin, dass diese Unterdimensionen nicht zwangsläufig größer werdende Anforderungen stellen. Arbeiten von Friege & Lind (2004) oder Schmidt & Schecker (2008) legen nahe, dass es sich hierbei mehr um parallele Fähigkeiten als um hierarchisch aufeinander aufbauende Fähigkeiten handelt und es nicht angemessen ist, das „bloße“ Faktenwissen abzuwerten, da dies ein sehr guter Prädiktor für die Problemlöseleistung ist (vgl. Friege & Lind, 2004).

alle Phasen des Problemlösens hinweg sollte eine fachliche Beurteilung der Richtigkeit stattfinden, insbesondere findet sich dies bei der Evaluation.

Die *Niveaustufen* orientieren sich an der Einteilung von COACTIV und MT21. Die Autoren beider Studien ordnen das Wissen danach ein, in welchem Teil der Ausbildung es vorkommt. Sie unterscheiden in Schulwissen (dem Schulstoff aus der Sekundarstufe I), dem darauf aufbauenden vertieften Wissen, das das Schulwissen von einem höheren Standpunkt aus betrachtet und dem darüber liegenden universitären Wissen, wie es an Hochschulen vermittelt und erworben wird.

Wissenselemente, so wie sie beim wissenszentrierten Problemlösen benötigt werden, können durch diese Operationalisierung klar den drei Dimensionen zugeordnet werden. Aus dem Beispiel aus Kapitel 2.5 sind die benötigten Wissenselemente<sup>26</sup> den Inhaltsbereichen Kinematik und Kraft zuzuordnen und beinhalten vor allem das Reproduzieren und Verstehen der zugehörigen Konzepte. Die Wissenselemente bewegen sich auf dem Niveau von Schulwissen und vertieftem Wissen. Universitäres Wissen spielt, wie auch bei den anderen für diese Arbeit verwendeten Problemen, keine Rolle, da die Zielgruppe der Untersuchung Studierende sind, die erst Grundlagen in der Mechanik erworben haben.

Die Operationalisierung physikalischen Fachwissens nach Riese (2009) ist, wie oben dargelegt wurde, geeignet, um als Grundlage für die entwickelten Items für den Fachwissenstest zu dienen, dessen Inhalte in Kapitel 4.3.5 vorgestellt werden. Im Folgenden werden noch domänenspezifische Ergebnisse bezüglich des Einflusses von Wissen auf den Erfolg beim Problemlösen exemplarisch an den Arbeiten von Friege (2001) und Friege & Lind (2004), dargelegt.

In der Arbeit „*Wissen und Problemlösen*“ von Friege (2001) wird nicht nur das Modell des wissenszentrierten Problemlösens aufgestellt, sondern es wird auch untersucht, welche Zusammenhänge zwischen Wissensexpertise und Problemlöseexpertise erhoben werden können. Hierzu hat Friege aus den Ergebnissen seiner Wissenstests (Faktenwissen, strukturelles Wis-

---

<sup>26</sup>Wissenselemente zum Problem „Anstoßen eines Körpers“: Konzeption von Reibung; 2. Newtonsches Axiom; Weg-Zeit- und Weg-Geschwindigkeit-Gesetz für gleichförmige und beschleunigte Bewegung; Superposition von Bewegungen

## 2. Problemlösen

sen und Kenntnisse über Problemschemata) und des Problemlösetests mit Hilfe einer LCA (Latente-Klassen-Analyse) Klassen der Wissens- und Problemlöseexpertise gebildet und die Zugehörigkeit der Probanden zu den verschiedenen Klassen miteinander verglichen. Beim Vergleich des Faktenwissens und der Problemlöseleistung zeigte sich – wie aus den Ergebnissen der Expertiseforschung zu erwarten war – eine gute Übereinstimmung zwischen den Klassen der Wissens- und Problemlöseexpertise: Personen, die in höhere Klassen zur Wissensexpertise zugeordnet werden, befinden sich auch bei der Problemlöseexpertise in den höheren Klassen. Auch ergab sich eine hohe Korrelation zwischen den Punkten im Fachwissenstest und denen im Problemlösetest. Die Folgerung daraus ist, dass (Fakten)Wissen ein notwendiges, aber nicht hinreichendes Kriterium zum erfolgreichen Lösen wissenszentrierter Probleme ist. Friege (2001) merkt an, dass zu einer besseren Erklärung der Problemlöseleistung auch andere Faktoren, wie z.B. die Motivation, miteinbezogen werden müssten, was in dieser Arbeit durch die Untersuchung des Selbstkonzeptes (s.h. Kapitel 2.7.3) und des Interesses (s.h. Kapitel 2.7.4) geschieht.

Interessant für die Konstruktion eines Fachwissenstests ist eine weitere Erkenntnis von Friege (2001) bzw. Friege & Lind (2004), nämlich dass der Zusammenhang zwischen Problemlösen und Wissen nicht nur dann gegeben ist, wenn der Problemlösetest und Wissenstest exakt aufeinander abgestimmt sind, sondern dass sich auch gleich hohe Korrelationen zwischen beiden ergeben, wenn sie keine inhaltlichen Überschneidungen haben. So sagt ein Wissenstest in der E-Lehre genauso gut die Problemlöseleistung in der Mechanik vorher wie in der E-Lehre. Erklärt werden kann dies dadurch, dass es sich beim Lernen von Physik um einen kumulativen Prozess handelt, was bedeutet, dass neues Wissen auf altem aufbaut und deshalb die verschiedenen Wissensbereiche voneinander abhängig sind.

\*

Physikalisches Fachwissen ist ein sehr wichtiger Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen, wie allgemeine Ergebnisse aus der Expertiseforschung (s.h. Kapitel 1.3.2) und domänenspezifische Modelle zum Problemlösen

(s.h. z.B. Kapitel 2.4.3.4; Kapitel 2.4.5) zeigen und wird dementsprechend im Rahmen der Untersuchung miterhoben. Die Operationalisierung des Fachwissens innerhalb der vorliegenden Arbeit erfolgt über das dreidimensionale Modell von Riese (2009), das Inhaltsbereiche der Mechanik, kognitive Aktivitäten und Niveaustufen berücksichtigt. Eine genaue Abstimmung zwischen den Inhalten des entwickelten Fachwissens- und Problemlösetests ist nicht zwingend nötig. Fachwissen ist auch dann ein guter Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen, wenn unterschiedliche Inhalte erhoben werden, da das Lernen von Physik ein kumulativer Prozess ist.

### 2.7.1.2. Mathematisches Fachwissen

Mathematik und Physik sind unbestritten eng miteinander verbunden, auch wenn der Mathematik oft die Rolle einer „Hilfswissenschaft“ (vgl. Böhm et al., 2010) zugeschrieben wird. Die Mathematik liefert aber nicht nur die Werkzeuge zum Berechnen, sondern bildet die Grundlage zur Modellierung<sup>27</sup>, Strukturierung und des Verständnisses der physikalischen Inhalte (vgl. Pospiech, 2007; Uhden, 2012).

Es liegen zwar Ergebnisse zu Untersuchungen des Verhältnisses von Physik und Mathematik in der didaktischen Forschung vor, z.B.

- zur Interpretation von Formeln / Gleichungen (Dee-Lucas & Larkin, 1991, Sherin, 2001, Müller & Heise, 2006, Strahl et al., 2010)
- und Diagrammen (Larkin & Simon, 1987),
- zur physikalisch-mathematischen Modellierung (Uhden, 2012),
- zu Einstellungen / Vorstellungen von Schülern gegenüber der Mathematik (Krey, 2012),
- zur benötigten Mathematik in der Schule (Trump & Borowski, 2014).

Diese Forschungen beziehen sich jedoch nicht explizit auf den Einfluss der Kenntnisse in Mathematik auf den Erfolg beim Problemlösen. Es ist jedoch, in Hinblick auf die Ergebnisse der Expertiseforschung und das Modell des

---

<sup>27</sup>Unterschiede und Gemeinsamkeiten von „Modellieren“ und „Problemlösen“ wurden im Kapitel 2.6 diskutiert.

## 2. Problemlösen

wissenszentrierten Problemlösens anzunehmen, dass das (Fakten-) Wissen in Mathematik eine Rolle beim erfolgreichen Bearbeiten von Problemen spielt. Dies wird im Folgenden weiter begründet.

Krey (2012) untersucht in seiner Arbeit „*Zur Rolle der Mathematik*“ aus wissenschaftstheoretischer und historischer Sicht ausführlich die Beziehungen zwischen Physik und Mathematik. Wichtig für die hier vorliegende Arbeit ist die Funktion und Verwendung von Mathematik in der Physik, die die Annahme rechtfertigt, dass das Wissen in Mathematik ebenfalls zu den Prädiktoren für den Erfolg beim Problemlösen gezählt werden kann. Krey (2012) nennt vier wesentliche Funktionen der Mathematik in der Physik.

(1) *Kognitive Entlastung*: Mathematik erlaubt es, abstrakte Konzepte in eine konkrete Form (Formeln, Schaubilder) zu bringen, die so besser greifbar sind. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die mathematischen Konzepte verstanden sind, da sonst keine Entlastung stattfindet.

(2) *Exaktheit*: Mathematische Beschreibungen erlauben eine quantitative Vorhersagegenauigkeit, die mit rein qualitativen Werkzeugen nicht erreichbar wäre. Krey (2012) führt das Beispiel des schiefen Wurfs an – qualitativ wäre die Aussage einer gekrümmten Bahn, die durch die Überlagerungen der Bewegungen zustande kommt, möglich. Quantitativ, mit Hilfe der Mathematik, sind genaue Aussagen über die Art der Krümmung und andere Größen wie Flugzeit oder Auftreffpunkt möglich. Darüber hinaus sind Begriffe in der Mathematik immer klar definiert und voneinander abgegrenzt, was zu den nächsten beiden Punkten führt.

(3) *Kommunikation*: Durch eine genau festgelegte Interpretation mathematischer Repräsentationen (Gleichungen, Graphiken) sind physikalische Inhalte besser kommunizierbar.

(4) *Objektivierung*: Der Forschungsgegenstand der Physik ist somit nicht von der Interpretation einer einzelnen Person abhängig, sondern – über die exakten Eigenschaften der mathematischen Repräsentationen – objektivierbar.

Diese Funktionen lassen den Schluss zu, dass ohne ein grundlegendes Wissen in Mathematik das Betreiben von Physik nur sehr schwer möglich ist. Ältere Forschungen zum Zusammenhang zwischen grundlegenden ma-

thematischen Kenntnissen in Algebra und Geometrie und dem Erfolg in einem Physik-Kurs an der Universität weisen in die gleiche Richtung – sie finden Korrelationen zwischen dem Abschneiden in Mathematik-Tests und dem erfolgreichen Abschließen von Physik-Kursen (vgl. Hudson & McIntire, 1977; Hudson & Rottmann, 1981; Under & Hudson, 1989). Auch wenn diese Korrelationen von Studie zu Studie variieren und nicht immer statistisch signifikant sind (vgl. Meltzer, 2002), weisen sie doch darauf hin, dass gute Leistungen in Mathematik ein notwendiges, jedoch kein hinreichendes Kriterium für gute Ergebnisse in der Physik darstellen (vgl. Hudson & McIntire, 1977).

Bei einem (Rück-) Blick auf das Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (2001) (s.h. Kapitel 2.4.5) bzw. die darauf basierenden Phasen des Problemlösens (s.h. Kapitel 2.5) ist festzustellen, dass die Nutzung der Mathematik zur Erarbeitung von Lösungswegen und zum Durchführung der Lösung nötig ist. Für eine quantitative Behandlung müssen die physikalischen Inhalte in eine mathematische Form (z.B. Gleichungen) gebracht werden, welche später mit mathematischen Werkzeugen (Umformungen, Berechnungen) in eine Lösung überführt werden, die gegebenenfalls wiederum aus der Mathematik interpretiert werden muss.

Die oben genannten Gründe lassen den Schluss zu, dass die Erhebung der mathematischen Fähigkeiten ein sinnvoller Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen ist. Um mathematisches Fachwissen im Rahmen dieser Arbeit zu messen, wird analog zum physikalischen Fachwissen (s.h. Kapitel 2.7.1.1) eine Operationalisierung in drei Dimensionen (Inhaltsbereiche, kognitive Aktivität, Niveaustufe) vorgenommen (s.h. Abbildung 2.21).

Kognitive Aktivitäten und Niveaustufen sind identisch zur der Operationalisierung des physikalischen Fachwissens. Die Inhaltsbereiche orientieren sich an den Ergebnissen von MT21 (Blömeke et al., 2008a), bei dem die Fachwissens-items in fünf Unterdimensionen der Inhaltsbereiche (Arithmetik, Algebra, Funktionen, Geometrie und Statistik) ausdifferenziert werden. Diese Unterdimensionen konnten mit Hilfe eines Modellvergleichs zwischen dem 1-dimensionalen und dem fünf-dimensionalen Rasch-Modell bestätigt werden (vgl. Blömeke et al., 2008b). Für den in Kapitel 4.3.4 vorge-

## 2. Problemlösen

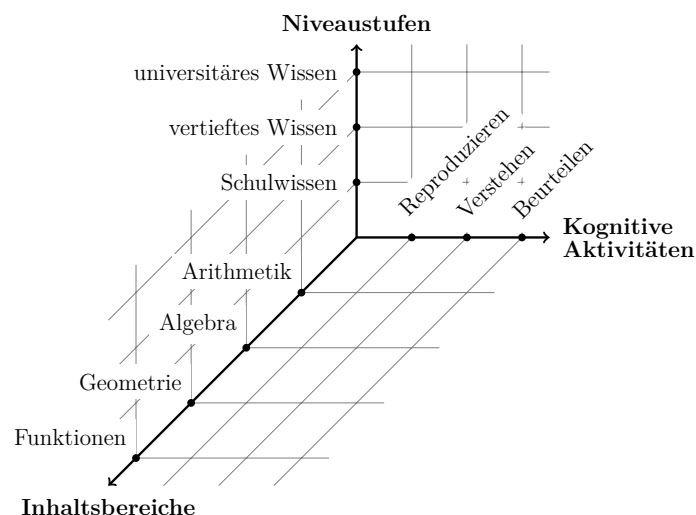


Abbildung 2.21.: Operationalisierung des mathematischen Fachwissens in Anlehnung an Riese (2009)

stellten Fachwissenstest in Mathematik wird der Inhaltsbereich der Statistik ausgeklammert, da Wissen in der Statistik im Rahmen der einfachen Mechanik, die die Grundlage des Problemlösetest bildet, nicht benötigt wird.

\*

Neben dem physikalischen Fachwissen soll im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden, inwieweit auch das mathematische Fachwissen eine Rolle für den Erfolg beim Problemlösen spielt. Begründet wird die Annahme eines Zusammenhangs zunächst mit der grundsätzlichen Funktion der Mathematik innerhalb der Physik und den Anforderungen der einzelnen Phasen des wissenszentrierten Problemlösens. Darüber hinaus weisen auch Forschungsergebnisse darauf hin, dass Kenntnisse in Mathematik notwendig (wenn auch nicht hinreichend) für das Lösen von physikalischen Problemen sind. Die Operationalisierung wird analog zum physikalischen Fachwissen gewählt, wobei die Inhaltsbereiche aus Large Scale Untersuchungen (MT21) statistisch abgesichert sind.

### 2.7.2. Erfahrung

Wie bereits in Kapitel 1.3.3 dargelegt, spielen die gemachten Erfahrungen eine wesentliche Rolle beim Erwerb von Expertise. Auch wenn die Gleichung „*Investierte Zeit = Leistungsniveau*“ nicht zwingend gilt (s.h. Gruber & Mandl, 1996, S. 19), ist es innerhalb der Expertiseforschung und der damit eng verbundenen Forschung zum Problemlösen unumstritten, dass der Rückgriff auf bereits gemacht Erfahrungen den Erfolg (beim Problemlösen) beeinflusst. Im Folgenden werden ausgewählte Aspekte dieses Einflusses vorgestellt.

Erfahrene Problemlöser haben bereits viele Probleme (erfolgreich) gelöst und sind so mit den verschiedenen Lösungswegen bzw. Problemschemata aus der Domäne Physik (s.h. Kapitel 2.5) vertraut. Die Mittel und Methoden zur Lösung eines Problems sind bekannt, wodurch – in Rückgriff auf die Unterscheidung von Dörner (1976) – aus „Problemen“ „Aufgaben“ werden, die einfacher zu bearbeiten sind. Typische Fehler können durch die Kenntnisse aus früheren Lösungsvorgängen vermieden werden und bei bereits bekannten Lösungswegen muss keine fehleranfällige Konstruktion eines Ansatzes aus Wissenselementen (s.h. Kapitel 2.5.2) erfolgen. Darüber hinaus ermöglicht größere Erfahrung eine tiefere Auseinandersetzung mit den Inhalten der Physik, was sich beispielsweise in der qualitativen Organisation des Wissens („Oberflächenmerkmale“ vs. „Tiefenstruktur“ s.h. vorangegangenes Kapitel) äußert. Hinzu kommt die beispielsweise von de Groot (1986) beschriebene „Intuition“, die eine Auswahl des richtigen Lösungsansatzes sicherlich auch in der Physik vereinfacht – Experten haben „ein Gespür“ dafür, ob sich in einer bestimmten Situation etwa der Kraft- oder der Energieansatz besser eignet.

Erfahrung ist, wie in Kapitel 1.3.2 beschrieben, ebenfalls nötig, um das vorhandene Wissen sinnvoll einsetzen zu können. Kolodner (1983) fasst dies unter dem *episodischen Gedächtnis*<sup>28</sup> zusammen, das ihren Untersuchungen nach bei gleicher (deklarativer) Wissenslage erfahreneren Problemlösern die erfolgreichere Bearbeitung von Problemen ermöglicht.

---

<sup>28</sup>Das episodische Gedächtnis verbindet Wissenselemente über Erfahrungen („Erinnerungsepisoden“) wodurch diese leichter zusammen abgerufen werden können.



Erfahrung ist ein wichtiger Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen. Jedoch ist die Messung der Erfahrung durchaus schwierig, da beispielsweise nicht zwingend von der Beschäftigungszeit mit einem Thema auf die Leistung geschlossen werden kann – auch wenn sie einen ersten Ansatzpunkt liefert. Erfahrung äußert sich vielmehr durch Kenntnis von Problemschemata, der Strukturierung des Wissens und der Intuition. Dies sind jedoch Konstrukte, die nur aufwendig (wenn überhaupt) erhoben werden können. Vorhandene Problemschemata oder die Strukturierung von Wissen können beispielsweise über Concept-Maps (s.h. z.B. Novak 1996; Fischler & Peuckert 2000; Friege 2001) oder Sortierungsaufgaben (s.h. Chi et al., 1982) erfasst werden. Das für diese Arbeit entwickelte Instrument soll jedoch im Papier-und-Bleistift-Format in möglichst kurzer Zeit (90 Minuten) eine Erhebung des Erfolgs beim Problemlösen und ausgewählter Prädiktoren zulassen. Aus diesem Grund wird auf eine detaillierte Erfassung der Erfahrung verzichtet und es wird versucht, sich an selbige über leichter zu messende Größen (z.B. Physik als Leistungskurs in der Schule, Anzahl der Fachsemester) anzunähern.

### 2.7.3. Selbstkonzept

Als ein weiterer Prädiktor soll analysiert werden, inwieweit die Selbsteinschätzung der Probanden den Erfolg beim Problemlösen beeinflusst. Die Grundlage für die Annahme, dass ein solcher Zusammenhang existiert, liefern Forschungen zum Einfluss des Selbstkonzepts auf das allgemeine Lern- und Leistungsverhalten (s.h. z.B. Laukenmann et al., 2000; Moschner & Dickhäuser, 2010) und Ergebnisse, die sich direkt auf das Problemlösen beziehen (s.h. z.B. Smith, 1991a; Jonassen, 2000; Funke, 2003).

Für den Begriff „Selbstkonzept“ lassen sich in der Literatur viele verwendete Begriffe finden: Selbstbild, Selbstmodell, Selbst-Schema, Selbst-Theorie, Selbsteinschätzung, Selbstwahrnehmung, Selbstwirksamkeit, Selbstvertrauen, Selbstwertgefühl, Selbstakzeptanz (vgl. Moschner & Dickhäuser, 2010). Auch wenn sich bei den Begriffen sicher theoretische Unterschiede

## 2.7. Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen

offenbaren, werden sie oft synonym verwendet. Im Folgenden wird der Begriff „Selbstkonzept“ als Überbegriff verwendet. Getrennt davon wird im weiteren Verlauf zusätzlich auf die allgemeine Selbstwirksamkeitserwartung eingegangen.

Wie durch die Vielzahl der Begriffe bereits deutlich wird, wird das „Selbstkonzept“ von Forschern in all seinen Facetten mit unterschiedlichen Definitionen untersucht. Shavelson et al. (1976) haben in ihrer Arbeitsdefinition den wesentlichen gemeinsamen Aspekt der verschiedenen Begrifflichkeiten herausgearbeitet. Demnach versteht man unter Selbstkonzept:

*„In very broad terms, self-concept is a person's perception of himself. These perceptions are formed through his experience with his environment [...].“* (Shavelson et al., 1976, S. 411)

Im weitesten Sinne ist das Selbstkonzept die Eigenwahrnehmung einer Person. Diese Wahrnehmung wird durch die Erfahrungen der Personen mit ihrer Umwelt geformt. (eigene Übersetzung)

Anders ausgedrückt ist das Selbstkonzept eine individuell gewichtete Bewertung von Merkmalen, Eigenschaften und Fähigkeiten, die eine Person sich selbst zuschreibt (vgl. Pawek, 2009).

Shavelson et al. (1976) nennen sieben wesentliche Eigenschaften des Begriffs des Selbstkonzepts, von denen die drei, die im Rahmen dieser Arbeit von Bedeutung sind, im Folgenden vorgestellt werden.

(1) *Strukturiertheit*: Das Selbstkonzept einer Person ist nicht als ein einziges Konstrukt zu sehen. Vielmehr ist es anhand der verschiedenen Erfahrungsbereiche einer Person in unterschiedliche Kategorien unterteilt.

(2) *Hierarchischer Aufbau*: Die unterschiedlichen Kategorien des Selbstkonzepts unterscheiden sich in ihrer Allgemeinheit und sind hierarchisch zueinander aufgebaut<sup>29</sup>. Eine graphische Darstellung zeigt die Abbildung 2.22. Die Kategorien werden nach unten immer situationsspezifischer – allem übergeordnet ist das umfassende Selbstkonzept, das sich weiter ausdifferenziert. Von Interesse für diese Arbeit sind Aspekte des akademischen

---

<sup>29</sup>Der Aufbau erfolgt ähnlich dem hierarchischen Modell von „Intelligenz“ (s.h. Kapitel 1.3.1).

## 2. Problemlösen

Selbstkonzepts in den Domänen Physik und Mathematik. Es lassen sich zwischen den Ebenen Zusammenhänge finden, die von der Nähe der einzelnen Hierarchieebenen abhängen – je näher die Ebenen beieinander liegen, desto stärker sind die Zusammenhänge. In Bezug auf die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Selbstkonzept und Problemlösen wurden in diesem Modell auf der untersten Ebene des situationsgebundenen Selbstkonzepts die Phasen des Problemlösens eingeführt, da vermutet wird, dass das Selbstkonzept abhängig von den spezifischen Anforderungen der einzelnen Phasen ist.

(3) *Stabilität*: Die Stabilität des Selbstkonzepts wird von der jeweiligen Ebene, auf der es sich befindet, beeinflusst. Beispielsweise ist das umfassende Selbstkonzept sehr stabil, wohingegen das situationsgebundene Selbstkonzept sehr von der jeweiligen Situation abhängt.

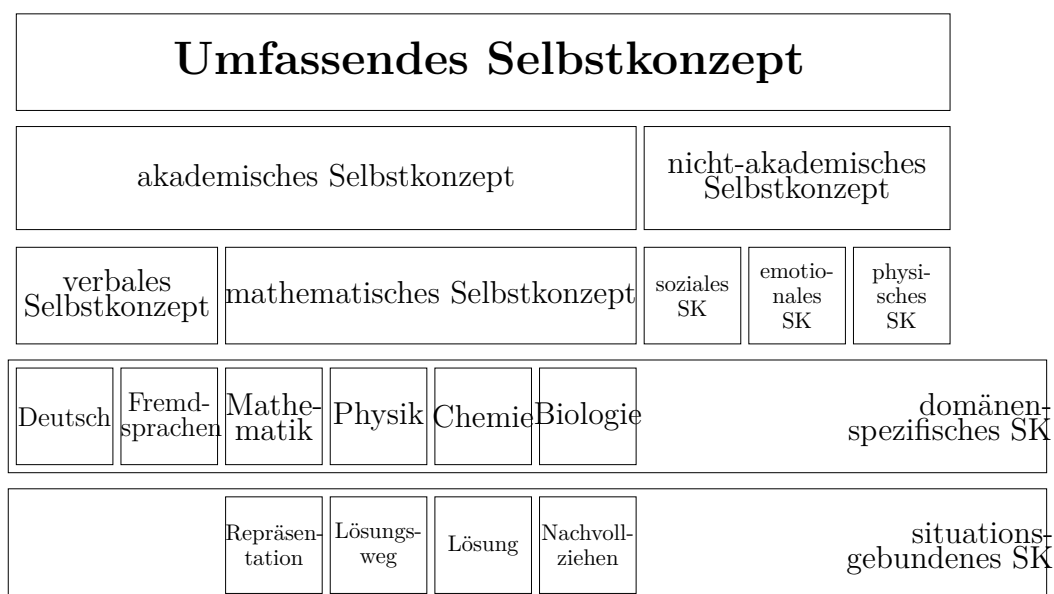


Abbildung 2.22.: Das hierarchische Selbstkonzeptmodell von Shavelson et al. (1976) in einer Revision durch Marsh (1986)

Einen bestimmten Aspekt des Selbstkonzepts, auf den näher eingegangen wird, stellt die Selbstwirksamkeitserwartung (SWE) nach Bandura (1977, 1997) dar. Bei dieser Facette des Selbstkonzepts werden nicht nur die Annahmen einer Person über sich selbst miteinbezogen, sondern diese Annahmen werden vor dem Hintergrund von möglichen Schwierigkeiten und der

## 2.7. Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen

Unbekanntheit von Aufgaben gesehen. Schmitz & Schwarzer (2000) fassen die Anlage der Selbstwirksamkeitserwartung so zusammen:

*„Unter Selbstwirksamkeitserwartung versteht man die subjektive Gewißheit, eine neue oder schwierige Aufgabe auch dann erfolgreich bearbeiten zu können, wenn sich Widerstände in den Weg stellen.“* (Schmitz & Schwarzer, 2000, S. 12).

Die (allgemeine) Selbstwirksamkeitserwartung ist im hierarchischen Selbstkonzeptmodell (Abbildung 2.22) auf einer hohen Ebene zu verorten und somit als stabil einzuschätzen. Aus diesem Grund wird das Konstrukt im Rahmen der Pilotierung als Kontrollvariable eingesetzt, um zu überprüfen, ob die anderen Formen des Selbstkonzepts (z.B. situationsgebundenes Selbstkonzept) damit, wie zu erwarten, in gewissem Maße korrelieren.

Die Selbstwirksamkeitserwartung beeinflusst, analog zum Selbstkonzept, den gewählten Schwierigkeitsgrad einer Handlung, die investierte Anstrengung, die Ausdauer und somit indirekt den Grad des Handlungserfolgs – wer die Erwartung hat, ein Problem lösen zu können, wird es auch mit größerer Wahrscheinlichkeit erfolgreich lösen.

\*

Das Selbstkonzept ist – allgemein ausgedrückt – die Einschätzung einer Person über ihre eigenen Fähigkeiten. Hierbei werden mehrere Ebenen (z.B. allgemeines, domänenspezifisches und situationsgebundenes Selbstkonzept) unterschieden, die je nach Allgemeinheit unterschiedlich stabil sind und verschieden starke Beziehungen zueinander aufweisen. Das Selbstkonzept beeinflusst den Erfolg einer Handlung indirekt, da es die investierte Anstrengung und Ausdauer moderiert. Studien zur schulischen Leistung (z.B. Laukenmann et al., 2000) oder direkt zum Problemlösen (Übersicht z.B. Smith, 1991a; Funke, 2003) legen nahe, dass ein größeres Selbstkonzept mit erfolgreicherem Problemlösen einhergeht.

Aus diesem Grund wird eine Erhebung des Selbstkonzepts in die Untersuchung des Zustandekommens von erfolgreichem Problemlösen miteinbezogen. Hierbei werden Teile des akademischen Selbstkonzepts ausgewählt,

## 2. Problemlösen

die in unmittelbarer Nähe zum Problemlösen stehen: das Selbstkonzept in Mathematik und Physik sowie situationsgebundene Selbstkonzepte in den einzelnen Phasen des Problemlösens. Über die Erhebung der allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung nach Schmitz & Schwarzer (2000) wird die inhaltliche Validität der neu entwickelten Skalen überprüft.

### 2.7.4. Interesse

Ein weiteres emotional-kognitives Konstrukt, von dem angenommen werden kann, dass es den Erfolg bei Schul- und Studienleistungen, also auch beim Problemlösen, beeinflusst, ist das Interesse. Im Folgenden wird das Konstrukt des „Interesses“ kurz vorgestellt und dargelegt, in welcher Form das Interesse im Rahmen dieser Arbeit als Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen untersucht wird.

Unter Interesse versteht man, nach der Auffassung der Autoren Schiefele, Krapp und Prenzel („Münchner Gruppe“) eine „besondere *Relation zwischen Person und Gegenstand*“ (Prenzel, 1988, S. 108). Der Interessensgegenstand kann sowohl ein konkretes Objekt (z.B. Katzen), als auch ein bestimmter Wissensbereich (z.B. Physik) oder eine Tätigkeit (z.B. das Durchführen von Experimenten) sein (vgl. Krapp, 2010). Damit ein Objekt als Interessensgegenstand einer Person bezeichnet werden kann, muss die Person Wissen über den Gegenstand besitzen und sich aus intrinsischen Gründen damit beschäftigen (vgl. Pawek, 2009). Hierdurch wird das Interesse von anderen Begriffen abgegrenzt – Handlungen, die aus Vergnügen oder Neugier durchgeführt werden, fallen nicht unter das Interesse, ebenso wenig wie die Beschäftigung mit Inhalten aus extrinsischer Motivation heraus (z.B. um gute Noten zu erhalten). Des Weiteren wird der Interessensgegenstand durch eine hohe subjektive Wertschätzung und positives emotionales Erleben seitens der interessierten Person gekennzeichnet (vgl. Krapp, 2010).

Es lassen sich zwei Interessensarten unterscheiden (1) *Dispositionales (oder individuelles) Interesse*: Hierbei handelt es sich um eine stabile Eigenschaft einer Person, die sich intensiv mit einem Interessensgegenstand beschäftigt, entsprechendes Wissen darüber aufgebaut und Erfahrungen

damit gesammelt hat (vgl. Pawek, 2009). (2) *Situationales (oder aktuelles) Interesse*: Dieses Interesse ist, im Gegensatz zum stabilen dispositionalen Interesse, von der jeweiligen Situation und ihren „Anreizbedingungen“ (Krapp, 2010) abhängig und somit nur auf eine konkrete Handlungssituation bezogen (vgl. Pawek, 2009).

Der Einfluss des Interesses einer Person auf Schul- oder Studienerfolg ist gut untersucht und unbestritten (vgl. Pawek, 2009). Beispielhaft in diesem Zusammenhang ist die Metastudie von Schiefele et al. (1993) zu nennen, die zahlreiche Untersuchungen zum Interesse zusammenführt und eine mittlere Korrelation ( $r = .30$ ) zwischen der Leistung und dem Interesse in einem Schulfach ermittelt. Die Korrelation vergrößert sich, wenn einzelne Schulfächer (insbesondere Mathematik und Physik) betrachtet werden. Krapp (2010) merkt hierbei jedoch an, dass sich bei der Kontrolle von anderen Einflussfaktoren (wie z.B. dem Vorwissen) nicht bei allen einbezogenen Studien weiterhin eine statistisch signifikante Korrelation ergibt. Er erklärt dies damit, dass durch Interesse positive (oder negative) Rückkopplungseffekte entstehen – eine interessierte Person beschäftigt sich mehr und intensiver mit dem Interessensgegenstand und kann deswegen bessere Leistungen erbringen (mehr Wissen/Erfahrung). Interesse wäre damit nur indirekt für erfolgreicherer Abschneiden verantwortlich.

Interesse wird in verschiedenen Untersuchungen unterschiedlich gemessen, abhängig vom Ziel und der jeweiligen Operationalisierung des Begriffs. Im Rahmen dieser Arbeit ist die Einteilung des Sachinteresses an Physik (und Technik) der IPN-Interessenstudie (s.h. Hoffmann et al., 1998) in folgende drei Dimensionen bedeutsam: (1) Interesse an dem Kontext, in den ein bestimmter physikalischer Inhalt eingebettet ist; (2) Interesse an einem bestimmten physikalischen Gebiet und (3) Interesse an einer bestimmten Tätigkeit im Rahmen der Beschäftigung mit einem Inhalt. Die dritte Dimension des Interesses im Physikunterricht umfasst die in Kapitel 4.3.3 vorgestellten Items zur Erhebung der Beliebtheit verschiedener Tätigkeiten beim Betreiben von Physik (z.B. Theorien aufstellen/prüfen, rechnen, experimentieren).

## 2. Problemlösen

Das Interesse beschreibt die besondere Beziehung einer Person zu einem Interessensgegenstand, wobei das Konstrukt klar von Neugier oder Vergnügen abgegrenzt ist. Interesse ist ein gut untersuchter Prädiktor für die Erklärung von Leistung im Allgemeinen (vgl. z.B. Schiefele et al., 1993) und von Erfolg beim Problemlösen im Speziellen (s.h. z.B. Smith, 1991a; Laukenmann et al., 2000). Durch Interesse erfolgt eine verstärkte Beschäftigung mit dem Interessensgegenstand, was dadurch indirekt zu einer verbesserten Leistung in diesem Bereich führt. Es ist demnach wie bereits beim Selbstkonzept zu erwarten, dass größeres Interesse den Erfolg beim Problemlösen positiv beeinflusst. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine bestimmte Dimension des Sachinteresses an Physik, die Beliebtheit von bestimmten Tätigkeiten beim Betreiben von Physik, untersucht.

### 2.7.5. Unterschiede zwischen Experten und Novizen

Neben den oben vorgestellten Faktoren, die gute Problemlöseleistungen beeinflussen, gibt es weitere Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Problemlösern. Da es ein Zeichen von Expertise in einer bestimmten Domäne ist, Probleme erfolgreich zu bearbeiten (vgl. Schultz & Lochhead, 1991; Kapitel 1.2), werden im Folgenden quantitative und vor allem qualitative Unterschiede zwischen Experten und Novizen verglichen.

Zu den wenigen, jedoch offensichtlichen, quantitativen Unterschieden (neben den in den Kapiteln 2.7.1 bis 2.7.4 genannten, wie größeres Wissen oder mehr Erfahrung) gehört, dass Experten im Allgemeinen Probleme erfolgreicher, schneller, mit weniger Fehlern bearbeiten als Novizen (vgl. Chi et al., 1982) und auch genauer als sie vorgehen (vgl. Johnson, 1988). Diese Ergebnisse sind nicht überraschend, da Experten sowohl ein größeres Wissen als auch mehr Erfahrung haben, die dabei hilft, Probleme als „Routineprobleme“ (bzw. „Aufgaben“ im Sinne von Dörner (1976)) zu bearbeiten, wodurch sie den Lösungsweg eigentlich schon kennen und typische Fehler vermeiden können.

Interessanter sind die qualitativen Unterschiede zwischen Experten und Novizen, die sich beispielsweise in der Herangehensweise an ein Problem zeigen (s.h. z.B. Larkin & Reif, 1979). Novizen beginnen damit, das Pro-

blem mit Hilfe einer Aufstellung der gegebenen und gesuchten Größen und einer Skizze<sup>30</sup> zu repräsentieren. Es handelt sich hierbei um eine „*naive Repräsentation*“ (vgl. McDermott & Larkin, 1978 bzw. Larkin, 1983), die lediglich konkrete Objekte und ihre Anordnung enthält und kein spezifisches physikalisches Wissen benötigt. Novizen gehen daraufhin direkt zu einer mathematischen Beschreibung über, die die (für sie) relevanten Gleichungen enthält. Novizen schreiben diesen Gleichungen auch einen höheren Stellenwert zu als Experten (vgl. Dee-Lucas & Larkin, 1991). Es wird nun versucht, die Gleichungen so zu kombinieren, dass die unerwünschten Größen eliminiert werden und nur die gesuchte Größe übrig bleibt. Hierbei wird „von hinten“ gearbeitet – Novizen wenden eine *Rückwärtsverkettung*<sup>31</sup>, ähnlich der means-end Analyse (vgl. Kapitel 2.4.3.2) an und suchen ausgehend vom erwünschten Ergebnis relevante Gleichungen (vgl. Schultz & Lochhead, 1991).

Das Vorgehen von Experten beginnt ähnlich wie das der Novizen; es werden die gegebenen und gesuchten Größen festgehalten und eine Skizze der Situation erstellt. Daraufhin wird jedoch eine zwar weniger detaillierte, qualitative physikalische Beschreibung des Problems erarbeitet, die spezifische physikalische Ansätze (z.B. den Kraftansatz) unter der Anwendung von Hauptprinzipien (z.B.  $F = m \cdot a$ ) beinhaltet. Es handelt sich hierbei (nach McDermott & Larkin, 1978 bzw. Larkin, 1983) um eine „*wissenschaftliche bzw. physikalische Repräsentation*“, die idealisierte Objekte (z.B. Punktmassen) und physikalische Konzepte (z.B. Felder) betrachtet. Erst nachdem geprüft wurde, dass dies ein valider Ansatz ist, wird zu einer mathematischen Beschreibung übergegangen. Auch wenn Experten Probleme schneller lösen als Novizen, ist zu beobachten, dass sie mehr Zeit in die Erstellung einer geeigneten Repräsentation investieren als Novizen, was sich insbesondere bei schwierigeren Problemen zeigt (vgl. Larkin, 1983). Im Anschluss an die Repräsentation werden die zur Lösung benötigten Gleichungen ausgehend vom allgemeinen physikalischen Ansatz durch Anwen-

---

<sup>30</sup>Wobei Skizzen von Novizen weniger oft und weniger gut angefertigt werden als von Experten (vgl. Schultz & Lochhead, 1991).

<sup>31</sup>Dieses unterschiedliche Vorgehen von Experten und Novizen wurde auch in Kapitel 2.4.3.3 beim deskriptiven Modell von Larkin et al. (1980b) erwähnt.



## 2. Problemlösen

dung der physikalischen Hauptprinzipien generiert und anschließend kombiniert sowie gelöst. Hierbei handelt es sich um eine Vorwärtsverkettung (vgl. Kapitel 2.4.3), die sich an den qualitativen physikalischen Prinzipien orientiert. Während des gesamten Lösungsprozesses zeigen Experten auch ein verstärktes self-monitoring, um die Korrektheit ihrer Schritte ständig zu kontrollieren (vgl. Schultz & Lochhead, 1991).

Neben der Herangehensweise besitzen Experten und Novizen eine unterschiedliche qualitative Wissensorganisation und greifen auf verschiedene Problemschemata zurück. Insbesondere die vielzitierten Studien von Chi et al. (1981) bzw. Chi et al. (1982) arbeiten die wesentlichen Unterschiede zwischen den Gruppen heraus.

Chi et al. (1981) nahmen an, dass die Unterschiede zwischen Experten und Novizen durch eine andere Art der Wissensorganisation zustande kommen. Um dies untersuchen zu können, stellten sie den Versuchspersonen unterschiedliche Kategorisierungsaufgaben, in denen Probleme sortiert werden sollten – es wurde jedoch nicht vorgegeben wie. Novizen orientierten sich bei ihren Einteilungen an Oberflächenmerkmalen, das heißt daran, welche tatsächlichen Objekte (z.B. schiefe Ebene) oder Schlüsselwörter vorkommen. Experten hingegen wählen die physikalischen Prinzipien, die zur Lösung verwendet werden (z.B. Energieerhaltung) als Kriterium. Es gibt somit eine offensichtliche Korrespondenz zwischen den unterschiedlichen Wissensorganisationen (Oberflächenmerkmale vs. Tiefenstruktur) und den verschiedenen Herangehensweisen (naive Repräsentation vs. physikalische Repräsentation) von Novizen und Experten.

Darüber hinaus äußerten Chi et al. (1981) die Vermutung, dass die unterschiedliche Einteilung auch mit den vorhandenen Problemschemata zusammenhängen könnte, was sie in weiteren Untersuchungen prüften. Es zeigte sich, dass Novizen keine expliziten Lösungsmethoden nennen können und als Basisansatz („basic approach“) für gegebene Probleme nur Allgemeinheiten (z.B. „Man muss schauen, was passiert.“ oder „Man muss schauen, welche Formeln wie passen.“) formulieren. Sie orientieren sich zudem lediglich nach charakteristischen Objekten und Stichwörtern (Oberflächenmerkmalen) in der Problemstellung, um zu einem Ansatz zu gelangen.

## 2.7. Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen

Auch wenn ausreichendes deklaratives Wissen vorhanden ist, fehlt es Novizen an passenden Lösungsmethoden. Experten hingegen kennen explizite Lösungsmethoden (prozedurales Wissen), die eng mit physikalischen Prinzipien verbunden sind. Sie wählen ihren Basisansatz ausgehend davon, welche physikalische Situation vorliegt, aus und verwenden auch „*second-order features*“ (z.B. „Vorher-Nachher-Situationen“, die sich für den Energieansatz eignen), um zu entscheiden, welche Herangehensweise sinnvoll ist.

\*

Experten und Novizen unterscheiden sich nicht nur in (offensichtlichen) quantitativen Belangen wie Geschwindigkeit beim Bearbeiten und Fehlerhäufigkeit, sondern insbesondere in qualitativer Hinsicht.

So investieren Experten mehr Mühe in eine geeignete Repräsentation, die sich an den physikalischen Inhalten und Prinzipien einer Situation orientieren („wissenschaftliche“ Repräsentationen) und zu einer mathematischen Beschreibung führen. Die Lösung wird aus der Vorwärtsverkettung der aus den physikalischen Prinzipien hervorgehenden Gleichungen und Größen erarbeitet. Experten besitzen Problemschemata durch die sie Probleme anhand ihrer Tiefenstruktur (den physikalischen Inhalten) kategorisieren und explizite Lösungsmethoden für verschiedene Problemtypen nennen können.

Novizen erstellen unvollständigere „naive“ Repräsentationen der Situation, die nur die bloße Beschreibung der vorhandenen Objekte beinhaltet. Sie suchen aus ihrem deklarativen Wissen (scheinbar) passende Gleichungen heraus, aus denen sie versuchen, durch Rückwärtsverkettung zu einer Lösung zu gelangen. Die Problemschemata von Novizen sind eingeschränkter und sie können die hinter Problemstellungen liegenden physikalischen Prinzipien schwerer erfassen und orientieren sich vor allem an Oberflächenmerkmalen. Ihre Schemata beinhalten zwar, ebenso wie bei Experten, deklaratives Wissen z.B. über Formeln, jedoch keine expliziten Lösungsansätze.

In Hinblick auf die später vorgestellte Untersuchung ergänzen die Unterschiede zwischen Experten und Novizen die Betrachtung des Erfolgs beim Problemlösen um qualitative Anteile.

### 2.8. Zusammenfassung zum Problemlösen

Im Rahmen dieser Zusammenfassung werden die wesentlichen Erkenntnisse über Problemlösen aus den vorangegangenen Kapiteln dargelegt und die Bedeutung für die hier vorgestellte Arbeit aufgezeigt.

Zur Eingrenzung des Begriffs „Problem“ wird auf die Definition von Smith (1991a) (Kapitel 2.1.2) zurückgegriffen. Demnach ist jedes Item, das das Analysieren und Schlussfolgern (unter dem Vorhandensein von Verständnis der entsprechenden Domäne) beinhaltet ein Problem. Es wird nicht weiter zwischen „Problem“ und „Aufgabe“ unterschieden. Die Definition ist dadurch gekennzeichnet, dass angegeben wird, was ein Problem *nicht* ist. Es werden so Items ausgeschlossen, die das bloße Erinnern oder Reproduzieren beinhalten (z.B. Einsetzaufgaben) oder ohne Verständnis in einer Domäne gelöst werden können (z.B. Rätsel oder Logikaufgaben, bei denen alle Angaben im Begleittext stehen). Die Definition nach Smith (1991a) bildet gut die Inhalte ab, die im Rahmen der Expertiseforschung als Probleme verwendet werden – typische Schul- bzw. Lehrbuchaufgaben können, wenn sie die Kriterien von wissenszentrierten Problemen erfüllen, als Basis für Items zur Erhebung des Erfolgs beim Problemlösen herangezogen werden.

Zur Erhebung des Erfolgs beim Problemlösen wird im Rahmen dieser Arbeit auf wissenszentrierte Probleme zurückgegriffen. Die Probleme sind eine der Untergruppen, in die Aufgaben aus Schulbüchern eingeteilt werden können (s.h. Kapitel 2.2). Zu ihren Eigenschaften gehört, dass die Kenntnis über eine Vielzahl von physikalischen Wissenselementen, die miteinander in Beziehung gesetzt werden müssen, benötigt wird, um zu einer Lösung zu gelangen. Der Lösungsprozess solcher Probleme ist über das Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001) (s.h. Kapitel 2.4.5) sehr gut beschrieben.

Das Modell des wissenszentrierten Problemlösens folgt einer langen Tradition von Modellen zur Beschreibung und Untersuchung des Problemlöseprozesses (s.h. Kapitel 2.4) und vereint durch seinen Bezug zu den verschiedenen Wissensarten die Ergebnisse der Expertiseforschung und des

Problemlösens in sich. Die Auswahl dieses Modells erfolgte, wie in Kapitel 2.4.6 ausführlicher dargelegt, da es dem grundsätzlichen Ziel der vorliegenden Arbeit, der Aufstellung eines Modells zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen, am meisten entgegenkommt. Das Modell differenziert die einzelnen „Arbeitsschritte“ (Phasen; s.h. auch Kapitel 2.5) beim Problemlösen gut gegeneinander aus und hebt die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Phasen hervor. Durch die daraus folgende gute Operationalisierbarkeit ist es möglich, einen Test zu entwickeln, der den Erfolg des Problemlösens in dessen einzelnen Phasen erfasst. Eine Untersuchung der Bearbeitung „ganzer“ Probleme wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit als problematisch angesehen, da die Phasen aufeinander aufbauen und z.B. der Erfolg bei der Findung eines Lösungswegs nicht untersucht werden kann, wenn ein Student bereits am Aufstellen der Repräsentation scheitert. Darüber hinaus ist das Modell nach Friege (2001) domänenspezifisch auf die Physik zugeschnitten und in die jüngere Forschung eingebettet.

Durch die Verbindung der Erkenntnisse der Expertiseforschung (s.h. Kapitel 1) und der zum Problemlösen können verschiedene Faktoren identifiziert werden, deren Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen quantitativ untersucht werden soll. Als bedeutsam identifiziert werden in dieser Arbeit das fachbezogene Wissen, sowohl in Physik als auch in Mathematik, die Erfahrung, das (problemlösebezogene) Selbstkonzept und das Interesse an Tätigkeiten in der Physik. Es ist, wie bei den Forschungsfragen in Kapitel 3 noch weiter ausgeführt, anzunehmen, dass eine höhere Ausprägung dieser Faktoren mit einem größeren Erfolg beim Problemlösen einhergeht.

Abschließend bleibt auf die unterschiedliche Verwendung der Begriffe „Modellieren“ und „Problemlösen“ im Rahmen der Mathematik und der Physik hinzuweisen. Es wurde herausgearbeitet (s.h. Kapitel 2.6), dass, im Rahmen der Physik, Problemlösen als Modellanwendung verstanden wird, wohingegen in der Mathematik das Modellieren (außermathematisches) Problemlösen ist.

Die theoretischen Erkenntnisse aus den Kapiteln 1 und 2 wurden dazu genutzt, die für diese Arbeit relevanten Forschungsfragen und Hypothesen zu formulieren, die im nächsten Kapitel vorgestellt werden.

## 2. Problemlösen

### 3. Forschungsfragen und Hypothesen

In den vorangegangenen beiden Kapiteln wurde der Forschungsrahmen vorgestellt, in den die vorliegende Arbeit eingebettet ist. Ergebnisse der Expertiseforschung im Allgemeinen (Kapitel 1) und der Forschung zum Problemlösen im Speziellen (Kapitel 2) legen die Grundlage der im Folgenden vorgestellten Zielsetzung und der differenzierten Forschungsfragen und -hypothesen.

Das übergeordnete Ziel ist eine (quantitative) Untersuchung der Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen in der Physik. Motivation hierfür bildet die Tatsache, dass sowohl im schulischen als auch im universitären Umfeld das Bearbeiten von Problemen, beispielsweise als Übungsaufgabe oder zur Leistungskontrolle, einen wichtigen Platz einnimmt (vgl. z.B. Fischer & Draxler, 2001; Kühn, 2011). Jedoch haben, wie sich in der täglichen Praxis zeigt, Schüler und Studierende Schwierigkeiten, physikalische Probleme angemessen und erfolgreich zu bearbeiten. Mit dieser Untersuchung soll, aufbauend auf bereits vorhandene Forschungsergebnisse, dazu beigetragen werden, Faktoren zu identifizieren, zu bestätigen und zu quantifizieren, die das erfolgreiche Lösen von Problemen begünstigen. Hierzu sollen drei Forschungsfragen mit entsprechenden Hypothesen untersucht werden, die im Folgenden vorgestellt werden.

#### 3.1. Beschreibung der Fähigkeit zum Problemlösen

Wie in Kapitel 2 vorgestellt, ist das Problemlösen ein gut untersuchter Forschungsgegenstand. Verschiedene Autoren aus unterschiedlichen Fachrichtungen stimmen in der grundsätzlichen Strukturierung des Problemlöseprozesses überein (vgl. Kapitel 2.4). Als grundlegendes Modell zur Untersuchung des Problemlösens in der Physik wird das Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Frieger (2001) herangezogen (vgl. Kapitel 2.4.5; Kapitel 2.4.6). Nach diesem Modell lässt sich der Problemlöseprozess in vier Phasen untergliedern (vgl. Kapitel 2.5): (1) *Repräsentation*: Die physikalischen Inhalte eines Problems werden erkannt und mit Fachtermini ausgedrückt. Zur Repräsentation gehören eine Skizze, die Anwendung physikalischer Konzepte und Idealisierungen. (2) *Auswahl / Erarbeitung eines Lösungswegs*: Ist ein ähnliches Problem wie das zu bearbeitende bereits bekannt, kann es als Beispielproblem für den Lösungsweg herangezogen werden. Ist kein ähnliches Problem bekannt, wird durch Rückgriff auf Faktenwissen (z.B.  $F = m \cdot a$ ) und Beziehungen zwischen Wissens-elementen (Kräfte addieren sich) ein neuer Lösungsweg entwickelt. (3) *Erarbeitung einer Lösung*: Unter Verwendung des Lösungswegs wird eine Lösung ausgearbeitet. Hierbei stehen Probleme mathematischer Natur im Vordergrund. (4) *Evaluation*: Nachdem eine Lösung ermittelt wurde, wird versucht, diese auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Die erste Forschungsfrage beschäftigt sich mit der empirischen Erhebung der Fähigkeit zum Problemlösen.

Ausgehend von den verschiedenen Anforderungen, die das Problemlösen in den unterschiedlichen Phasen an den Bearbeitenden stellen, ergibt sich die erste Forschungsfrage.

**(F1)** Wie kann die Fähigkeit zum Problemlösen in der Physik differenziert beschrieben werden?

Hierbei wird die Problematik aufgegriffen, dass in vielen Untersuchungen (z.B. Frieger, 2001; PISA) „komplette Probleme“<sup>1</sup> den Ausgangspunkt zur

---

<sup>1</sup>Hiermit ist gemeint, dass den Probanden ein oder mehrere Probleme vorgegeben werden, die jeweils vollständig bis zur Lösung bzw. Evaluation zu bearbeiten sind. Die vollständige richtige Bearbeitung stellt danach ein Maß für die Problemlösefähigkeit dar.

näheren Betrachtung der Problemlösefähigkeit bilden. Dabei sind jedoch, wie in den verschiedenen Modellen zum Problemlösen (s.h. Kapitel 2.4) und zusammengefasst im Kapitel zu den grundlegenden Phasen des Problemlösens (s.h. Kapitel 2.5) herausgearbeitet wurde, vom Problemlöser bei den unterschiedlichen Schritten verschiedene Anforderungen zu erfüllen.

Es erscheint deshalb sinnvoll, ein Testformat zu entwickeln, das die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Phasen des Problemlösens unabhängig voneinander untersucht. Dadurch kann sichergestellt werden, dass von allen Probanden alle Schritte des Problemlösens beobachtet werden können – ein Nicht-Bearbeiten einer Repräsentation führt dann nicht zwangsläufig dazu, dass auch eine Lösung nicht beobachtet werden kann. Das Betrachten einzelner Phasen soll durch die Vorgabe der zum Bearbeiten relevanten Informationen (z.B. einer Repräsentation und eines Lösungsweges zur Untersuchung der Lösung) geschehen. Die Problemlösefähigkeit ergibt sich dann daraus, wie gut in der Summe die verschiedenen Phasen des Problemlösens bearbeitet werden.

Genauere Überlegungen müssen darüber angestellt werden, ob es sich bei der im Rahmen des Forschungsvorhabens erhobenen Problemlösefähigkeit um ein ein- oder mehrdimensionales Konstrukt handelt.

Ausgehend von den Anforderungen der einzelnen Phasen des Problemlösens ist anzunehmen, dass die Phasen unterschiedlich schwierig sind. Hieraus könnte abgeleitet werden, dass bei der Bearbeitung von Repräsentation, Lösungsweg, Lösung und Nachvollziehen unterschiedliche Dimensionen der Problemlösefähigkeit angesprochen werden. Andererseits ist aber auch eine Erklärung denkbar, welche die Anforderungen der vier Phasen als unterschiedliche Aspekte der Problemlösefähigkeit ansieht und nicht als selbstständigen Dimensionen. Die unterschiedlichen Schwierigkeiten resultieren dann nicht daraus, dass ein Proband eine bessere oder schlechtere „Repräsentationsfähigkeit“ besitzt, sondern dass seine Problemlösefähigkeit noch nicht so weit ausgeprägt ist, dass adäquate Repräsentationen gebildet werden können. Unterstützt wird diese Annahme der Eindimensionalität durch Ergebnisse zum Vergleich von Novizen und Experten, die



### 3. Forschungsfragen und Hypothesen

unterschiedliche Entwicklungsstadien auf dem Weg zu Expertise markieren (vgl. Kapitel 1.3).

Blickt man des Weiteren in die empirische Forschung zum Problemlösen, so liefern vor allem die PISA-Studien (s.h. Kapitel 2.4.4) Hinweise zur Dimensionalität der Problemlösefähigkeit<sup>2</sup>. In den Auswertungen von PISA 2003 wird die dort erhobene „analytischen Problemlösekompetenz“ basierend auf einer Rasch-Modellierung als eindimensional beschrieben (vgl. Leutner et al., 2004). Neuere Untersuchungen zur Dimensionalität der Daten aus PISA 2003 (z.B. Leutner et al., 2012) stellten zwar eine Dreidimensionalität der analytischen Problemlösekompetenz fest, jedoch beziehen sich die Dimensionen auf die Arten der in PISA verwendeten Problemstellungen (Entscheidungen treffen, Systeme analysieren und entwerfen und Fehlersuche). Wie in Kapitel 2.4.4 angerissen, sind die in der Arbeit verwendeten Probleme am ehesten dem Typ „Entscheidungen treffen“ zuzuordnen, was einer der gefundenen Dimensionen entspricht. Entsprechend ist nicht anzunehmen, dass in der vorliegenden Arbeit eine Beschreibung der Problemlösefähigkeit mit drei Dimensionen angemessen ist.

Wägt man die Argumente für und gegen Mehrdimensionalität der Problemlösefähigkeit ab, so wird zu dem Schluss gekommen, dass vor dem Hintergrund der durchgeführten Untersuchung begründet eine Eindimensionalität der Problemlösefähigkeit angenommen werden kann. Nichtsdestotrotz wird bei den später folgenden Auswertungen durch Modellvergleiche geprüft werden, inwieweit die diese Annahme berechtigt ist.

Zusammengefasst sollen zur Forschungsfrage F1 die folgenden Hypothesen untersucht werden:

**(H1a)** Es wird erwartet, dass die verschiedenen Phasen des Problemlösens (aufgrund ihrer verschiedenen Anforderungen) unterschiedlich schwierig sind (Kapitel 2.5).

**(H1b)** Es wird erwartet, dass die Problemlösefähigkeit ein eindimensionales Konstrukt ist.

---

<sup>2</sup>Zwar wird die Auffassung von der Fähigkeit zum Problemlösen als „Problemlösekompetenz“ im Rahmen der vorgestellten Arbeit nicht in allen Details geteilt, jedoch sprechen die durchaus vorhandenen Gemeinsamkeiten dafür, dass eine analoge empirische Modellierung der gemessenen Fähigkeit durchgeführt werden kann.

## 3.2. Einflussfaktoren auf das Problemlösen

Die zweite Forschungsfrage beschäftigt sich mit den verschiedenen Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen in der Physik.

**(F2)** Mit welchen (personenbezogenen) Faktoren hängt der Erfolg beim Problemlösen zusammen und wie groß ist jeweils dieser Einfluss?

Wie in den Kapiteln zur Entwicklung von Expertise (Kapitel 1.3) und den verschiedenen Einflussfaktoren zum Erfolg beim Problemlösen (Kapitel 2.7) dargelegt, gibt es eine Reihe von Faktoren, von denen anzunehmen ist, dass sie das erfolgreiche Lösen von Problem begünstigen (s.h. auch Tabelle 2.11). Für die Untersuchung ausgewählt wurden diejenigen Faktoren, von denen nach übereinstimmender Nennung vieler Autoren ein großer bis mittlerer Einfluss zu erwarten ist und die sich gut mit einem Papier-und-Bleistift-Test erfassen lassen. Diese Faktoren sind (1) das Vorwissen in Physik (speziell Mechanik) und (2) Mathematik, (3) die Erfahrung beim Problemlösen, (4) das domänenspezifische und situationsgebundene Selbstkonzept in Physik, Mathematik und in den einzelnen Phasen des Problemlösens und (5) die Beliebtheit von „physikalischen“ Tätigkeiten als eine Form des Interesses. Der Einfluss des domänenspezifischen Vorwissens (hier: Mechanik) und der Erfahrung ist im Rahmen der Expertiseforschung gut untersucht, wobei auch auf den (möglichen) Einfluss kognitiv-emotionaler Komponenten, wie Selbstkonzept oder Interesse hingewiesen wird (vgl. z.B. Gruber & Mandl, 1996; Friege, 2001). Weniger tragfähige Ergebnisse (vgl. Kapitel 2.7.1.2) gibt es zum Einfluss der Mathematik auf das Problemlösen in Physik, weshalb dieser im Kontext der Studie näher untersucht werden soll.

Im Rahmen der zweiten Forschungsfrage soll nicht nur untersucht werden, *ob* ein Faktor einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat, sondern auch *wie groß* der jeweilige Einfluss ist.

Auf eine Untersuchung und (systematische) Variation nicht-personenbezogener Faktoren, wie zum Beispiel Themengebiete in der Physik oder

### 3. Forschungsfragen und Hypothesen

Aufgabenformat wird weitestgehend verzichtet. Es sind ausschließlich Aufgaben aus der Mechanik geplant, die in einem überwiegend geschlossenen Aufgabenformat präsentiert werden, das sich an typischen Aufgaben aus der Schule/dem Studium orientiert (s.h. Kapitel 2.2). Diese Einschränkung wird aus Gründen der Komplexität und des Umfangs des Dissertationsvorhabens vorgenommen, nichtsdestotrotz sind nicht-personenbezogenen Faktoren als relevant für den Erfolg beim Problemlösen einzuschätzen.

Zusammengefasst werden zu Forschungsfrage F2 die folgenden Hypothesen untersucht:

**(H2a)** Es wird erwartet, dass die in die Untersuchung *einbezogenen Einflussfaktoren* (Kapitel 2.7) einen *Einfluss* auf den Erfolg beim Problemlösen haben.

**(H2b)** Es wird erwartet, dass das *Fachwissen in Physik* und die *Erfahrung* mit dem Problemlösen einen großen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben (Kapitel 2.7.1.1; Kapitel 2.7.2).

**(H2c)** Es wird erwartet, dass auch das *Fachwissen in Mathematik* einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat (Kapitel 2.7.1.2).

**(H2d)** Es wird erwartet, dass weitere personenbezogene Faktoren, wie das *Selbstkonzept* und die *Beliebtheit* verschiedener physikalischer Tätigkeiten einen (geringeren) Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben (Kapitel 2.7.3; Kapitel 2.7.4).

**(H2e)** Es wird erwartet, dass ein Modell gefunden werden kann, das den Zusammenhang zwischen den aufgeführten Einflussfaktoren und dem Erfolg beim Problemlösen darstellt.

### 3.3. Typische Fehler

Die dritte Forschungsfrage beschäftigt sich mit qualitativen Aspekten, die im Rahmen der später vorgestellten Studie erfasst werden. Es soll explorativ erhoben werden, welche Fehler typischerweise beim Problemlösen auftreten.

**(F3)** Welche typischen Fehler können beim Problemlösen beobachtet werden?

Die vorkommenden Typen von Fehlern sind im Rahmen der Physikdidaktik wenig erforscht. Müller (2003) erstellte hierzu einen Übersichtsartikel, der die Erkenntnisse aus der ingenieurspsychologischen Forschung zusammenfasst. Auftretende Fehler können demnach einerseits über den Zeitpunkt des Auftretens (in der Planung oder beim Lösungsvorgang eines Problems) oder über die geistigen Prozesse, während denen ein Fehler auftritt, klassifiziert werden.

*Planungsfehler* beinhalten die „Anwendung ungeeigneter oder unvollständiger Konzepte“ zur Lösung eines Problems (Müller, 2003, S. 11). Ein Beispiel aus der Kinematik für einen solchen Fehler ist das Verwenden von Gleichungen für unbeschleunigte Bewegung bei Vorgängen zum Abbremsen. Ebenfalls beinhaltet dieser Fehlertyp das willkürliche Verknüpfen von vorahnenden Zahlen durch scheinbar passende Gleichungen, auch wenn dies aus (physikalischer) Sicht keinen Sinn ergibt. Ein Beispiel aus der Mathematikdidaktik ist hierfür die „Kapitänsaufgabe“.

*Ausführungsfehler* geschehen unter einem richtigen Lösungsansatz, der in der Durchführung scheitert, beispielsweise aus Zeitmangel oder aufgrund mangelnder Aufmerksamkeit beim Ausrechnen („Flüchtigkeitsfehler“).

Die oben aufgeführten Fehler lassen sich nach Müller (2003) drei Ebenen der geistigen Prozesse zuordnen. Die *Ebene der Routinefähigkeiten* umfasst die Schnelligkeit, die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit, mit der die Probleme gelöst werden. Ihr zuzuordnen wären beispielsweise die Flüchtigkeitsfehler. Die *Ebene der Regeln* beinhaltet Fehler, die auf der Auswahl von für diese Situation ungeeigneten Regeln beruhen (Planungsfehler). Fehler auf

### 3. Forschungsfragen und Hypothesen

der *Ebene des Wissens* beziehen sich ebenfalls auf Planungsfehler, jedoch nicht beim Rückgriff auf (unangemessene) Regeln, sondern beim Erstellen eines neuen Lösungswegs durch den Rückgriff auf (fehlerhaftes oder unvollständiges) Wissen<sup>3</sup>. Müller (2003) merkt bei den Ebenen der Fehler an, dass das Auftreten von Fehlern aus einer der Ebenen bei einer Person in Zusammenhang mit ihrem Expertisegrad steht – Experten neigen eher zu Fehlern bei Routinefähigkeiten (Ausführungsfehler), wohingegen Novizen vor allem Fehler bei der Planung der Lösungsschritte (Ebene der Regeln und des Wissens) machen. Er postuliert, dass die *„Verschiebung von Fehlertypen von der Wissens- bis zur Fähigkeitsebene [...] geradezu als Indikator für den Leistungsstand in einem gegebenen Stoffgebiet gesehen werden [kann]“* (Müller, 2003, S. 12). Darüber hinaus gibt Müller an, dass ein enger Zusammenhang zwischen den Typen von Fehlern und den (Fehl-)Vorstellungen im jeweiligen Bereich bestehen.

Die dritte Forschungsfrage knüpft an die Ergebnisse von Müller (2003) an. Es soll untersucht werden, welche typischen Fehler sich beim Problemlösen finden lassen und inwieweit sich diese mit der Einteilung von Müller decken. Darüber hinaus sollen die Muster der Fehler hypothesengenerierend daraufhin analysiert werden, ob (und welche) Unterschiede es beim Problemlösen zwischen Gruppen mit verschiedenem Expertisegrad gibt.

---

<sup>3</sup>Die Einteilung nach „Ebene der Regeln“ und „Ebene des Wissens“ deckt sich mit der Unterscheidung darüber, ob eine Lösungsweg durch ein bereits bekanntes Problemschema gefunden wird oder neu konstruiert werden muss (vgl. Kapitel 2.4.5; Kapitel 2.5).

# **Teil III.**

## **Empirischer Teil**



## 4. Anlage der Untersuchung

Um die in Kapitel 3 abgeleiteten Forschungsfragen zum Problemlösen beantworten zu können, wurde eine Untersuchung mit Studierenden durchgeführt. Hierbei wurden, neben dem Erfolg beim Problemlösen an sich, die in Kapitel 2.7 vorgestellten Einflussfaktoren mit zum größten Teil neu entwickelten Instrumenten erhoben. In diesem Kapitel werden die Rahmenbedingungen der gesamten Erhebung und die Inhalte der einzelnen Instrumente vorgestellt.

Zunächst wird ein Überblick über die Untersuchung gegeben (Kapitel 4.1). Hierbei wird auf den Ablauf der Entwicklung des finalen Testinstruments eingegangen und sein Aufbau geklärt. Daraufhin werden die Stichproben beschrieben (Kapitel 4.2), auf deren Grundlage die Daten der Untersuchungen erhoben wurden. Kapitel 4.3 gibt einen Überblick über die einzelnen verwendeten Untersuchungsinstrumente, die aus den Anforderungen der Forschungsfragen und Hypothesen (Kapitel 3) hervorgehen: den Problemlösetest (Kapitel 4.3.1), die Skalen zum Selbstkonzept (Kapitel 4.3.2), die Skalen zur Beliebtheit von Tätigkeiten (Kapitel 4.3.3), den Fachwissenstest Mathematik (Kapitel 4.3.4) und den Fachwissenstest Mechanik (Kapitel 4.3.5). Es werden sowohl die Entwicklung und der Inhalt als auch die statistische Gültigkeit der Instrumente beleuchtet. Eine Darstellung der Untersuchungsinstrumente befindet sich im Anhang B.

Ausgehend vom entwickelten Problemlösetest werden die Hypothesen zu Forschungsfrage 1 (s.h. Kapitel 3.1) überprüft. Das abschließende Ziel der Untersuchung, ein Modell aufzustellen, das den Erfolg beim Problemlösen über die verschiedenen Einflussfaktoren erklärt (Forschungsfrage 2; Kapitel 3.2), wird in Kapitel 5 behandelt. Hier wird ebenfalls auf die qualitative Forschungsfrage 3 (Kapitel 3.3) zur Identifizierung typischer Fehler beim Problemlösen eingegangen.



### 4.1. Überblick über die Untersuchung

Um den Erfolg beim Problemlösen zu messen und den Einfluss verschiedener Faktoren zu überprüfen, wurden verschiedene Testinstrumente zu großen Teilen neu konzipiert (Beschreibung s.h. Kapitel 4.3). Diese wurden, wie in Abbildung 4.1 dargestellt, im Rahmen von Pilotierungen auf ihre Praktikabilität und Güte hin untersucht.

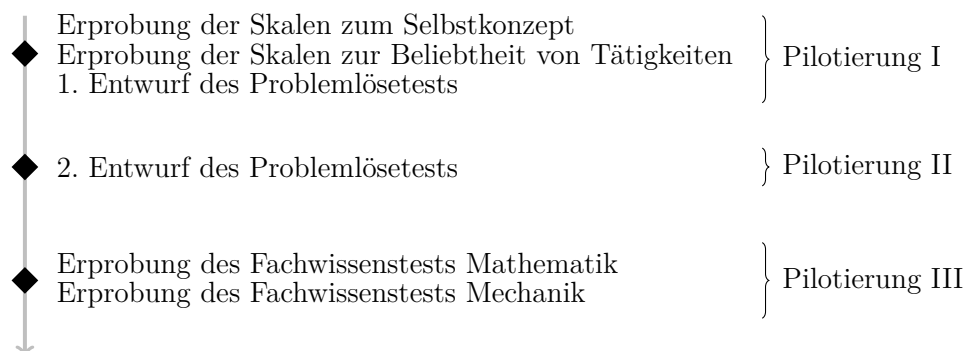


Abbildung 4.1.: Entwicklung und Überprüfung der Untersuchungsinstrumente

Mit der Pilotierung I wurden die erste Fassung des Problemlösetests und die Skalen zum Selbstkonzept und Interesse eingesetzt und überprüft. Da sich der Problemlösetest aus Pilotierung I als zu offen herausstellte (s.h. Kapitel 4.3.1.2), wurde er für die Pilotierung II in ein geschlosseneres Format umgeformt (s.h. Kapitel 4.3.1.3). Im Rahmen der Pilotierung III wurden die entwickelten Instrumente zur Erhebung des Fachwissens in Physik und Mathematik auf ihre Eignung für den Einsatz in der Hauptstudie überprüft.

Das endgültige Instrument für die Hauptuntersuchung besteht aus sechs Teilen: (1) Angaben zur Person, (2) Problemlösetest (Kapitel 4.3.1), (3 + 4) Skalen zum Selbstkonzept und zum Interesse (Kapitel 4.3.2 und 4.3.3), (5) Fachwissenstest Mathematik (Kapitel 4.3.4) und (6) Fachwissenstest Mechanik (Kapitel 4.3.5). Die Testzeit beträgt insgesamt 90 Minuten.

Um einen Einsatz des Tests auch an Standorten zu ermöglichen, die keine 90 Minuten Testzeit zur Verfügung stellen konnten, wurde der Test in zwei Teile gegliedert. Der Problemlösetest kann so innerhalb von 45 Minuten z.B. im Rahmen eines Seminars bearbeitet werden und wird durch einen

Onlinefragebogen ergänzt, der die Skalen zum Selbstkonzept und Interesse und die Fachwissenstests enthält. Dieser zweite Teil wird von den Probanden zeitnah z.B. daheim ausgefüllt. Da kein hundertprozentiger Rücklauf gewährleistet werden konnte, ergeben sich unterschiedliche Fallzahlen für den Problemlösetest und die restlichen Instrumente (s.h. auch Kapitel 4.2.3).

Um der Komplexität des Problemlösens mit einer größeren Variation von Aufgaben, bei gleichzeitiger angemessener Anzahl von Aufgaben pro Test, gerecht werden zu können, wurde ein spezielles Design verwendet, das die Probleme (mit Überlappungen) durchrotiert. Insgesamt besteht ein Testheft, neben den gemeinsamen Instrumenten (s.h. Abbildung 4.2), aus jeweils vier Items, die die vier Phasen des Problemlösens abdecken – jedoch von vier verschiedenen Problemen (P1 bis P4) (s.h. auch Kapitel 4.3.1).

|            | Angaben zur<br>Person | PLT Repräsen-<br>tation | PLT Lösungsweg | PLT Lösung | PLT Nachvoll-<br>ziehen | Likert-Skalen | Fachwissen<br>Mathematik | Fachwissen<br>Mechanik |
|------------|-----------------------|-------------------------|----------------|------------|-------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|
| Testheft A |                       | P1                      | P2             | P3         | P4                      |               |                          |                        |
| Testheft B |                       | P1                      | P3             | P4         | P2                      |               |                          |                        |
| Testheft C |                       | P4                      | P3             | P2         | P1                      |               |                          |                        |
| Testheft D |                       | P2                      | P1             | P2         | P4                      |               |                          |                        |

Abbildung 4.2.: Design der Hauptstudie

### 4.2. Beschreibung der Stichproben

#### 4.2.1. Pilotierung I

An der ersten Pilotierung zur Überprüfung der Skalen und der ersten Fassung des Problemlösetests nahmen 55 Studierende aus Pädagogischen Hochschulen in Baden-Württemberg teil (s.h. Tabelle 4.1), die Veranstaltungen aus dem Fachbereich Physik besuchten.

| <b>Geschlecht</b>                | <b>weiblich</b>       | <b>männlich</b>        |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------|
|                                  | 26                    | 29                     |
| <b>Fachsemester</b>              | <b>≤ 4 Semester</b>   | <b>&gt; 4 Semester</b> |
|                                  | 31                    | 24                     |
| <b>Studienschwerpunkt Physik</b> | <b>Nebenfach</b>      | <b>Hauptfach</b>       |
|                                  | 46                    | 9                      |
| <b>Studienfortschritt Physik</b> | <b>nur Grundlagen</b> | <b>Vertiefung</b>      |
|                                  | 33                    | 20                     |

Tabelle 4.1.: Beschreibung der Stichprobe in der Pilotierung I ( $N = 55$ )

Bei den Geschlechterverhältnissen ergab sich ein ausgeglichenes Bild: 53% der Teilnehmer waren männlich, entsprechend 47% weiblich. Dies ist für Pädagogische Hochschulen eher ungewöhnlich, da die Verhältnisse normalerweise deutlich in Richtung der Studentinnen verschoben sind<sup>1</sup>.

Etwa die Hälfte der Studierenden befand sich in den ersten vier Semestern des Studiums. Physik war bei 16% der Studierenden Hauptfach, bei 76% Nebenfach. Die fehlenden Prozente stammen von Studierenden, die Physik nicht als Fach studieren, jedoch trotzdem Veranstaltungen der Physik, z.B. im Rahmen eines Gegenmoduls, belegten.

Um die Voraussetzungen der Studierenden für den Problemlösetest zu klären, wurde erhoben, ob bereits Veranstaltungen zu den Grundlagen und Vertiefungen in der Mechanik besucht wurden. 15% der Studierenden gaben an, noch keine Grundlagenveranstaltung in Mechanik vollständig besucht zu haben. Von den 85%, die die Grundlagen in Mechanik besucht hatten, gab etwa die Hälfte an, auch vertiefende Veranstaltungen belegt zu haben.

<sup>1</sup>Im Wintersemester 2010/2011 waren im Schnitt 78% der Studierenden an Pädagogischen Hochschulen in Baden-Württemberg weiblich (s.h. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2011).

### 4.2.2. Pilotierung II und III

Der weiterentwickelte Problemlösetest wurde mit einer kleinen Stichprobe von 38 Studierenden der PH Freiburg im Rahmen einer Eingangsdiagnose auf seine Praktikabilität hin überprüft. Hierbei wurde lediglich auf qualitative Aspekte Wert gelegt (z.B. Verstehen die Studierenden die Aufgabenstellung? Ist es noch zu offen? etc.) und keine quantitative Auswertung angestrebt, weshalb die kleine Stichprobengröße angemessen war.

Pilotierung III zielte auf die Untersuchung der Fachwissenstests für Mathematik und Physik. Für den Fachwissenstest Mathematik wurde als Basis ein Eingangstest verwendet, der zwischen 2011 und 2013 an der Pädagogischen Hochschule Freiburg eingesetzt wurde. Insgesamt ergab sich so für die Validierung des Test ein Datensatz mit 165 Studierenden, (s.h. Kapitel 4.3.4). Der Fachwissenstest Mechanik setzt sich zum Teil aus bereits erprobten Items zusammen und wurde mit 35 Studierenden der Pädagogischen Hochschule Freiburg auf seine Praktikabilität überprüft (s.h. Kapitel 4.3.5).

### 4.2.3. Hauptstudie

Die Hauptstudie wurde insgesamt mit 279 Studierenden durchgeführt (s.h. Tabelle 4.2). 187 (67%) Studierenden wurde hierbei der Onlinefragebogen (s.h. Kapitel 4.1) angeboten 39 (21%) füllten diesen auch aus. Insgesamt haben 131 (47%) beide Fragebogenteile ausgefüllt.

Mögliche Befürchtungen, dass ein Ausfüllen außerhalb von Seminaren die Ergebnisse verfälschen könnte, haben sich nicht erfüllt. Zum einen stellen die Probanden, die den Onlinefragebogen ausgefüllt haben, nur einen kleineren Teil der Stichprobe (31%), zudem zeigen  $t$ -Tests keine signifikanten Unterschiede oder Effekte in den Ergebnissen der einzelnen Testinstrumente zwischen den Teilstichproben (s.h. Anhang Tabelle A.1).

Aufgeteilt nach Studienschwerpunkt stellen Studierende des Lehramts mit 47% die größte Teilstichprobe. 41% der Teilnehmenden sind Studienanfänger der Biologie, Biotechnologie und Chemie, die Physik als Neben-

#### 4. Anlage der Untersuchung

fach belegen. 9% der Stichprobe studiert Physik als Fach. Die Verteilung zwischen Männern und Frauen ist in etwa ausgeglichen.

Weitere Angaben zur Verteilung auf die verschiedenen Fragebogenteile und Mittelwerte zu den Angaben über die Person finden sich in Tabelle 4.2.

|                                            |                                                    |                                                    |                                     |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Studienschwerpunkt Physik</b>           | <b>Nebenfach</b><br>113                            | <b>Lehramt</b><br>132                              | <b>Hauptfach</b><br>26              |
| <b>Fachsemester</b><br>$M = 3.0; SD = 2.6$ | $\leq 4$ Semester<br>213                           | $> 4$ Semester<br>66                               |                                     |
| <b>Geschlecht</b>                          | <b>weiblich</b><br>125                             | <b>männlich</b><br>145                             |                                     |
| <b>beide Fragebogenteile</b>               | <b>nein</b><br>148                                 | <b>ja</b><br>131                                   | <b>davon online</b><br>39           |
| <b>Problemlösetest</b>                     | <b>Testheft A</b><br>72<br><b>Testheft C</b><br>69 | <b>Testheft B</b><br>69<br><b>Testheft D</b><br>69 |                                     |
| <b>Physik in der Oberstufe</b>             | <b>Leistungskurs</b><br>90                         | <b>Grundkurs</b><br>67                             | <b>nicht belegt</b><br>117          |
| <b>Mathe in der Oberstufe</b>              | <b>Leistungskurs</b><br>180                        | <b>Grundkurs</b><br>90                             | <b>nicht belegt</b><br>3            |
| <b>(letzte) Schulnoten</b>                 | <b>Abitur</b><br>$M = 2.3; SD = 0.6$               | <b>Physik</b><br>$M = 2.1; SD = 0.9$               | <b>Mathe</b><br>$M = 2.0; SD = 0.9$ |

Tabelle 4.2.: Beschreibung der Stichprobe in der Hauptstudie ( $N = 279$ )

Für die Auswertung des Problemlösetests mit Hilfe eines Rasch-Modells ist die Stichprobengröße angemessen. Rost (2004) gibt an, dass 50 vollständige Datensätze für die Schätzung der Modellparameter vieler Modelle, insbesondere derer mit quantitativen Personeneigenschaften, wie z.B. dem Partial-Credit Modell, ausreichen. Die Rotation der Items über die Testhefte ergibt durch die Überlappungen auch größere Stichprobengrößen für einzelne Items. Da die Stichprobengröße pro Testheft jedoch kleiner als 100 ist, bleibt anzumerken, dass die Splithalf-Methode (Halbtest-Methode) zur Bestimmung der Reliabilität nur eingeschränkt verwendet werden kann. Deshalb wird in Kapitel 4.3.1 auf andere Methoden, z.B. die Bestimmung der internen Konsistenz durch Andrichs Reliabilitätskoeffizienten zurückgegriffen. Für die Auswertung der Fachwissenstests liegen die Stichprobengrößen jeweils deutlich über dem kritischen Wert von 100.

Die Stichprobengrößen für die restlichen Auswertungen mit klassischen

Verfahren sind unproblematisch, da diese ausreichend groß sind. Bei statistischen Verfahren, die empfindlicher auf die Stichprobengröße reagieren (insbesondere die Faktorenanalyse) wird auf entsprechende Kennwerte zur Bestimmung der Angemessenheit der Personenanzahl zurückgegriffen. Darüber hinaus werden, auf Anraten von Field (2013), bei allen klassischen Verfahren Bootstrap Konfidenzintervalle verwendet, die auch bei kleinen und/oder nicht normalverteilten Größen robuste Ergebnisse liefern.

### 4.3. Beschreibung der Untersuchungsinstrumente

#### 4.3.1. Problemlösetest

Um den Erfolg von Studierenden beim Problemlösen zu erheben, wurde, auch in Hinblick auf die Forschungsfrage 1 (s.h. Kapitel 3.1), ein Test entwickelt, der auf dem Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001) basiert. Geht man von den Phasen des Problemlösens aus, stellt man fest, dass die einzelnen Phasen verschiedene Anforderungen an die Bearbeiter eines Problems stellen (vgl. Kapitel 2.5). Deshalb wurden Items entwickelt, die es ermöglichen sollen, die einzelnen Phasen des Problemlösens getrennt voneinander zu untersuchen. Dies wird durch die Angabe der vorausgehenden Phasen erreicht. Soll zum Beispiel die Lösung bearbeitet werden, so sind Repräsentation und Lösungsweg vorgegeben. Durch diese Trennung nach den Phasen können Leistungen in allen Phasen beobachtet werden, was beim Einsatz ganzer Probleme durch einen möglichen Abbruch während des Lösungsprozesses nicht gewährleistet werden kann.

Die Auswahl der Probleme orientiert sich am typischen Vorgehen aus der Expertiseforschung, die zur Bestimmung des Expertisegrades Probleme aus Lehrbüchern der entsprechenden Domäne einsetzt (vgl. z.B. Kapitel 1.2). Da das Modell nach Friege (2001) den theoretischen Hintergrund für diese Arbeit stellt, wurden Probleme aus Lehrbüchern kleinschrittig aufgearbeitet, um sicherzustellen, dass sie den Kriterien wissenszentrierter Probleme (s.h. Kapitel 2.2) genügen.

Im Folgenden werden die in den Pilotierungen bzw. der Hauptstudie verwendeten Probleme, die Entwicklung des Aufbaus des Problemlösetests und das finale Rasch-Modell vorgestellt. Abschließend wird die Prüfung der Hypothesen zur Forschungsfrage 1 (Kapitel 3.1) diskutiert.

##### 4.3.1.1. Aufbau des Problemlösetest (Pilotierung I)

Bei der Pilotierung des Problemlösetest wurden vier Probleme ausgewählt, sodass verschiedene Lösungsansätze (vgl. auch Kapitel 2.5.2) benötigt werden (Energieerhaltung, Kräftegleichgewicht, Überlagerung von Bewegun-

### 4.3. Beschreibung der Untersuchungsinstrumente

gen). Mit Hilfe vorgegebener Textteile und Instruktionen sollen die Studierenden bei den einzelnen Items zur Bearbeitung der zu untersuchenden Phasen angeleitet werden. Der komplette Test befindet sich im Anhang B.

Zur Betrachtung der Problemrepräsentation wurde ein Problem zur Energieerhaltung gewählt.

**Problem 1)** Ein Student der Masse 75 kg läuft mit einer Geschwindigkeit von  $5 \frac{m}{s}$ , greift ein an einem Baum herunterhängendes 2,5 m langes Seil und schwingt sich hinaus über einen See. Er lässt das Seil los, wenn seine Geschwindigkeit  $0 \frac{m}{s}$  beträgt. Wie groß ist der Winkel zur senkrechten Ausgangsposition des Seils, wenn er das Seil loslässt?

Problem aus Giancoli (2006)

Die Studierenden sollten hier das Verhalten des Studenten aus physikalischer Sicht beschreiben und begründen, eine Skizze anfertigen, die bei der Lösung des Problems helfen würde und Idealisierungen nennen, die sie annehmen.

Ein Problem zum Kräftegleichgewicht beim Auftrieb diene zur Betrachtung der Entwicklung eines Lösungsansatzes. Eine Problemrepräsentation und eine Skizze sind vorgegeben.

**Problem 2)** Ein Eiswürfel mit einem Volumen von  $1cm^3$  schwimmt in einem Behälter mit Wasser. Wie tief sinkt der Würfel in das Wasser ein?  $\rho_{Wasser} = 1 \frac{g}{cm^3}$ ;  $\rho_{Eis} = 0,92 \frac{g}{cm^3}$

Problem aus Sherin (2001)

Zur Erarbeitung eines Lösungsansatzes sollen die Studierenden zunächst die benötigten Wissens Elemente in Form von Konzepten der gegebenen Größen und Formeln reaktivieren. Danach sollen sie die Zwischenschritte auf dem Weg zu einer Lösung beschreiben. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass keine Rechnung verlangt ist.

Im Nachhinein hat sich dieses Problem als eher ungeeignet herausgestellt, da es sich bei Kenntnis über die richtige Formel (Verhältnis der Dichten) nicht mehr um ein wissenszentriertes Problem im eigentlichen



#### 4. Anlage der Untersuchung

Sinne handelt. Deshalb wurde dieses Problem in der Pilotierung II und in der Hauptstudie durch ein anderes ersetzt.

Für die dritte Phase des Problemlösens wurden Repräsentation und Lösungsansatz für ein Problem zur Überlagerung von Bewegungen vorgegeben.

**Problem 3)** Bei der Planung von Ampeln muss das gelbe Licht lange genug leuchten, damit ein Fahrer anhalten oder weiter und dabei über die ganze Kreuzung fahren kann. Wie lang sollte ein gelbes Licht leuchten? Breite der Straße: 14,4 m; Geschwindigkeit des Autos:  $50 \frac{km}{h}$ ; Verzögerung des Autos:  $4 \frac{m}{s^2}$ ; Reaktionszeit: 1 s

Problem aus Giancoli (2006)

Die Studierenden sollten nun anhand der vorgegebenen Lösungsschritte die Lösung bearbeiten. Hierbei standen mathematische Probleme, wie die korrekte mathematische Modellierung von physikalischen Konzepten (z. B. des Abbremsvorgangs) und Rechnungen im Vordergrund.

Den Abschluss bildet eine Aufgabe zum Nachvollziehen einer ausgearbeiteten Lösung bezüglich eines Problems im Kontext mechanischer Reibung:

**Problem 4)** Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.

Problem aus Sherin (2001)

Den Studierenden werden eine Skizze und die Lösungsschritte vorgelegt. Sie sollen sich vorstellen, sie wollten diese Lösung einem Kommilitonen aus einem niedrigeren Semester erklären. Daher sollen sie stichwortartig notieren, was sie ihm/ihr zu den einzelnen Lösungsschritten sagen würden.

Zur Bewertung der Probleme wurde ein Bewertungsschema entworfen, das vorgibt, was erfüllt sein muss, damit ein Punkt gegeben werden kann. Die Kriterien orientieren sich an den Anforderungen der in Kapitel 2.5 beschriebenen Phasen des Problemlösens. Daneben wurde noch ein qualitatives Codierungsschema angelegt, das Fehlergründe bei den einzelnen

Phasen erfassen und kategorisieren soll. Es können maximal 25 Punkte für das Problemlösen vergeben werden.

#### 4.3.1.2. Ausgewählte Ergebnisse der Pilotierungen des Problemlösetests

Insgesamt ist der Problemlösetest eher schlecht ausgefallen. Im Schnitt erreichten die Teilnehmer eine Gesamtpunktzahl von 34.3% (8.58 von 25 Punkten). Neben diesen Ergebnissen erschweren Bodeneffekte die weiteren Auswertungen – die erreichten Punkte beschränken sich auf den unteren Bereich (oft 0 bis 1 Punkt), was zu einer niedrigen Streuung und geringen Aussagekraft führt.

Mit 26.4% (1.05 von 5 Punkten) der möglichen Punkte ist die Entwicklung eines Lösungswegs am schlechtesten ausgefallen. Wenig besser stellte sich die Ausarbeitung einer Lösung mit 27.6% (1.38 von 5 Punkten) dar. Bei der Repräsentation wurden im Schnitt etwas mehr als ein Drittel der Punkte (34.9%; 1.75 von 5 Punkten) erreicht. Am besten wurde das Nachvollziehen einer Lösung mit 40.0% (4.4 von 11 Punkten) bearbeitet.

Das schlechte Abschneiden der Probanden lässt sich unter anderem durch das zum Zeitpunkt der Pilotierung I zu offene Format und die für die Studierenden uneindeutigen Aufgabenstellungen erklären. Als ein großes Problem stellte sich heraus, dass die Studierenden bei den Items zur Repräsentation und zum Lösungsweg nicht wussten, was von ihnen erwartet wird. Obwohl „Arbeitsanweisungen“, die die grundsätzlichen Inhalte einer Phase abdecken, vorgegeben waren, wurden diese von vielen Studierende ignoriert. Es wurde sofort mit einer Lösung des Problems begonnen, auch wenn beispielsweise nur eine Repräsentation verlangt war. Das beobachtete Verhalten ist jedoch, im Nachhinein, nicht überraschend, sondern deckt sich mit den Ergebnissen der Forschung (vgl. z.B. Kapitel 2). Auch zeigte sich, dass manche Aufgabenstellungen zu offen waren und von den Studierenden deswegen nicht „richtig“ bearbeitet werden konnten.

Aufgrund der Erfahrungen mit dem Ausgangstest wurden die Arbeitsanweisungen zu den einzelnen Items grundlegend überarbeitet, wesentlich enger gefasst und strukturierter dargelegt. Die „geschlosseneren“ Items wur-

#### 4. Anlage der Untersuchung

den in einer kleineren Pilotierung mit 38 Studierenden qualitativ überprüft. Es zeigte sich ein besseres Bearbeiten des Tests. Die Items wurden von den Studierenden durch die engeren Arbeitsanweisungen so bearbeitet, wie geplant (z.B. wurde nur dann mit der Lösung begonnen, wenn es verlangt war), was die Schwierigkeit mit den Bodeneffekten behob. Das geschlossener Format hat sich in der Pilotierung II bewährt, weshalb es für die Hauptstudie übernommen wurde (s.h. Kapitel 4.3.1.3 für die Vorstellung des Tests).

Neben der allgemeinen Praktikabilität des Problemlösetests wurde im Rahmen der Pilotierung I überprüft, ob der Test die Phasen des Problemlösens unabhängig voneinander erheben kann. Hierfür wurden zunächst die Korrelationen zwischen den einzelnen Phasen berechnet (s.h. Tabelle 4.3). Die zunächst  $z$ -transformierten Werte der erreichten Punktzahlen korrelieren, wenn überhaupt, eher im mittleren Bereich. Dies spricht in Kombination mit den unterschiedlichen Ergebnissen dafür, dass die Phasen des Problemlösens tatsächlich unabhängig voneinander erhoben werden konnten.

|                       |                | <b>Lösungsweg</b> | <b>Lösung</b> | <b>Nachvollziehen</b> |
|-----------------------|----------------|-------------------|---------------|-----------------------|
| <b>Repräsentation</b> | $r$            | 0.08              | 0.47***       | 0.21                  |
|                       | $p$ (2-seitig) | .577              | .000          | .125                  |
|                       | 95% KI         | [-0.19;0.36]      | [0.24;0.66]   | [-0.08;0.45]          |
| <b>Lösungsweg</b>     | $r$            | 1                 | 0.15          | 0.24                  |
|                       | $p$ (2-seitig) |                   | .275          | .075                  |
|                       | 95% KI         |                   | [-0.12;0.41]  | [-0.03;0.49]          |
| <b>Lösung</b>         | $r$            |                   | 1             | 0.33*                 |
|                       | $p$ (2-seitig) |                   |               | .015                  |
|                       | 95% KI         |                   |               | [0.07;0.57]           |

Korrelationen nach Pearson;  $N = 55$ ; \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

Tabelle 4.3.: Korrelationen der Punkte in den einzelnen Phasen des Problemlösens (Pilotierung)

### 4.3.1.3. Aufbau des Problemlösetest (Hauptstudie)

Für die Hauptstudie wurde der Problemlösetest überarbeitet, um auf die Bodeneffekte aus der Pilotierung zu reagieren. Er wurde in ein „geschlosseneres“ Format übertragen. Die vollständigen Testhefte finden sich im Anhang B.

Um eine Auswertung mit Hilfe eines Rasch-Modells zu ermöglichen, wurden die einzelnen Items entsprechend kodiert, was in Kapitel 4.3.1.4 vorgestellt wird.

Die Probleme, die als Stamm für die einzelnen Items zum Problemlösen verwendet werden, wurden bis auf eines aus der Pilotierung übernommen (s.h. Abbildung 4.3.1.3). Das Problem zum Eiswürfel wurde durch ein Problem ersetzt, bei dem es um eine Fahrt mit der Achterbahn geht. Zusammengefasst wurden also die folgenden vier Probleme verwendet, die sich den Bereichen „Energie“ (Problem 1 und 2) und „Kinematik“ (Problem 3 und 4) zuordnen lassen.

Ein Testheft besteht aus vier Items, die die verschiedenen Phasen des Problemlösens abdecken, sich jedoch jeweils auf unterschiedliche Probleme stützen. Wie in Tabelle 4.4 dargestellt, werden durch die Rotation der Probleme über die vier Phasen je drei Items pro Problem gestellt. In der Tabelle ebenfalls aufgelistet sind die im Weiteren verwendeten Abkürzungen für die entsprechenden Items.

|                   | <b>Repräsentation</b>     | <b>Lösungsweg</b>        |
|-------------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Testheft A</b> | Sprung an ein Seil [rep1] | Achterbahn [lw2]         |
| <b>Testheft B</b> | Sprung an ein Seil [rep1] | Gelbe Ampel [lw3]        |
| <b>Testheft C</b> | Anstoßen Körper [rep4]    | Gelbe Ampel [lw3]        |
| <b>Testheft D</b> | Gelbe Ampel [rep3]        | Sprung an ein Seil [lw1] |
|                   | <b>Lösung</b>             | <b>Nachvollziehen</b>    |
| <b>Testheft A</b> | Gelbe Ampel [lo3]         | Anstoßen Körper [nv4]    |
| <b>Testheft B</b> | Anstoßen Körper [lo4]     | Achterbahn [nv2]         |
| <b>Testheft C</b> | Achterbahn [lo2]          | Sprung an ein Seil [nv1] |
| <b>Testheft D</b> | Achterbahn [lo2]          | Anstoßen Körper [nv4]    |

Tabelle 4.4.: Verteilung der Probleme über die Phasen des Problemlösens

Um den Aufbau zu verdeutlichen, wird im Folgenden das Testheft A

#### 4. Anlage der Untersuchung

**Problem 1 – Sprung an ein Seil** Ein Student der Masse 75 kg läuft mit einer Geschwindigkeit von  $5 \frac{m}{s}$ , greift ein an einem Baum herunterhängendes 2,5 m langes Seil und schwingt sich hinaus über einen See. Er lässt das Seil los, wenn seine Geschwindigkeit  $0 \frac{m}{s}$  beträgt. Wie groß ist der Winkel zur senkrechten Ausgangsposition des Seils, wenn er das Seil loslässt?

Problem aus Giancoli (2006)

**Problem 2 – Achterbahn** Bei einer Achterbahn wird ein Wagen der, Masse 1000 kg auf eine Höhe von 40 m über dem Boden gezogen und beginnt seine Fahrt danach aus der Ruhe. Er bewegt sich ohne zusätzlichen Antrieb auf der Strecke. Welche maximale Geschwindigkeit kann der Wagen in einer Höhe von 15 m über dem Boden haben?

Problem aus Giancoli (2006)

**Problem 3 – Gelbe Ampel** Bei der Planung von Ampeln muss das gelbe Licht lange genug leuchten, damit ein Fahrer anhalten oder weiter und dabei über die ganze Kreuzung fahren kann. Wie lang sollte ein gelbes Licht leuchten? Breite der Straße: 14,4 m; Geschwindigkeit des Autos:  $50 \frac{km}{h}$ ; Verzögerung des Autos:  $4 \frac{m}{s^2}$ ; Reaktionszeit: 1 s

Problem aus Giancoli (2006)

**Problem 4 – Anstoßen Körper** Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.

Problem aus Sherin (2001)

Abbildung 4.3.: Verwendete Problemstämme für die Items der Hauptstudie

genauer vorgestellt. In der Pilotierung hat sich gezeigt, dass Studierende dazu neigen, die Probleme immer komplett zu bearbeiten (bzw. zu rechnen), auch wenn es nicht verlangt ist. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, wurde bei der Konstruktion der Items darauf geachtet, dass die Arbeitsanweisung klar ist und auch explizite Hinweise gegeben werden, dass keine Rechnung verlangt ist. Unterstützt wird dies durch Piktogramme. Die Kodierung ist im Anhang A.2 dargelegt. Grundsätzlich wurde ferner darauf geachtet, möglichst viele Informationen „mitzuerheben“, auch wenn sie in späteren Auswertungsschritten (z.B. der Bepunktung für das Rasch-Modell) zusammengefasst werden.

Das erste Item eines Testhefts (s.h. Abbildung 4.4) bezieht sich auf die *Repräsentation*. Zunächst wird, wie bei allen Items, der Itemstamm in Form des kompletten Problems angegeben. Daraufhin wird der Arbeitsauftrag zum Finden einer Problemrepräsentation aufgeführt. Als geschlossenes Format wurde ein Lückentext gewählt. Der Lückentext beschreibt, wenn die Begriffe richtig ausgewählt wurden, eine geeignete Repräsentation des Problems. Es werden in etwa doppelt so viele Begriffe wie Lücken angegeben, wobei auch Mehrfachverwendungen möglich sind. Bei der Auswahl der Begriffe wurden plausible Distraktoren gewählt. Nach dem Ausfüllen des Lückentexts soll eine Skizze zum Problem angefertigt werden. Es werden Eigenschaften einer guten Skizze angegeben. Auf die Nennung von Idealisierungen wurde verzichtet, da die Pilotierung gezeigt hat, dass generelle Konzepte, die eigentlich immer richtig sind, wie „kein Luftwiderstand“, von fast allen Studierenden genannt werden können, was zu Deckeneffekten führen würde. Direkt auf eine Situation bezogene Idealisierungen werden kaum genannt, was wiederum zu Bodeneffekten führen würde, die ebenfalls vermieden werden sollen.

Das zweite Item eines Testhefts (s.h. Abbildung 4.5) überprüft, inwieweit Studierende in der Lage sind, einen *Lösungsweg* zu entwickeln. Als Vorgabe erhalten die Studierenden eine geeignete Problemrepräsentation mit Skizze; entsprechende Variablen für die verschiedenen Größen werden eingeführt. Zunächst wird nach den für die Repräsentation dieses Problems benötigten grundlegenden Wissenselementen gefragt, die sowohl als Text

#### 4. Anlage der Untersuchung

als auch als Formel wiedergegeben werden sollen. Anschließend kann aus drei grundsätzlichen Lösungsansätzen ausgewählt werden. Die Lösungsansätze sind so konstruiert, dass sie sich in ihrem sprachlichen Aufbau sehr ähnlich sind, in den wesentlichen physikalischen Gesichtspunkten jedoch voneinander abweichen und fehlerhafte Ansätze berücksichtigen, die im Rahmen der Pilotierung beobachtet wurden. Abschließend sollen aus einer Reihe von Formeln diejenigen gewählt werden, die zum Lösungsansatz passen. Auch hier wurde auf geeignete Distraktoren geachtet.

Das dritte Item (s.h. Abbildung 4.6) erfordert nun die tatsächliche rechnerische *Lösung* eines Problems. Vorgegeben ist, wie bereits beim Lösungsweg, eine Repräsentation mit entsprechender Benennung der erforderlichen Größen. Hinzu kommt eine Auflistung der zur Lösung benötigten Wissens-elemente, die allgemein und in Formeln gehalten sind. Zur eigentlichen Lösung sind Lösungsschritte vorgegeben, die sich auf die eingeführten Variablen beziehen. Hier „darf“ nun gerechnet werden.

Das letzte Item eines Testhefts bezieht sich auf das *Nachvollziehen* von ausgearbeiteten Lösungen (s.h. Abbildung 4.7). Der grundsätzliche Arbeitsauftrag ist hierbei, dass die Studierenden eine Skizze und (mathematisch) ausgearbeitete Lösung (also das, was man normalerweise in Aufzeichnungen zu Problemen sieht) einem fiktiven Kommilitonen erklären sollen. Die Lösung an sich ist kleinschrittig dargelegt und soll, über das bloße Verbalisieren der Formeln hinaus, in Rückgriff auf die physikalischen Hintergründe erläutert werden.

### 4.3. Beschreibung der Untersuchungsinstrumente

#### Sprung an ein Seil



Ein Student der Masse 75 kg läuft mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s, greift an das Ende eines an einem Baum befestigten, 2,5 m langen Seils und schwingt sich hinaus über einen See. Er lässt das Seil los, wenn er so weit wie möglich über dem See ist.  
Wie groß ist der Winkel zur senkrechten Ausgangsposition des Seils, wenn er das Seil loslässt?

#### Problemrepräsentation finden



Ergänzen Sie den Lückentext mit Hilfe folgender Begriffe:

(Mehrfachnennungen möglich, Deklination entsprechend der Lücken)

|                                   |                     |             |              |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|--------------|
| Lageenergie $E_{\text{pot}}$      | Masse $m$           | maximal     | 0            |
| Spannenergie $E_{\text{spa}}$     | Geschwindigkeit $v$ | minimal     | die Hälfte   |
| Bewegungsenergie $E_{\text{kin}}$ | Beschleunigung $a$  | vollständig | das Doppelte |
| Schwungergie $E_{\text{schw}}$    | Höhe $h$            | teilweise   | 5            |



Die \_\_\_\_\_, die der Student durch seine \_\_\_\_\_ und  
\_\_\_\_\_ hat, wird beim Schwingen mit dem Seil \_\_\_\_\_ in  
\_\_\_\_\_ umgewandelt, bis die \_\_\_\_\_ des Studenten  
\_\_\_\_\_ beträgt und er bei der \_\_\_\_\_  
angekommen ist. Hierbei schließt das Seil mit seiner Ausgangsposition einen Winkel  $\alpha$  ein.



Fertigen Sie eine Skizze an, die diese Situation veranschaulicht.

(Gute Skizzen zeigen den physikalischen Sachverhalt, sind beschriftet und sauber gezeichnet.)



Abbildung 4.4.: Testheft A Repräsentation



## 4. Anlage der Untersuchung

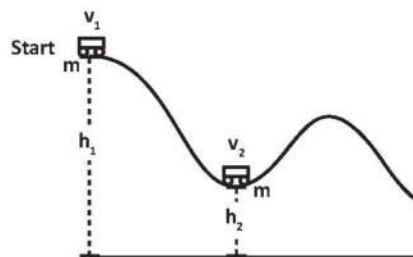
### Die Achterbahn



Bei einer Achterbahn wird ein Wagen der Masse 1000 kg auf eine Höhe von 40 m über dem Boden gezogen und beginnt seine Fahrt danach aus der Ruhe. Er bewegt sich ohne zusätzlichen Antrieb auf der Strecke. Welche maximale Geschwindigkeit kann der Wagen in einer Höhe von 15 m über dem Boden haben?

#### Problemrepräsentation

Die Lageenergie, die der Wagen am Anfang der Strecke auf Grund seiner Höhe besitzt, wird beim Übergang nach unten teilweise in Bewegungsenergie umgewandelt.



$h_1$ : Höhe zum Start des Wagens (40 m)  
 $v_1$ : Geschwindigkeit zum Start des Wagens (0 m/s)  
 $h_2$ : Höhe zum gesuchten Zeitpunkt (15m)  
 $v_2$ : gesuchte Geschwindigkeit  
 $m$ : Masse des Wagens (1000 kg)

#### Erarbeitung eines Lösungsansatzes



Erklären Sie die für die Lösung des Problems relevanten Konzepte bzw. Begriffe.

Schreiben Sie hierzu 2 – 3 Sätze, die Sie gegebenenfalls mit Formeln ergänzen. Keine Rechnung!



Lageenergie:

Bewegungsenergie:

Energieerhaltung:



Wählen Sie einen zum Problem passenden Ansatz und die dazu benötigten Formeln aus.



- ☐ Die Lageenergie 1 ist gleich der Bewegungsenergie 2, da Energieerhaltung gilt.
- ☐ Die Differenz der Lageenergien ist gleich der Bewegungsenergie 2, da Energieerhaltung gilt.
- ☐ Die Lageenergie 2 ist proportional zur Bewegungsenergie 2, da Energieerhaltung gilt.
- ☐  $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$
- ☐  $E_{\text{pot},2} \sim E_{\text{kin},2}$
- ☐  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
- ☐  $E_{\text{pot},1} = E_{\text{kin},2}$
- ☐  $E_{\text{kin}} = m \cdot v$
- ☐  $\Delta E_{\text{pot}} = E_{\text{kin},2}$

Abbildung 4.5.: Testheft A Lösungsweg

## 4.3. Beschreibung der Untersuchungsinstrumente

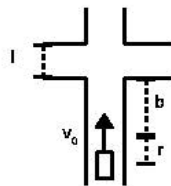
### Die gelbe Ampel



Bei der Planung von Ampeln muss das gelbe Licht lange genug leuchten, damit ein Fahrer anhalten oder weiter- und dabei über die ganze Kreuzung fahren kann.  
 Wie lange sollte ein gelbes Licht leuchten?  
 Breite der Straße: 14,4 m; Geschwindigkeit des Autos: 50 km/h ; Verzögerung des Autos: 4 m/s<sup>2</sup>;  
 Reaktionszeit: 1 s

#### Problemrepräsentation

Das gelbe Licht muss so lange leuchten, dass ein Auto, das kürzer als sein Bremsweg von der Ampel entfernt ist, noch über die Ampel fahren kann. Die minimale Zeit für das gelbe Licht setzt sich zusammen aus: Reaktionszeit, Zeit für das Zurücklegen des eigentlichen Bremsweges mit der Anfangsgeschwindigkeit, Zeit für das Zurücklegen der Breite der Straße mit der Anfangsgeschwindigkeit.



$v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit des Autos ( $v_0 = 50 \text{ km/h}$ )  
 $a$ : Verzögerung des Autos ( $a = 4 \text{ m/s}^2$ )  
 $l$ : Breite der Straße ( $l = 14,4 \text{ m}$ )  
 $b$ : Bremsweg des Autos  
 $t_b$ : Bremszeit  
 $r$ : Reaktionsweg  
 $t_r$ : Reaktionszeit (1 s)

#### Erarbeitung eines Lösungsansatzes

Physikalisches Wissen, das zum Lösen des Problems benötigt wird:

- Gleichförmige Bewegung (allgemein):  $s(t) = v \cdot t + s_0$
- Beschleunigte Bewegung (allgemein):  $s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$      $v(t) = v_0 + a \cdot t$
- Superposition von Bewegungen: Der gleichförmigen Bewegung der Anfangsgeschwindigkeit wirkt die Verzögerung entgegen.



Erarbeiten Sie anhand der vorgegebenen Lösungsschritte die Lösung des Problems.



Bremszeit des Autos aus gegebener Geschwindigkeit und Verzögerung berechnen:  $t_b$

Bremsweg des Autos aus der Geschwindigkeit  $v_0$  berechnen:  $b$

Zeit für das gleichförmige Zurücklegen des Bremsweges mit der gegebenen Anfangsgeschwindigkeit berechnen:  $t_1$

Zeit für das gleichförmige Zurücklegen der Breite der Straße mit gegebener Anfangsgeschwindigkeit berechnen:  $t_2$

Zeit für das gelbe Licht aus den einzelnen Zeiten berechnen:  $t_{gelb}$

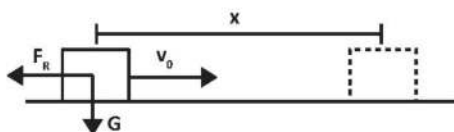
Abbildung 4.6.: Testheft A Lösung

## 4. Anlage der Untersuchung

### Anstoßen eines Körpers



Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.



x: Strecke bis zur Ruhe  
 $v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit  
G: Gewichtskraft  
 $F_R$ : Reibung



Im Folgenden finden Sie eine ausgearbeitete Lösung dieses Problems.

Stellen Sie sich vor, Sie wollten diese Lösung einem Kommilitonen (z.B. aus einem niedrigerem Semester) erklären. Notieren Sie bitte in Stichworten, was Sie ihr/ihm zu den einzelnen Lösungsschritten sagen würden. Verbalisieren Sie hierbei nicht nur die mathematischen Formeln, sondern gehen Sie auch auf die physikalischen Hintergründe ein.

(Die Zeilen sind zum leichteren Zuordnen durchnummeriert.)



1  $F_R \sim G$

2  $\Rightarrow F_R = \alpha \cdot G$

3  $a_R = \alpha \cdot g$

4  $v(t) = v_0 - a_R \cdot t$

5  $v(t_0) = 0 = v_0 - a_R \cdot t_0$

6  $t_0 = \frac{v_0}{a_R}$

7  $s(t) = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a_R \cdot t^2$

8  $s(t_0) = x = \frac{v_0^2}{a_R} - \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2}{a_R}$

9  $x = \frac{v_0^2}{2 \cdot \alpha \cdot g}$

Abbildung 4.7.: Testheft A Nachvollziehen

#### 4.3.1.4. Rasch-Skalierung des Problemlösetests (Hauptstudie)

Da es sich bei dem Problemlösetest um einen Leistungstest handelt, bei dem anzunehmen ist, dass das gezeigte Antwortverhalten durch eine (oder mehrere) latente Variable erklärt werden kann, wurden die Daten mit einem probabilistischen Modell - dem Rasch-Modell - ausgewertet. Des Weiteren ist es Rasch-Modellen möglich, mit einer Vielzahl „fehlender Werte“ umzugehen, die bei einem Testheft-Design, wie in Kapitel 4.1 beschrieben, zwangsläufig auftreten.

Um die Daten des Problemlösetest für eine Rasch-Skalierung nutzen zu können, müssen diese in eine geeignete Kodierung überführt werden, so dass jedes Item aus jedem Testheft durch eine Variable repräsentiert wird. Zudem muss grundsätzlich entschieden werden, ob ein dichotomes Raschmodell (jede Variable kann 0 oder 1 annehmen) oder ein Stufenmodell (Partial-Credit), bei dem ein Item mehr als zwei diskrete Ausprägungen annehmen kann, verwendet werden soll. Im Rahmen des Problemlösens erscheint es nicht sinnvoll, die Items lediglich mit richtig oder falsch zu bewerten, da auch teilweise richtige Lösungen zu erwarten sind. Die Teilpunkte für jedes Item wurden nun so verteilt, dass nicht jede richtige Teilantwort einen Punkt gibt, sondern erst das richtige Ausfüllen von mehreren Teilantworten, die inhaltlich eine sinnvolle Einheit ergeben. Eine solche Kodierung wurde einer, die z.B. auf den Terzilen der korrekten Antworten innerhalb der Stichprobe beruht, vorgezogen, da so inhaltliche Überlegungen eine Rolle spielen, und nicht nur eine statistische Verteilung innerhalb der Stichprobe. Im Folgenden wird die Kodierung der einzelnen Items in Vorbereitung für die Rasch-Skalierung vorgestellt.

Bei den Items zur *Repräsentation* wurde der Lückentext jeweils in drei sinnvolle inhaltliche Einheiten unterteilt (s.h. Tabelle 4.5). Wenn alle Lücken, die zu einer Einheit gehören, korrekt ausgefüllt sind, wird 1 Punkt vergeben. Auf eine Bewertung der Skizze wird, trotz ihrer Wichtigkeit, verzichtet, da bei zwei von drei Items nur wenige richtige Skizzen zu beobachten waren (23%/19%/52%) und dies das Ergebnis zu sehr verzerren würde. Es können also maximal 3 Punkte erreicht werden.

|                                      |
|--------------------------------------|
| <b>P1 – Sprung an ein Seil</b>       |
| Energieansatz (Lücke 1, 4, 5)        |
| Zustandsgrößen (Lücke 6, 7, 8, 9)    |
| Definition $E_{kin}$ (Lücke 1, 2, 3) |
| <b>P3 – Gelbe Ampel</b>              |
| Ausgangssituation (Lücke 1, 2, 3)    |
| Bewegungsarten (Lücke 3, 5, 6)       |
| Minimale Zeit (Lücke 4, 5, 6, 7)     |
| <b>P4 – Anstoßen Körper</b>          |
| Idealisierungen (Lücke 1, 2)         |
| Bewegung (Lücke 3, 4, 5, 6)          |
| Abhängigkeiten (Lücke 7, 8, 9, 10)   |

Tabelle 4.5.: Kodierung der Repräsentation in Vorbereitung für Rasch-Skalierung

Für die Items zur Findung eines *Lösungswegs* wurde bewertet, ob die verbale Beschreibung aller Wissens Elemente korrekt ist (1 Punkt), ob die Formel korrekt ist (1 Punkt), ob der richtige der drei Lösungsansätze ausgewählt wird (1 Punkt) und ob alle dazu passenden Formeln korrekt angekreuzt sind (1 Punkt). Es können so maximal 4 Punkte erreicht werden.

Bei der *Lösung* wurden die einzelnen Lösungsschritte mit richtig (1 Punkt) oder falsch (0 Punkte) bewertet. P2 – Achterbahn und P4 – Anstoßen Körper bestehen aus drei Schritten, bei P3 – Gelbe Ampel wurden die Schritte zur Bestimmung der Zeiten zusammengelegt, sodass auch 3 Punkt vergeben werden.

Beim *Nachvollziehen* einer ausgearbeiteten Lösung wurde entschieden, inwieweit die Lösung aus fachlicher Sicht korrekt erklärt wurde: 0 Punkte nicht korrekt, 1 Punkt teilweise korrekt (inkl. Ungenauigkeiten und kleinere Fehler, die jedoch nicht den Sinn entstellen) und 2 Punkte korrekt erklärt.

Mit dieser Kodierung ergibt sich die in Tabelle 4.6 dargelegte Punkteverteilung über die Probleme. Zu sehen ist, dass einige Punktzahlen nur von sehr wenigen Personen erreicht wurden, was bei den Berechnungen des Rasch-Modells zu Problemen führen könnte. Aus diesem Grund und um die Anzahl der Schwellen über alle Items zu vereinheitlichen, wurden die Punkte so zusammengefasst, dass maximal 2 Punkte erreicht werden kön-

nen (s.h. Tabelle 4.7). Dadurch ergeben sich die Schwellen für die Rasch-Skalierung 0 nicht gelöst – 1 teilweise gelöst – 2 gelöst.

|                       |        | P1               | P2 | P3 | P4 |
|-----------------------|--------|------------------|----|----|----|
|                       | Punkte | gültige Prozente |    |    |    |
| <b>Repräsentation</b> | 0      | 26               |    | 49 | 4  |
|                       | 1      | 32               |    | 32 | 16 |
|                       | 2      | 29               |    | 9  | 52 |
|                       | 3      | 13               |    | 10 | 28 |
| <b>Lösungsweg</b>     | 0      | 23               | 26 | 49 |    |
|                       | 1      | 33               | 26 | 30 |    |
|                       | 2      | 26               | 21 | 15 |    |
|                       | 3      | 13               | 11 | 5  |    |
|                       | 4      | 4                | 15 | 1  |    |
| <b>Lösung</b>         | 0      |                  | 10 | 47 | 64 |
|                       | 1      |                  | 21 | 28 | 22 |
|                       | 2      |                  | 17 | 18 | 10 |
|                       | 3      |                  | 52 | 7  | 4  |
| <b>Nachvollziehen</b> | 0      | 19               | 28 |    | 42 |
|                       | 1      | 10               | 14 |    | 24 |
|                       | 2      | 71               | 58 |    | 34 |

Tabelle 4.6.: Ergebnisse der vorläufigen Kodierung in Vorbereitung für Rasch-Skalierung

Das Rasch-Modell mit Partial Credit des Problemlösetests unter der oben vorgestellten Kodierung wurde über 279 Datensätze mit ConQuest 2.0<sup>2</sup> (Wu et al., 2007) berechnet. Die Itemparameter werden über MML (Maximum Marginale Likelihood) und die Personenparameter über *WLE* (Weighted Likelihood Estimates) geschätzt.

Um ein Rasch-Modell verwenden zu können, muss sichergestellt werden, dass alle Items (inklusive aller Schwellen) Rasch-homogen sind (Kriterien s.h. z.B. Adams & Wu, 2002). Hierzu wird überprüft, ob der *wMNSQ* (Weighted Mean Square; gewichtete quadratische Abweichung) zwischen .80 und 1.20 liegt, der kritische *t*-Wert nicht überschritten wird und die klassische Trennschärfe größer als .30 ist. Dies ist für alle Items und Schwellen erfüllt. Zudem wurde bei den einzelnen Items überprüft, ob die punkt-biserielle Korrelation der Scores zum Gesamtscore von negativen Werten

<sup>2</sup>Für die Auswertung des Problemlösetest wurde ConQuest verwendet, da dieses, im Gegensatz zu winmira, mit den vielen fehlenden Werten umgehen kann. Für die später vorgestellten Fachwissenstests in Mathematik und Mechanik wurde auf winmira zurückgegriffen, da dieses einen Bootstrap Test zur Modellprüfung durchführen kann – mit ConQuest ist dies nicht möglich.

#### 4. Anlage der Untersuchung

|                       |        | P1               | P2 | P3 | P4 |
|-----------------------|--------|------------------|----|----|----|
|                       | Punkte | gültige Prozente |    |    |    |
| <b>Repräsentation</b> | 0      | 26               |    | 48 | 18 |
|                       | 1      | 32               |    | 33 | 54 |
|                       | 2      | 42               |    | 19 | 28 |
| <b>Lösungsweg</b>     | 0      | 23               | 26 | 50 |    |
|                       | 1      | 33               | 26 | 30 |    |
|                       | 2      | 43               | 47 | 20 |    |
| <b>Lösung</b>         | 0      |                  | 30 | 47 | 64 |
|                       | 1      |                  | 16 | 28 | 22 |
|                       | 2      |                  | 53 | 25 | 14 |
| <b>Nachvollziehen</b> | 0      | 19               | 28 |    | 42 |
|                       | 1      | 10               | 14 |    | 24 |
|                       | 2      | 71               | 58 |    | 34 |

Tabelle 4.7.: Ergebnisse der Kodierung in Vorbereitung für Rasch-Skalierung

zu positiven Werten zunimmt und die durchschnittlich erreichten Personenparameter bei einem Score kontinuierlich ansteigen. Einen Überblick über die Item- und Schwellenparameter liefern die Tabellen 4.8 und 4.9. Die Bezeichnung der Variablen bezieht sich auf Tabelle 4.4, wobei jeweils noch ein Kürzel (z.B. „Seil“ für das Problem P1 – Sprung an ein Seil) angegeben ist. Die *WLE* Reliabilität beträgt 0.37<sup>3</sup>.

|                       | $\sigma$ | $SE$ |                       | $\sigma$ | $SE$ |
|-----------------------|----------|------|-----------------------|----------|------|
| <b>rep1.Seil</b>      | -0.28    | 0.08 | <b>lo2.Achterbahn</b> | -0.36    | 0.08 |
| <b>rep3.Ampel</b>     | 0.63     | 0.10 | <b>lo3.Ampel</b>      | 0.52     | 0.09 |
| <b>rep4.Anstoßen</b>  | -0.19    | 0.10 | <b>lo4.Anstoßen</b>   | 0.99     | 0.10 |
| <b>lw1.Seil</b>       | -0.40    | 0.10 | <b>nv1.Seil</b>       | -0.87    | 0.10 |
| <b>lw2.Achterbahn</b> | -0.32    | 0.09 | <b>nv2.Achterbahn</b> | -0.52    | 0.09 |
| <b>lw3.Ampel</b>      | 0.62     | 0.08 | <b>nv4.Anstoßen</b>   | -0.19    | 0.31 |

Tabelle 4.8.: Itemparameter des Problemlösetests

Trägt man die Personenfähigkeit  $\theta$  (*WLE*) und die Schwierigkeiten der Schwellen  $\sigma$  auf der Logit-Skala auf, so ergibt sich die Abbildung 4.8. Es lässt sich erkennen, dass die Schwierigkeit der Items (Kreuze auf der x-Achse) breit gestreut ist, ohne allzu große Lücken aufzuweisen, was bedeutet, dass ein Schwierigkeitsbereich gut abgedeckt wird. Die Personenwerte

<sup>3</sup>Anzumerken bleibt, dass die Reliabilität der Personenparameter nicht entscheidend für die Qualität des Tests ist – hierfür ist lediglich wichtig, dass alle Items Rasch-homogen sind.

|                | Schwelle | $\sigma$ | $SE$ |                | Schwelle | $\sigma$ | $SE$ |
|----------------|----------|----------|------|----------------|----------|----------|------|
| rep1.Seil      | 1        | -0.88    | 0.27 | lo2.Achterbahn | 1        | -0.61    | 0.31 |
| rep1.Seil      | 2        | 0.31     | 0.27 | lo2.Achterbahn | 2        | -0.11    | 0.31 |
| rep3.Ampel     | 1        | -0.04    | 0.36 | lo3.Ampel      | 1        | 0.02     | 0.36 |
| rep3.Ampel     | 2        | 1.29     | 0.36 | lo3.Ampel      | 2        | 1.02     | 0.36 |
| rep4.Anstoßen  | 1        | -1.40    | 0.34 | lo4.Anstoßen   | 1        | 0.55     | 0.38 |
| rep4.Anstoßen  | 2        | 1.01     | 0.34 | lo4.Anstoßen   | 2        | 1.44     | 0.38 |
| lw1.Seil       | 1        | -1.03    | 0.35 | nv1.Seil       | 1        | -1.05    | 0.50 |
| lw1.Seil       | 2        | 0.23     | 0.35 | nv1.Seil       | 2        | -0.70    | 0.50 |
| lw2.Achterbahn | 1        | -0.78    | 0.36 | nv2.Achterbahn | 1        | -0.75    | 0.44 |
| lw2.Achterbahn | 2        | 0.14     | 0.36 | nv2.Achterbahn | 2        | -0.30    | 0.44 |
| lw3.Ampel      | 1        | 0.07     | 0.27 | nv4.Anstoßen   | 1        | -0.12    | 0.50 |
| lw3.Ampel      | 2        | 1.17     | 0.27 | nv4.Anstoßen   | 2        | 0.59     | 0.50 |

Tabelle 4.9.: Schwellenparameter der Items des Problemlösetests

(Kreise) streuen über die Bandbreite der möglichen Werte. Sie haben ihren Mittelwert bei 0.04 und eine Standardabweichung von 0.81. Da die Itemwerte auf 0 summenorientiert sind, wäre bei einem perfekt angemessenen Test, der nicht zu leicht und nicht zu schwer für die entsprechende Stichprobe ist, ein Mittelwert von 0 zu erwarten, was hier erfüllt ist.

Grundsätzlich wäre es denkbar, dass es sich bei der Fähigkeit zum Problemlösen nicht um ein eindimensionales Konstrukt handelt. Um die Eindimensionalität zu bestätigen, wurden – auf der oben dargelegten Datenbasis – verschiedene mehrdimensionale Rasch-Modelle betrachtet. So wurden ein vierdimensionales Modell, das die Items den vier Phasen des Problemlösens als Dimensionen zuordnet, und ein zweidimensionales Modell, das die Items den Bereichen Energie und Kinematik zuordnet, mit ConQuest berechnet und über ihre Abweichung ( $Final\ Deviance = -2 \cdot \text{Log-Likelihood}$ ) mit dem eindimensionalen Grundmodell verglichen (s.h. Tabelle 4.10). Die Modellvergleiche erfolgen über einen  $\chi^2$ -Test, der die Unterschiede der Modellparameter als Freiheitsgrade verwendet. Es zeigte sich, dass das zweidimensionale Modell die Daten signifikant schlechter beschreibt als das eindimensionale, weshalb es verworfen wird. Beim Vergleich des vierdimensionalen Modells zeigt sich kein signifikanter Unterschied in der  $Final\ Deviance$  zum eindimensionalen Modell – im Sinne des Einfachheitskriteriums (vgl. Rost, 2004) wird dasjenige Modelle ausgewählt, das weniger Dimensionen besitzt. AIC (Akaike’s Information Criterion) und BIC (Best



#### 4. Anlage der Untersuchung

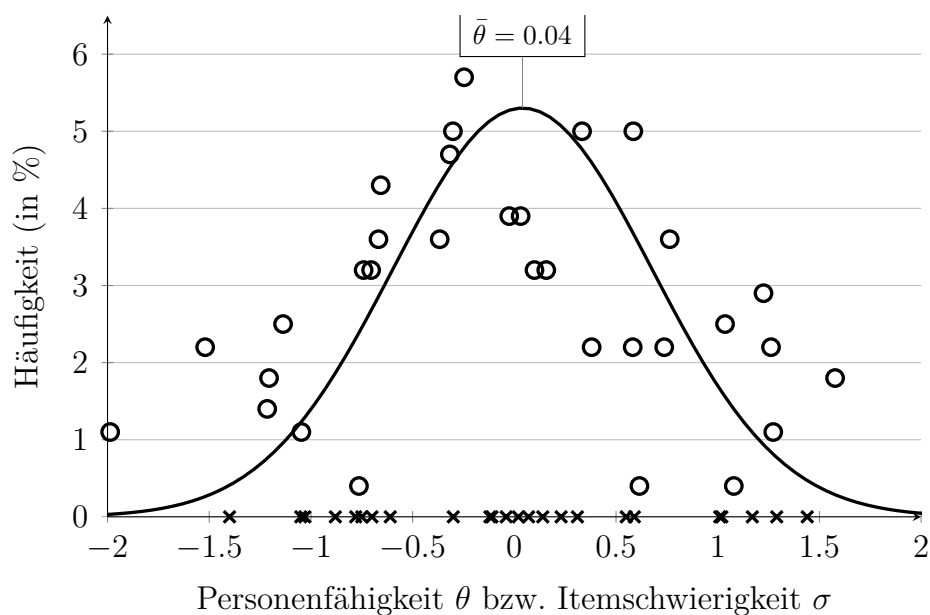


Abbildung 4.8.: Darstellung von Itemschwierigkeit und Personenfähigkeit beim Problemlösetest auf der Logitskala

Information Criterion) unterstützen diese Auswahl – die Werte sind beim eindimensionalen Modell am kleinsten.

|                                       | 1-dim. Modell<br><i>Grundmodell</i> | 4-dim. Modell<br><i>Phasen des Problemlösens</i> | 2-dim. Modell<br><i>Bereiche</i> |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Abweichung</b>                     | 2178.18                             | 2181.29                                          | 2189.91                          |
| <b>Modellparameter</b>                | 25                                  | 35                                               | 28                               |
| <b><math>\Delta</math> Abweichung</b> |                                     | 3.12                                             | 8.62                             |
| <b>Freiheitsgrade</b>                 |                                     | 10                                               | 3                                |
| <b><math>p</math></b>                 |                                     | 0.98                                             | 0.01                             |
| <b>AIC</b>                            | 2228                                | 2251                                             | 2245                             |
| <b>BIC</b>                            | 2319                                | 2378                                             | 2347                             |

$N = 279$ , Abweichung =  $-2 \cdot \text{Log-Likelihood}$

Tabelle 4.10.: Modellvergleiche Problemlösetest mit  $\chi^2$ -Test und AIC bzw. BIC

Da ConQuest keine globalen Modellgeltungstests wie winmira berechnen kann, reicht die erfolgreiche Fitprüfung der Items (Rasch-Homogenität) und die Überlegenheit des Modells gegenüber anderen Modellen, die auf denselben Daten beruhen, aus, um die Modellgeltung zu bestätigen.

Insgesamt betrachtet ist die Rasch-Skalierung des Problemlösetests an-

gemessen, was durch die Fitprüfung der Items und die Modellvergleiche sichergestellt wurde. Für die weiteren Auswertungen (Kapitel 5) kann jeder Person über den *WLE* ein Personenwert zugeordnet werden, der, analog zur erreichten Punktzahl der einzelnen Probanden, ein Maß für den Erfolg beim Problemlösen ist.

#### 4.3.1.5. Ausgewählte Ergebnisse des Problemlösetest aus der Hauptstudie

Der Test ist, im Vergleich zur Pilotierung, besser ausgefallen und es treten weder Decken- noch Bodeneffekte auf. Im Schnitt wurden insgesamt 4.10 von 8 Punkten ( $SD = 2.18$ ) erreicht. Über die verschiedenen Probleme gemittelt wurden bei der Repräsentation 1.02 Punkte ( $SD = 0.79$ ), beim Lösungsweg 0.96 Punkte ( $SD = 0.84$ ), beim Lösen 0.94 Punkte ( $SD = 0.89$ ) und beim Nachvollziehen 1.12 Punkte ( $SD = 0.89$ ) von jeweils 2 Punkten erreicht. Eine Übersicht nach den einzelnen Items findet sich in Tabelle 4.11.

|                       | <i>M</i> Punkte | <i>SD</i> |                       | <i>M</i> Punkte | <i>SD</i> |
|-----------------------|-----------------|-----------|-----------------------|-----------------|-----------|
| <b>rep1.Seil</b>      | 1.16            | 0.81      | <b>lo2.Achterbahn</b> | 1.23            | 0.89      |
| <b>rep3.Ampel</b>     | 0.71            | 0.77      | <b>lo3.Ampel</b>      | 0.78            | 0.83      |
| <b>rep4.Anstoßen</b>  | 1.09            | 0.68      | <b>lo4.Anstoßen</b>   | 0.51            | 0.74      |
| <b>lw1.Seil</b>       | 1.20            | 0.80      | <b>nv1.Seil</b>       | 1.52            | 0.80      |
| <b>lw2.Achterbahn</b> | 1.21            | 0.84      | <b>nv2.Achterbahn</b> | 1.30            | 0.88      |
| <b>lw3.Ampel</b>      | 0.70            | 0.79      | <b>nv4.Anstoßen</b>   | 0.92            | 0.87      |

Tabelle 4.11.: Punkte der einzelnen Items zum Problemlösen

Wie auch in Tabelle 4.8 zu sehen ist, sind die verschiedenen Items unterschiedlich schwierig. Jedoch lässt sich keine Staffelung der Schwierigkeiten über die Phase des Problemlösens, die in den Items behandelt wird, ablesen. Vielmehr spielt der Bereich, aus dem das Item stammt, eine Rolle. Es ist festzustellen, dass die Items aus dem Bereich „Energie“ einfacher sind und besser gelöst werden, als die Items aus dem Bereich „Kinematik“. Dieser Zusammenhang wird bei der Einteilung der Personen in Stufen des Problemlösens (Kapitel 5.2) ausführlicher diskutiert.

#### 4. Anlage der Untersuchung

Um zu überprüfen, ob der Test die Phasen des Problemlösens unabhängig voneinander erheben kann, wurden, wie bereits mit den Daten der Pilotierung, die Korrelationen zwischen den einzelnen Phasen berechnet (s.h. Tabelle 4.3). Die erreichten Punktzahlen der einzelnen Phasen korrelieren, wenn überhaupt, eher niedrig miteinander. Die Korrelationen mit der Gesamtpunktzahl sind jedoch alle hoch. Dies untermauert die Vermutung, dass die verschiedenen Phasen des Problemlösens unabhängig voneinander erhoben werden konnten.

|                       |                     | <b>Lösungsweg</b> | <b>Lösung</b> | <b>Nachvollziehen</b> | <b>Gesamt</b> |
|-----------------------|---------------------|-------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| <b>Repräsentation</b> | <i>r</i>            | .202***           | .119*         | .209***               | .584***       |
|                       | <i>p</i> (2-seitig) | .001              | .046          | .000                  | .000          |
|                       | 95% KI              | [0.09;0.32]       | [0.01;0.23]   | [0.10;0.32]           | [0.52;0.66]   |
| <b>Lösungsweg</b>     | <i>r</i>            | 1                 | .304***       | .067                  | .613***       |
|                       | <i>p</i> (2-seitig) |                   | .000          | .262                  | .000          |
|                       | 95% KI              |                   | [0.20;0.42]   | [-0.05;0.18]          | [0.54;0.68]   |
| <b>Lösung</b>         | <i>r</i>            |                   | 1             | .299***               | .685***       |
|                       | <i>p</i> (2-seitig) |                   |               | .000                  | .000          |
|                       | 95% KI              |                   |               | [0.19;0.41]           | [0.62;0.75]   |
| <b>Nachvollziehen</b> | <i>r</i>            |                   |               | 1                     | .620***       |
|                       | <i>p</i> (2-seitig) |                   |               |                       | .000          |
|                       | 95% KI              |                   |               |                       | [0.55;0.69]   |

Korrelationen nach Pearson;  $N = 279$ ; \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

Tabelle 4.12.: Korrelationen der Punkte in den einzelnen Phasen des Problemlösens (Hauptstudie)

#### 4.3.1.6. Zusammenfassung zum Problemlösetest unter Berücksichtigung der Hypothesen zu Forschungsfrage F1

Die Entwicklung eines geeigneten Tests zur Erhebung der Fähigkeit zum Problemlösen ist mit der ersten Forschungsfrage verbunden (s.h. Kapitel 3.1). Im Folgenden wird die Tragfähigkeit der einzelnen Hypothesen diskutiert.

**(H1a)** Es wird erwartet, dass die verschiedenen Phasen des Problemlösens (aufgrund ihrer verschiedenen Anforderungen) unterschiedlich schwierig sind.

Die erste Hypothese ist in dieser Form auf der Grundlage der erhobenen Daten nicht haltbar. Hierzu hätte sich bei der Schwierigkeit der Items (z.B. Tabelle 4.8 oder Tabelle 4.9) ein Zusammenhang zur Phase des Problemlösens zeigen müssen, z.B. dass die Items zum Nachvollziehen die einfachsten Items sind und die zum Finden einer Repräsentation die schwierigsten. Dies ist nur bedingt der Fall. Ein deutlicherer Zusammenhang zur Schwierigkeit ergibt sich aus dem Bereich, in den das Stammproblem des Items eingeordnet ist. Es zeigt sich eindeutig, dass alle Items, die aus dem Bereich „Energie“ stammen, leichter sind, als die aus dem Bereich „Kinematik“ (s.h. Tabelle 4.13). Weitere Diskussionen zu den Schwierigkeiten der Items finden sich in Kapitel 5.2 bei der Einteilung der Probanden in die Stufen zum Problemlösen.

#### 4. Anlage der Untersuchung

| Bereich   | Item           | $\sigma$ |
|-----------|----------------|----------|
| Energie   | nv1.Seil       | -0.87    |
|           | nv2.Achterbahn | -0.52    |
|           | lw1.Seil       | -0.40    |
|           | lo2.Achterbahn | -0.36    |
|           | lw2.Achterbahn | -0.32    |
|           | rep1.Seil      | -0.28    |
| Kinematik | rep4.Anstoßen  | -0.19    |
|           | nv4.Anstoßen   | -0.19    |
|           | lo3.Ampel      | 0.52     |
|           | lw3.Ampel      | 0.62     |
|           | rep3.Ampel     | 0.63     |
|           | lo4.Anstoßen   | 0.99     |

Tabelle 4.13.: Items des Problemlösetest nach Schwierigkeit geordnet

**(H1b)** Es wird erwartet, dass die Problemlösefähigkeit ein eindimensionales Konstrukt ist.

Die zweite Hypothese kann wieder bestätigt werden. Die Modellvergleiche der eindimensionalen mit den mehrdimensionalen Partial-Credit Modellen (s.h. Tabelle 4.10) zeigen, dass eine eindimensionale Betrachtung der Fähigkeit zum Problemlösen diese besser beschreibt, als mehrdimensionale Modelle es tun.

#### 4.3.2. Skalen zur Erhebung des Selbstkonzepts

Das Selbstkonzept der Probanden ist einer der Faktoren, von denen ein Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen vermutet wird (vgl. Kapitel 3.2). Wie in Kapitel 2.7.3 ausführlich dargelegt, versteht man unter „Selbstkonzept“ im weiteren Sinne die subjektive Einschätzung einer Person über ihre Fähigkeiten. Hierbei handelt es sich um ein hierarchisches Konstrukt, von dem insbesondere die Ebene des domänenspezifischen Selbstkonzepts (in Physik und Mathematik) und die des situationsbezogene Selbstkonzepts (in den vier Phasen des Problemlösens) von Interesse sind. Es wurde eine Trennung des Selbstkonzepts nach den einzelnen Phasen des Problemlösens vorgenommen, da vermutet wird, dass das Selbstkonzept abhängig von den spezifischen Anforderungen der einzelnen Phasen ist. Insgesamt wird erwartet, dass ein höheres Selbstkonzept mit besseren Leistungen beim Problemlösen einhergeht.

Für die Erhebung des Selbstkonzepts wurden 46 Items, verteilt auf sieben Skalen, neu entwickelt, die mit einer vierstufigen Likert-Skala (von (1) *trifft nicht zu* bis (4) *trifft zu*) beantwortet werden. Im Folgenden werden die Skalen mit ihrer Konstruktion vorgestellt und ihre statistische Überprüfung dargelegt.

##### 4.3.2.1. Vorstellung der Skalen zum Selbstkonzept

Die Items wurden basierend auf den Empfehlungen von Dickhäuser et al. (2002) so konstruiert, dass sie sich auf kriterienbezogene Bezugsnormen (z.B. physk.1 „*Ich komme mit den Anforderungen des Physikstudiums gut zurecht.*“) und absolute Vergleiche (z.B. matsk.3 „*Ich bin für Mathe begabt.*“) beziehen, die sich auf kognitive Komponenten beschränken. Darüber hinaus nennen Schmitz & Schwarzer (2000) semantische Implikationen, mit denen einfache Items zur Selbstwirksamkeit entwickelt werden können: Verwendung der ersten Person Singular; Verben wie „können“ oder „sich in der Lage sehen“; Schwierigkeitsgrad der Aufgabe verdeutlichen; Vermeidung von unpersönlichen wenn-dann-Sätzen. Einige Items des Fragebogens wurden mit Hilfe dieser Vorgaben konstruiert: z.B. lwplsk.6 „*Auch bei neuen*

#### 4. Anlage der Untersuchung

*Problemen kann ich mir einen Lösungsweg erarbeiten.*“, löplsk.7 „*Wenn ich weiß, wie ich vorzugehen habe, kann ich auch schwierige Probleme lösen.*“.

Zudem wurde im Rahmen der Pilotierung die erprobte Skala zur allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung (ASWE) von Schwarzer (1999) mit erhoben. Mit diesen soll geprüft werden, ob die entwickelten Items bzw. Skalen, im Sinne der Abhängigkeit der Hirarchieebenen des Selbstkonzepts eine ähnliche Ausprägung besitzen.

Im nächsten Kapitel werden die einzelnen Skalen genauer vorgestellt. Eine vollständige Auflistung der Items findet sich im Anhang A.3.1.

##### 4.3.2.2. Überprüfung der Skalen zum Selbstkonzept (Pilotierung)

Um die Güte der Items und Skalen zu bestimmen, wurden sie in Hinblick auf ihre Trennschärfe, Reliabilität (Cronbachs  $\alpha$ ) und Eindimensionalität (explorative Faktorenanalyse) untersucht. Tabelle 4.14 gibt einen Überblick über die verwendeten Skalen. Die Tabellen mit der Trennschärfe, den Mittelwerten und Standardabweichung der einzelnen Items sowie ausgewählte Ergebnisse der Faktorenanalysen finden sich in Anhang A.3.

|                                               |                        | Itemanzahl |
|-----------------------------------------------|------------------------|------------|
| <b>Domänenspezifisches Selbstkonzept</b>      | Physik                 | 5          |
|                                               | Mathematik             | 5          |
| <b>Situations-spezifisches Selbstkonzept</b>  | Problemlösen allgemein | 5          |
|                                               | Repräsentation         | 6          |
|                                               | Lösungsweg             | 7          |
|                                               | Lösung                 | 8          |
|                                               | Nachvollziehen         | 6          |
| <b>Allgemeine Selbstwirksamkeitserwartung</b> | Schwarzer (1999)       | 10         |

Tabelle 4.14.: Überblick der verwendeten Skalen zum Selbstkonzept

**4.3.2.2.1. Selbstkonzept Physik [physk]** Die Items zum domänenspezifischen Selbstkonzept Physik weisen sehr hohe Trennschärfen auf ( $>.70$ ). Einen kleinen Ausreißer nach unten stellt das Item physk.4 „*Physik liegt*

*mir nicht besonders.*“ dar. Im Hinblick auf Schwierigkeit und Streuung ist es zwar mit physk.2 *„Ich komme mit Physik als Studienfach gut zurecht.“* vergleichbar, liefert aber eine geringere Trennschärfe (.72 vs. .81). Dieser Unterschied könnte dadurch erklärt werden, dass es sich beim Item physk.4 *„Physik liegt mir nicht besonders.“* um das einzige negative Item dieser Skala handelt. Nichtsdestotrotz liefert diese Skala ein sehr hohes Cronbachs-Alpha mit .91. Die Faktorenanalyse ergab eindeutig Eindimensionalität.

**4.3.2.2.2. Selbstkonzept Mathematik [matsk]** Beim Selbstkonzept Mathematik zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Selbstkonzept Physik. Drei der fünf Items weisen sehr hohe Trennschärfen über .7 auf, das einzige negativ formulierte Item matsk.4 *„Mathematisieren in Physik liegt mir nicht besonders.“* ist ein kleinerer Ausreißer nach unten mit .60. Noch etwas niedriger ist die Trennschärfe beim Item matsk.3 *„Ich bin für Mathe begabt.“* mit .57 – erklären lässt sich dies dadurch, dass das Item inhaltlich in eine etwas andere Richtung (Begabung) geht als der Rest der Items. Um einen parallelen Aufbau der Items von [physk] und [matsk] zu gewährleisten, wird dies jedoch in Kauf genommen. Zudem trägt dieses Item auch zu dem hohen Reliabilitätswert von  $\alpha = .86$  bei. Die Faktorenanalyse ergab eindeutig Eindimensionalität.

**4.3.2.2.3. Selbstkonzept Problemlösen in der Mechanik (allgemein) [aplsk]** Für das allgemeine Problemlösen in der Mechanik zeigen die Items eine zufriedenstellende Trennschärfe, vier der fünf liegen über .60. Einzig das Item aplsk.3 *„Ich halte meine problemlösebezogenen Fähigkeiten für ausgeprägt.“* liegt darunter, was sich wahrscheinlich durch die etwas ungewöhnliche Formulierung erklären lässt. Cronbachs-Alpha liegt für diese Skala bei guten .84. Die Faktorenanalyse ergab Eindimensionalität.

**4.3.2.2.4. In Bezug auf die Problemlöserepräsentation [replsk]** Beim Selbstkonzept in Bezug auf die Problemlöserepräsentation müssen nach der Überprüfung Items entfernt werden. Das Item replsk.7 *„Es bereitet*



#### 4. Anlage der Untersuchung

*mir Schwierigkeiten, mit meinem Wissen ein unbekanntes Problem adäquat physikalisch zu beschreiben.*“ besitzt mit .46 eine niedrige Trennschärfe trotz hoher Streuung, möglicherweise aufgrund des etwas verschachtelten und negativen Aufbaus des Items. Eine noch niedrigere Trennschärfe weist das Item replsk.8 *„Ob ich den Inhalt eines Problems erkenne, hängt sehr von der jeweiligen Situation ab.“* mit .35 auf. Inhaltlich ist dieses Item problematisch, da es sich zwar auf die Items zur allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung stützt, jedoch eine unpassende „Situations/Glücks“-Komponente enthält. Die anderen Items weisen hohe Trennschärfen von  $>.60$  auf. Entfernt man die Items replsk.7 und replsk.8 steigt die Reliabilität der Skala von  $\alpha = .85$  auf .87. Neben den inhaltlichen Aspekten ist das der Grund, weswegen diese beiden Items für die Auswertung aus der Skala entfernt werden. Die Faktorenanalyse ergab Eindimensionalität.

**4.3.2.2.5. In Bezug auf den Lösungsweg [lwplsk]** In Bezug auf den Lösungsweg war wiederum ein Item vorhanden, das eine „Situations - /Glücks“ - Komponente enthielt. Auch beim Item lwplsk.8 *„Um einen richtigen Lösungsweg auszuwählen/ zu finden, muss man manchmal einfach Glück haben.“* ergab sich vermutlich deswegen eine niedrige Trennschärfe von ungefähr .3. Entfernt man lwplsk.8, so steigt, die Reliabilität von  $\alpha = .77$  auf .79, zudem vermeidet man die inhaltlichen Probleme. Deshalb wird dieses Item für die Auswertung nicht beachtet werden. Die übrigen Items liefern Trennschärfen von über .50 und sind deswegen zufriedenstellend. Die Faktorenanalyse deutet darauf hin, dass es sich bei der Skala zum Lösungsweg nicht um ein eindimensionales Konstrukt handelt, sondern dass zwei Komponenten enthalten sind. Vergleicht man die statistisch gefundenen Komponenten mit dem Inhalt, so lassen sich die Items in die Gruppen „Rückgriff auf vorhandene Lösungsansätze“ (z.B. lwplsk.2 *„Ich brauche wenigstens eine vorgegebene Skizze für ein Problem, um daraus einen Lösungsweg zu erarbeiten.“*) und „eigene Entwicklung von Lösungsansätzen“ (z.B. lwplsk.1 *„Ich kann einen Lösungsweg selbstständig erarbeiten.“*) teilen. Diese Zweidimensionalität steht jedoch im Einklang mit der

Charakterisierung dieser Phase des Problemlöseprozesses, weswegen alle Items trotzdem zu einer Skala zusammengefasst werden.

**4.3.2.2.6. In Bezug auf die Lösung [löplsk]** Beim Selbstkonzept in Bezug auf die Erarbeitung einer Lösung zeigen die Items zufriedenstellende Trennschärfen über .40, bis auf das Item löplsk.3 "*Die Vorgabe von Lösungsschritten hilft mir, ein physikalisches Problem zu lösen.*", das eine Trennschärfe von unter .3 aufweist. Dieses Item ist - nachträglich betrachtet - nicht sehr sinnvoll, da es eine allgemein gültige Aussage ist: Vorgegebene Lösungsschritte helfen natürlich jedem. Deshalb wird dieses Item nicht in die Auswertung miteinfließen. Bei der Entfernung steigt Cronbachs-Alpha von .81 leicht auf .82. Auch bei dieser Skala deutet die Faktorenanalyse auf mehrere Dimensionen, nämlich drei, hin (Wissen über das Vorgehen (z.B. löplsk.1 *„Wenn ich den Lösungsweg kenne, kann ich die eigentliche Lösung gut durchführen.“*); Mathematische Probleme, die auftreten können (z.B. *„Ich kann mit mathematischen Anforderungen beim Lösen eines Problems gut umgehen.“*); benötigte Vorgaben (z.B. *„Ohne eine genaue Vorgabe der Lösungsschritte kann ich ein physikalisches Problem nicht lösen.“*)). Auf eine Unterscheidung wird jedoch verzichtet, da inhaltlich alle drei Komponenten zur Erarbeitung von Lösungen zusammengefasst werden können.

**4.3.2.2.7. In Bezug auf das Nachvollziehen von Lösungen [nvplsk]** Die Skala zum Nachvollziehen von Lösungen ist unproblematisch. Alle Items weisen eine Trennschärfe von über .50 auf, Cronbachs-Alpha liegt bei .87. Durch die Faktorenanalyse konnte auch eine Eindimensionalität festgestellt werden.

**4.3.2.2.8. Allgemeine Selbstwirksamkeitserwartung [aswe]** Die Items zur allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung sind bereits erprobte Items, weshalb die Analyse hier unproblematisch war. Die Trennschärfen aller Items liegen zufriedenstellend über .40, ein großer Anteil sogar über .50, was als hoch einzustufen ist. Die Reliabilität der Skala liegt bei .85, was ebenfalls sehr gut ist. Bei der Überprüfung auf Eindimensionalität zeigt

#### 4. Anlage der Untersuchung

sich, dass - wider Erwarten - zwei Dimensionen gefunden werden können. Die gefundenen Dimensionen lassen sich jedoch gut mit der Definition der allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung erklären, da schon diese Definition zwei Komponenten (neue Aufgaben (z.B. aswe.4 „*In unerwarteten Situationen weiß ich immer, wie ich mich verhalten soll.*“) und schwierige Aufgaben (z.B. aswe.2 „*Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.*“)) enthält. Die gefundenen Dimensionen decken sich mit den aus den Formulierungen der Items hervorgehenden Erwartungen und werden als unproblematisch angesehen.

**4.3.2.2.9. Die Prüfung der Skaleneinteilung** Um zu überprüfen, ob die eingeteilten Skalen zu den Phasen des Problemlösens [repsk], [lwplsk], [löplsk], [nvplsk] auch statistisch aus den Daten extrahiert werden können, wurde mit allen Items eine explorative Faktorenanalyse durchgeführt. Diese lieferte als Ergebnis vier Faktoren, deren Ladungen genau zu den oben beschriebenen Skalen passen (s.h. Anhang A.3), weshalb die gewählte Skalenstruktur als angemessen angesehen wird.

**4.3.2.2.10. Die Prüfung des Zusammenhangs zur allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung** Zwischen den Skalen zum Selbstkonzept zeigen sich vielfältige Korrelationen, was in der hierarchischen Natur des Konstrukts begründet liegt (s.h. Kapitel 2.7.3).

Die Skala zur allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung (aswe) korreliert mittel (.38 bis .53) mit allen anderen Skalen zum Selbstkonzept (s.h. Tabelle 4.15). Dies wird als Bestätigung dafür gesehen, dass die entwickelten Items auch tatsächlich Formen des Selbstkonzepts messen. Für weitere Untersuchungen kann deshalb auf den Einsatz der Skala verzichtet werden.

**4.3.2.2.11. Die Prüfung des „Selbstkonzept“ als geeignete Prädiktorvariable** Über die Mittelwerte der verschiedenen Skalen zum Selbstkonzept wurde jede Person der Stichprobe einer Klasse des Selbstkonzepts („niedriges SK“, „mittleres SK“ und „hohes SK“) zugeteilt. Die Klasseneinteilung wurde mit Hilfe einer latenten Klassenanalyse ermittelt, was

|      |                | physk       | matsk       | aplsk       |             |  |
|------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| aswe | $r$            | 0.44        | 0.38        | 0.53        |             |  |
|      | $p$ (2-seitig) | .001        | .005        | .000        |             |  |
|      | 95% KI         | [0.24;0.64] | [0.08;0.63] | [0.34;0.68] |             |  |
|      |                | replsk      | lwplsk      | löplsk      | nvplsk      |  |
|      | $r$            | 0.46        | 0.44        | 0.45        | 0.48        |  |
|      | $p$ (2-seitig) | .000        | .001        | .001        | .000        |  |
|      | 95% KI         | [0.27;0.62] | [0.21;0.65] | [0.19;0.66] | [0.22;0.66] |  |

Tabelle 4.15.: Korrelation ASWE mit den Skalen zum Selbstkonzept

anhand der Daten der Hauptstudie in Kapitel 5.5 genauer vorgestellt wird (vgl. auch Brandenburger & Mikelskis-Seifert, 2013).

Es wurde mit Hilfe einer ANOVA berechnet, ob sich die erreichten Punktzahlen zwischen den Klassen des Selbstkonzepts voneinander unterscheiden. Die ANOVA liefert zwar lediglich für die Lösung und die Gesamtpunktzahl signifikante Unterschiede zwischen den Klassen des Selbstkonzept, jedoch wird bei den anderen Vergleichen die gängige Signifikanzgrenze von .05 nur knapp überschritten und es können bei allen betrachteten Phasen mittlere Effekte beobachtet werden.

Trägt man alle  $z$ -transformierten Mittelwerte der Punkte graphisch auf (Abbildung 4.9), so erkennt man leichter, dass durch die Klassen des Selbstkonzepts, zumindest zwischen dem niedrigen und mittleren bzw. hohen Selbstkonzept eine Trennung nach Punktzahl erreicht wird. Auch wenn diese Unterschiede im Rahmen der Pilotierung (u.a. infolge der kleineren Stichprobengröße) noch nicht signifikant werden, wird hierdurch die Vermutung, dass das Selbstkonzept eine geeignete Prädiktorvariable für den Erfolg beim Problemlösen ist, bestätigt.

**4.3.2.2.12. Zusammenfassung der Skalen zum Selbstkonzept (Pilotierung)** Zusammengefasst ergab die Überprüfung der Items die folgenden acht Skalen zum Selbstkonzept (s.h. Tabelle 4.16).

Die Reliabilitäten der Skalen zum Selbstkonzept sind sehr zufriedenstellend ( $\alpha \geq .79$ ). Die Mittelwerte der Skalen ergaben eine überwiegend

#### 4. Anlage der Untersuchung

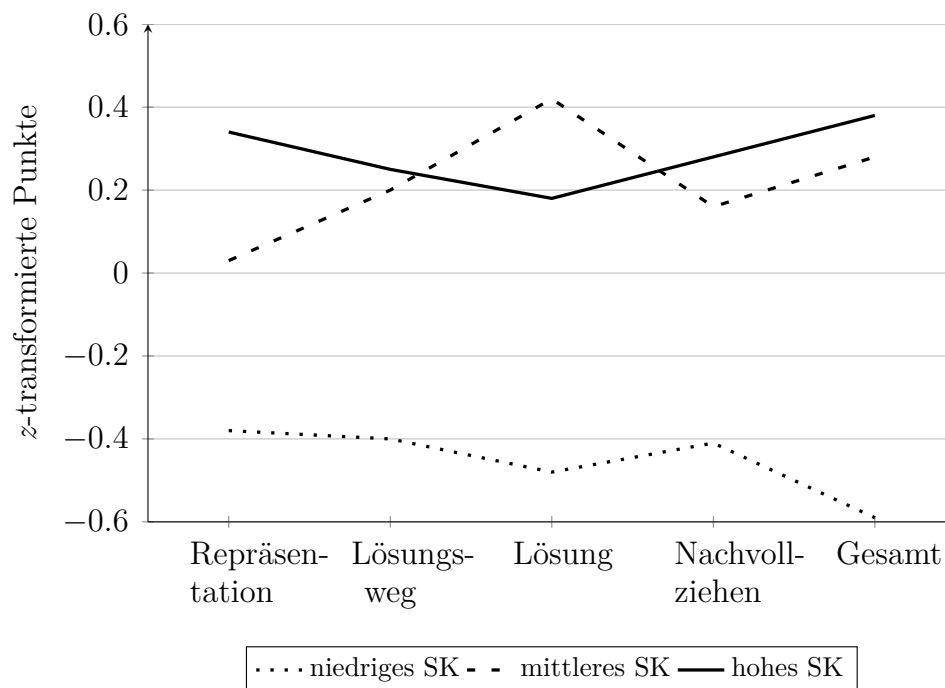


Abbildung 4.9.: Ergebnisse des Problemlösetest getrennt nach den verschiedenen Klassen des Selbstkonzepts (Pilotierung)

| Skala                       | Cronbachs $\alpha$ | Mittelwert | <i>SD</i> | KS-Test |
|-----------------------------|--------------------|------------|-----------|---------|
| SK Physik (5 Items)         | .91                | 2.95       | 0.63      | .00     |
| SK Mathe (5 Items)          | .86                | 3.12       | 0.55      | .00     |
| SK Problemlösen (5 Items)   | .84                | 2.88       | 0.48      | .00     |
| SK Repräsentation (6 Items) | .87                | 2.76       | 0.49      | .20     |
| SK Lösungsweg (7 Items)     | .79                | 2.67       | 0.41      | .05     |
| SK Lösung (8 Items)         | .82                | 3.19       | 0.43      | .20     |
| SK Nachvollziehen (6 Items) | .87                | 3.12       | 0.51      | .00     |
| ASWE (10 Items)             | .85                | 2.88       | 0.42      | .05     |

$N = 55$

Tabelle 4.16.: Skalen zum Selbstkonzept (Pilotierung)

positive Selbsteinschätzung der Studierenden. Für die einzelnen Phasen des Problemlösens schätzen sich die Studierenden bei der Repräsentation des Problems und dem Finden eines Lösungswegs (2.76 / 2.67) jedoch deutlich schlechter ein, als beim eigentlichen Lösen und Nachvollziehen von Lösungen (3.19 / 3.12). Dies wurde als erster Hinweis aufgefasst, dass das Finden einer Problemrepräsentation und die Ausarbeitung eines Lösungswegs von den Studierenden als schwieriger empfunden werden. Zur Prüfung der Normalverteilung der Skalen wird der Kolmogorov-Smirnov Test gewählt<sup>4</sup>. Werte kleiner als .05 bedeuten eine signifikante Abweichung der Verteilung von der Normalverteilung. Eine optische Prüfung der Q-Q-Diagramme legt jedoch auch für die als signifikant abweichend markierten Skalen eine näherungsweise Normalverteilung nahe. Die Items haben sich somit im Rahmen der Pilotierung als praktikabel erwiesen und wurden in der Hauptstudie erneut eingesetzt. Zudem lassen Gruppenvergleiche der in der Pilotierung erreichten Punkte im Problemlösetest nach den Klassen des Selbstkonzepts den Schluss zu, dass es sich beim Selbstkonzept um eine geeignete Größe zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen handelt.

---

<sup>4</sup>Dieser Test ist, im Gegensatz zum Shapiro-Wilk Test, weniger empfindlich für Abweichungen von der Normalverteilung (vgl. Field, 2013).

### 4.3.2.3. Überprüfung der Skalen zum Selbstkonzept (Hauptstudie)

Mit den Daten der Hauptstudie wurden die Skalen erneut auf ihre Reliabilität und die Trennschärfe der einzelnen Items geprüft. Die zufriedenstellenden Reliabilitäten sind in Tabelle 4.17 zusammengefasst. Eine vollständige Darstellung der Reliabilitätsanalysen befindet sich im Anhang A.3.2. Dort sind auch die angemessenen Trennschärfen (alle über .3) aufgelistet.

| Skala                       | Cronbachs $\alpha$ | Mittelwert | <i>SD</i> | KS-Test |
|-----------------------------|--------------------|------------|-----------|---------|
| SK Physik (5 Items)         | .83                | 2.86       | 0.53      | .00     |
| SK Mathe (5 Items)          | .85                | 2.94       | 0.56      | .00     |
| SK Problemlösen (5 Items)   | .83                | 2.70       | 0.50      | .00     |
| SK Repräsentation (6 Items) | .86                | 2.77       | 0,52      | .00     |
| SK Lösungsweg (7 Items)     | .85                | 2.62       | 0.53      | .03     |
| SK Lösung (8 Items)         | .71                | 3.18       | 0.47      | .01     |
| SK Nachvollziehen (6 Items) | .87                | 3.14       | 0.55      | .00     |

$N = 128$

Tabelle 4.17.: Skalen zum Selbstkonzept (Hauptstudie)

Die Reliabilitäten unterscheiden sich nicht wesentlich von denen aus der Pilotierung – ein Absinken ist jedoch insbesondere bei der Skala [löplsk] zu beobachten, was sich dadurch erklären lässt, dass die Faktorenanalyse einer Eindimensionalität dieser Skala eher widerspricht. Nochmalige Faktorenanalysen mit den Daten der Hauptstudie liefern zur Prüfung der Skaleneinteilung die gleichen Ergebnisse wie bei der Pilotierung, was die Anzahl der Dimensionen der einzelnen Skalen und die Einteilung der Skalen zu den Phasen des Problemlösens betrifft (Tabellen s.h. Anhang A.3.3).

Die Mittelwerte der Skalen decken sich mit denen aus der Pilotierung. Die Studierenden schätzen sich überwiegend positiv ein. Für die einzelnen Phasen des Problemlösens geben die Studierenden jedoch wiederum bei der Repräsentation des Problems und beim Finden eines Lösungswegs (2.77 / 2.62) schlechtere Selbsteinschätzungen an, als beim eigentlichen Lösen und Nachvollziehen von Lösungen (3.18 / 3.14). Die Zahlen stimmen mit denen

aus der Pilotierung überein und bestätigen die Annahme, dass verschiedene Phasen des Problemlösens unterschiedlich schwer eingeschätzt werden.

Zur Prüfung der Normalverteilung der Skalen wird wieder der Kolmogorov-Smirnov-Test gewählt. Werte kleiner als .05 bedeuten eine signifikante Abweichung der Verteilung von der Normalverteilung, die hier bei allen Skalen gegeben ist. Der Test ist allerdings (insbesondere, wenn wie hier, die Fallzahlen größer werden) empfindlich, was Abweichungen von der Normalverteilung betrifft (vgl. Field (2013)). Eine optische Prüfung der Q-Q-Diagramme lässt jedoch den Schluss zu, dass auch die als abweichend markierten Skalen eine näherungsweise Normalverteilung besitzen, weshalb diese angenommen werden und für weitere Auswertungen auf parametrische Test zurückgegriffen wird; zudem werden bei allen Auswertungen die robusten Bootstrap Konfidenzintervalle angegeben.



### 4.3.3. Skalen zur Erhebung der Beliebtheit von Tätigkeiten

Neben dem Selbstkonzept wird das Interesse als ein weiterer Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen angenommen. Wie in Kapitel 2.7.4 diskutiert, kann das Interesse in verschiedenen Dimensionen erhoben werden. Es wurde für diese Arbeit das Interesse in Form der Beliebtheit von Tätigkeiten ausgewählt, da durch die positiven Rückkopplungseffekte bei größerem Interesse an Tätigkeiten in der Physik ein größerer Erfolg beim Problemlösen erwartet wird.

Für die Erhebung der Beliebtheit von Tätigkeiten wurden 13 Items zusammengestellt, die mit einer vierstufigen Likert-Skala (von (1) *make ich gar nicht gerne* bis (4) *make ich sehr gerne*) beantwortet werden. Im Folgenden werden die Items vorgestellt und ihre statistische Überprüfung und Skalenbildung dargelegt.

#### 4.3.3.1. Vorstellung der Items zur Beliebtheit von Tätigkeiten

Zur Erhebung der Beliebtheit von Tätigkeiten als eine Form des Interesses wurden Items ausgewählt, die grundlegend die Frage beantworten sollen „Was mache ich gerne in Physik?“. Im Wesentlichen basieren die Items auf Krey & Mikelskis (2008) (gekennzeichnet durch „MT“), welche auf Liebers (1983) zurückgehen. Sie wurden durch weitere eigene Items ergänzt. In der (Tabelle 4.18 sind die Items aufgelistet. Sowohl im Rahmen der Pilotierung als auch in der Hauptstudie wurden die Items einer Faktorenanalyse unterzogen, die jeweils drei Faktoren identifizieren konnte, jedoch mit leicht unterschiedlicher Zuordnung der Items. In den folgenden zwei Kapiteln werden die Skalen und die Zuteilung der Items in der Hauptstudie vorgestellt.

---

|       |                                                                                                               |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| bl.1  | Definieren physikalischer Größen mit Hilfe mathematischer Gleichungen. (MT1)                                  |
| bl.2  | Aufstellen von physikalischen Gleichungen zur Beschreibung von physikalischen Annahmen und Bedingungen. (MT4) |
| bl.3  | Theoretisches Herleiten physikalischer Gesetze. (MT5)                                                         |
| bl.4  | Erklären oder Vorhersagen physikalischer Vorgänge durch Interpretieren von Gleichungen. (MT6)                 |
| bl.5  | Auswerten von Messwerten mit Hilfe von Formeln. (MT3)                                                         |
| bl.6  | Erklären oder Vorhersagen physikalischer Vorgänge durch Interpretieren von Diagrammen. (MT7)                  |
| bl.7  | Berechnen von physikalischen Größen. (MT8)                                                                    |
| bl.8  | Erfassen von Messwerten in Tabellen und deren grafische Darstellung. (MT2)                                    |
| bl.9  | Verifizierung von Gesetzen durch aufgenommene Messwerte.                                                      |
| bl.10 | Ableiten von Gesetzen aus Messergebnissen.                                                                    |
| bl.11 | Konzeption von Experimenten.                                                                                  |
| bl.12 | Aufbauen von Experimenten.                                                                                    |
| bl.13 | Durchführen von Experimenten.                                                                                 |

---

Tabelle 4.18.: Items zur Beliebtheit von Tätigkeiten (Interesse)

##### 4.3.3.2. Einteilung der Skalen zur Beliebtheit (Pilotierung)

Um eine Struktur innerhalb der Items zu finden, wurde zunächst eine Faktorenanalyse (Hauptkomponentenanalyse) durchgeführt, welche nach KMO und Bartlett-Test für die Stichprobengröße geeignet ist. Aus dem Screeplot und inhaltlichen Überlegungen konnten drei Skalen extrahiert werden, die im Folgenden vorgestellt werden.

Die erste Skala wurde unter dem Begriff „Theoretiker“ zusammengefasst. Sie beinhaltet Items, die theoretisches Arbeiten (Definieren, Herleiten, Erklären) beinhalten, z.B. bl.1 *„Definieren physikalischer Größen mit Hilfe mathematischer Gleichungen.“*. Die Reliabilität von .79 ist zufriedenstellend, die Trennschärfen liegen über .48.

Experimentelle Tätigkeiten werden in der Skala „Praktiker“ zusammengefasst. Die Reliabilität liegt bei .85. Suboptimal bei dieser Skala ist, dass sie nur aus drei – sehr eindeutigen – Items besteht. Hierdurch werden jedoch auch sehr gute Trennschärfen (über .66) erreicht. Ein Beispielitem ist bl.11 *„Konzeption von Experimenten.“*.

Die dritte Skala steht im Schnittbereich des Theoretikers und des Praktikers und bezieht sich auf rechnerische und bestätigende Tätigkeiten. Ein Beispielitem ist bl.5 *„Auswerten von Messwerten mit Hilfe von Formeln.“*. Die Reliabilität beträgt .75, die Trennschärfen der Items liegen über .40.

Wie bereits bei den Skalen zum Selbstkonzept, werden die gefundenen Skalen zur Beliebtheit von Tätigkeiten mit einer latenten Klassenanalyse untersucht, die mit den Daten der Hauptstudie in Kapitel 5.6 genauer vorgestellt wird. Es konnten zwei Klassen der Beliebtheit gefunden werden: physikalische Tätigkeiten sind beliebt und physikalische Tätigkeiten sind unbeliebt. Um zu prüfen, ob „Interesse“ in Form der Beliebtheit von Tätigkeiten eine geeignete Variable zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen ist, wurden die Ergebnisse des Problemlösetests nach verschiedenen Klassen der Beliebtheit einander gegenübergestellt. Vergleicht man die  $z$ -transformierten Punktzahlen der beiden Gruppen mit Hilfe eines  $t$ -Tests in den verschiedenen Phasen des Problemlösens miteinander, erhält

man zwar keine signifikanten Unterschiede, es zeigen sich aber (außer beim Nachvollziehen) kleine bis mittlere Effekte.

Trägt man die  $z$ -transformierten Mittelwerte der Punkte auf (s.h. Abbildung 4.10), so erkennt man leichter, dass durch die Klassen der Beliebtheit eine Trennung nach Punktzahl erreicht wird. Auch wenn diese Unterschiede im Rahmen der Pilotierung (u.a. infolge der kleineren Stichprobe) noch nicht signifikant werden, wird die Vermutung, dass das Interesse in Form der Beliebtheit von Tätigkeiten eine geeignete Prädiktorvariable für den Erfolg beim Problemlösen ist, bestätigt.

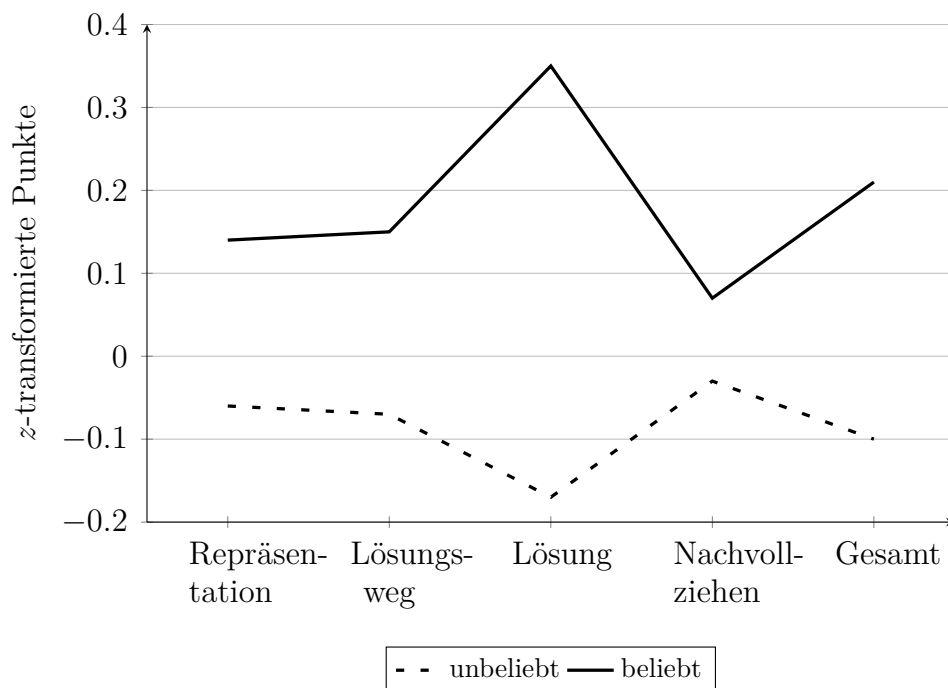


Abbildung 4.10.: Ergebnisse des Problemlösetests getrennt nach den Klassen der Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten (Pilotierung)

#### 4. Anlage der Untersuchung

Zusammengefasst ergab die Überprüfung der Items die folgenden drei Skalen zur Beliebtheit von Tätigkeiten.

|                       | <b>Cronbachs <math>\alpha</math></b> | <b>Mittelwert</b> | <b><i>SD</i></b> | <b>KS-Test</b> |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Theoretiker (4 Items) | .79                                  | 2.63              | 0.67             | .05            |
| Praktiker (3 Items)   | .85                                  | 3.14              | 0.74             | .00            |
| Rechner (6 Items)     | .75                                  | 2.84              | 0.53             | .07            |

$N = 55$

Tabelle 4.19.: Skalen zur Beliebtheit von Tätigkeiten (Pilotierung)

Die Reliabilitäten der Skalen zur Beliebtheit von Tätigkeiten sind in der Pilotierung etwas geringer als die zum Selbstkonzept im vorangegangenen Kapitel ( $\alpha \geq .75$ ), jedoch war dies aufgrund der weniger homogenen Konstruktion der Items zu erwarten. Die Mittelwerte der Skalen ergeben, dass praktische Tätigkeiten bei den Studierenden am beliebtesten sind (3.14), gefolgt vom Rechnen (2.84) und theoretischen Überlegungen (2.63). Zur Prüfung der Normalverteilung der Skalen wird wieder der Kolmogorov-Smirnov-Test gewählt, der eine Normalverteilung nur für die Skalen „Theoretiker“ und „Rechner“ bestätigt. Jedoch erlaubt auch hier eine optische Prüfung der Q-Q-Diagramme die Annahme einer Normalverteilung der Skala „Praktiker“ für weitere statistische Verfahren. Die Items haben sich somit im Rahmen der Pilotierung als praktikabel erwiesen und wurden in der Hauptstudie erneut eingesetzt.

##### 4.3.3.3. Einteilung der Skalen zur Beliebtheit (Hauptstudie)

Mit den Daten der Hauptstudie wurde die gefundene Skalenstruktur mit einer Faktorenanalyse (Hauptkomponentenanalyse) überprüft. KMO und Bartlett-Test zeigen eine Eignung der Stichprobengröße. Die gefundene Faktorenanzahl von drei aus der Pilotierung, die sich inhaltlich wie in dieser beschreiben lassen (Theoretiker, Praktiker und Rechner) wurde für die Hauptstudie übernommen. Jedoch lagen nun einzelne Items auf anderen Faktoren, weshalb die Zuordnung der Items zu den einzelnen Skalen leicht angepasst werden musste (s.h. Tabelle 4.20). Die Skalen „Theoretiker“ und

„Rechner“ sind in ihren Tätigkeitsfeldern inhaltlich jetzt besser voneinander abgegrenzt. Die Trennschärfen der Items (zwischen .29 und .66) und die Reliabilitäten der Skalen (zwischen .64 und .73) sind etwas schlechter als bei der Pilotierung (Reliabilitätsanalyse).

---

**Skala „Theoretiker“**

- bl.2 Aufstellen von physikalischen Gleichungen zur Beschreibung von physikalischen Annahmen und Bedingungen.
  - bl.3 Theoretisches Herleiten physikalischer Gesetze.
  - bl.6 Erklären oder Vorhersagen physikalischer Vorgänge durch Interpretieren von Diagrammen.
  - bl.9 Verifizierung von Gesetzen durch aufgenommene Messwerte.
  - bl.10 Ableiten von Gesetzen aus Messergebnissen.
- 

**Skala „Rechner“**

- bl.1 Definieren physikalischer Größen mit Hilfe mathematischer Gleichungen.
  - bl.4 Erklären oder Vorhersagen physikalischer Vorgänge durch Interpretieren von Gleichungen.
  - bl.5 Auswerten von Messwerten mit Hilfe von Formeln.
  - bl.7 Berechnen von physikalischen Größen.
  - bl.8 Erfassen von Messwerten in Tabellen und deren grafische Darstellung.
- 

**Skala „Praktiker“**

- bl.11 Konzeption von Experimenten.
  - bl.12 Aufbauen von Experimenten.
  - bl.13 Durchführen von Experimenten.
- 

Tabelle 4.20.: Skalen Beliebtheit von Tätigkeiten (Hauptstudie)

Zusammengefasst ergaben sich im Rahmen der Hauptstudie aus den Items zur Beliebtheit von Tätigkeiten drei Skalen mit den folgenden Kennwerten (Tabelle 4.21).

|                       | <b>Cronbachs <math>\alpha</math></b> | <b>Mittelwert</b> | <b><i>SD</i></b> | <b>KS-Test</b> |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| Theoretiker (5 Items) | .64                                  | 2.83              | 0.51             | .01            |
| Praktiker (3 Items)   | .73                                  | 3.16              | 0.59             | .00            |
| Rechner (5 Items)     | .73                                  | 2.79              | 0.56             | .06            |

$N = 126$

Tabelle 4.21.: Skalen zur Beliebtheit von Tätigkeiten (Hauptstudie)

Die Reliabilitäten sind geringer als die zu den Skalen des Selbstkonzepts, jedoch noch in einem akzeptablen Bereich zwischen .64 und .73. Es bestätigen sich die Ergebnisse aus der Vorstudie, dass praktische Tätigkeiten bei

#### *4. Anlage der Untersuchung*

Studierenden am beliebtesten sind (3.16), gefolgt von den theoretischen (2.83) und rechnerischen Tätigkeiten (2.79), deren Beliebtheit eng beieinander liegt. Der Kolmogorov-Smirnov-Test weist darauf hin, dass lediglich die Skala „Rechner“ normalverteilt ist. Eine optische Prüfung der Q-Q-Diagramme lässt jedoch die Annahme der Normalverteilung auch für die beiden anderen Skalen zu.

#### 4.3.4. Fachwissen Mathematik

Aus der Expertiseforschung ist bekannt, dass vor allem das Fachwissen einen großen Einfluss auf den Erfolg beim Lösen domänenspezifischer Probleme hat (vgl. Kapitel 2.7). Einerseits ist dies im Kontext der hier vorgestellten Untersuchung natürlich das Fachwissen in Mechanik, dessen Erhebung im nächsten Kapitel vorgestellt wird. Darüber hinaus ist die Physik immer eng mit der Mathematik verbunden (vgl. Kapitel 2.7.1.2), weshalb vermutet wird, dass auch Kenntnisse der grundlegenden mathematischen Werkzeuge den Erfolg beim Problemlösen beeinflussen.

Zur Erhebung des mathematischen Fachwissens wurde eine Test entwickelt, der Items zu grundlegenden mathematischen Fähigkeiten enthält (aus den Bereichen Arithmetik, Geometrie, Funktionen, Vektoren, Differenzial- und Integralrechnung), die elementar für die Bearbeitung von physikalischen Problemen sind (vgl. auch Brandenburger et al., 2014).

Als Itempool zur Konstruktion eines Rasch-homogenen Tests wurde ein Eingangstest zu grundlegenden mathematischen Themen verwendet, der zwischen 2011 und 2013 im Rahmen der Einführungsveranstaltungen der Physik und einer speziellen Veranstaltung zur Mathematik für Physikstudierende an der Pädagogischen Hochschule Freiburg eingesetzt wurde. Die Inhalte des Tests orientieren sich an Basiskonzepten, die sich auf Schulniveau (s.h. Kapitel 2.7.1.2) befinden und das gängige Curriculum von Vorkursen in Mathematik für das Physikstudium (z.B. Weltner, 1975; Dertert, 2010; Erven et al., 2012) abdecken.

##### 4.3.4.1. Rasch-Skalierung (Pilotierung)

Es lagen 165 vollständige dichotome Datensätze über ursprünglich 33 Items vor. Da es sich – wie bereits beim Problemlösetest – um einen Leistungstest handelt, wurde zur Auswertung auf probabilistische Verfahren zurückgegriffen. Mit Hilfe von eindimensionalen Rasch-Analysen (durchgeführt mit winmira<sup>5</sup>) wurden 20 Items ausgewählt (Überblick s.h. Tabelle 4.22; eine vollständige Darstellung der Items findet sich im Anhang B), die sowohl

---

<sup>5</sup>Da die Datensätze beim Fachwissen in Mathematik und Mechanik keine fehlenden Daten im Ausmaß des Problemlösetests enthalten, konnte auf winmira als Auswertungssoftware zurückgegriffen werden.



#### 4. Anlage der Untersuchung

inhaltlich eine sinnvolle Einheit bilden, als auch zusammen die Vorgaben an ein Rasch-Modell erfüllen, wie im Folgenden dargelegt wird.

|                                                   |          |                                            |
|---------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------|
| <b>Arithmetik</b>                                 | ARITH_01 | Potenzgesetze anwenden                     |
|                                                   | ARITH_04 | Quadratische Gleichung lösen               |
| <b>Geometrie<br/>und<br/>Trigonometrie</b>        | GEO_06   | Wechselwinkel/Stufenwinkel erkennen        |
|                                                   | GEO_07   | Wechselwinkel/Stufenwinkel erkennen        |
|                                                   | GEO_09   | Satz des Pythagoras anwenden               |
|                                                   | GEO_10   | Einfache trigonometrische Berechnung       |
| <b>Funktionen</b>                                 | FKT_14   | Sinus als Funktionsgraph erkennen          |
|                                                   | FKT_15   | Wurzelfunktion als Funktionsgraph erkennen |
|                                                   | FKT_16   | Logarithmus als Funktionsgraph erkennen    |
|                                                   | FKT_17   | $e^{-x}$ als Funktionsgraph erkennen       |
| <b>Vektoren</b>                                   | VEK_19   | Vektor (+/+) einzeichnen                   |
|                                                   | VEK_20   | Vektor (-/+) einzeichnen                   |
|                                                   | VEK_21   | Vektor (-/-) einzeichnen                   |
|                                                   | VEK_25   | Betrag eines 2-dim Vektors bestimmen       |
|                                                   | VEK_26   | Betrag eines 3-dim Vektors bestimmen       |
| <b>Differential-<br/>und<br/>Integralrechnung</b> | DIFF_27  | Polynom ableiten                           |
|                                                   | DIFF_28  | Ableitung $e^x$ bestimmen                  |
|                                                   | DIFF_30  | Ableitung nach der Kettenregel             |
|                                                   | DIFF_31  | Ableitung nach der Produktregel            |
|                                                   | DIFF_32  | Stammfunktion eines Polynoms finden        |

Tabelle 4.22.: Beschreibung der Items zum Fachwissen Mathematik

Um zu prüfen, ob die Daten unter dem gefundenen Modell passend sind (Modellgeltung), kann mit winmira ein Bootstrap-Test durchgeführt werden. Hierbei werden aus dem gefundenen Modell Datensätze erzeugt, die mit den tatsächlichen Daten verglichen werden, um so zu ermitteln, wie wahrscheinlich die tatsächlichen Daten unter dem gefundenen Modell sind. Der  $\chi^2$ -Test des Bootstraps liefert einen  $p$ -Wert von .06, was über dem kritischen Wert von .05 liegt. Somit kann die Nullhypothese, dass die Daten zum Modell passend sind, beibehalten werden, wodurch das gefundene Modell verwendet werden kann. Neben der globalen Modellgeltung werden im Folgenden die einzelnen Items noch genauer auf ihren Fit (Trennschärfe) und auf die Personenhomogenität überprüft.

Die Fit-Prüfung der einzelnen Items findet in winmira über die  $z$ -Verteilung der  $Q$ -Indexe statt. Diese stellen eine Art Trennschärfekoeffizient

---

Ein Vorteil von winmira, gegenüber von ConQuest, ist die Möglichkeit des Bootstraps zur Testung der Modellgeltung.

dar, der Rückschlüsse über die Steigung der Itemfunktion zulässt. Normalerweise liegen die Werte in einem Bereich zwischen 0.1 und 0.3 (vgl. Rost & Davier, 1994). Von Relevanz sind jedoch nicht die einzelnen  $Q$ -Indexe, sondern ihre Einheitlichkeit – sie dürfen nicht zu sehr voneinander abweichen<sup>6</sup>. Weicht ein  $Q$ -Index (einseitig) signifikant von den anderen ab ( $|z_Q| \geq 1.65$ ), sollte das Item überprüft und gegebenenfalls entfernt werden. Eine Auflistung der  $Q$ -Indexe der Items befindet sich im Anhang A.4. Alle Items besitzen einen  $Q$ -Index zwischen 0.09 und 0.24, was im Rahmen der normalen Werte liegt. Lediglich Item GEO\_09 weicht signifikant ab ( $z_Q = 1.78; p(z_Q) = .04$ ) – es ist etwas weniger trennscharf als die anderen Items. Da es sich hierbei nur um eine geringe Abweichung handelt und das Item zum Satz des Pythagoras aus inhaltlichen Gründen wichtig ist, wird es trotz der Abweichung nicht aussortiert.

Zur Prüfung der Personenhomogenität wird die Stichprobe über ein Mixed-Rasch-Modell in zwei maximal voneinander verschiedene Klassen (was die Personenfähigkeit betrifft) aufgeteilt, von denen für jede Teilstichprobe die Itemparameter berechnet werden. Die Itemparameter beider Teilstichproben werden dann dadurch verglichen, dass sie graphisch gegeneinander aufgetragen werden. Wenn alle Items für beide Teilstichproben gleich schwierig sind, so ist zu erwarten, dass alle Punkte auf der ersten Winkelhalbierenden liegen. Wie in Abbildung 4.11 zu sehen ist, ist dies für die verwendeten Items nicht vollständig der Fall. Neben den Ausreißern liegen die Punkte etwas unter der Winkelhalbierenden, was bedeutet, dass die Items für die Personen in Klasse 2 etwas leichter sind als für Personen in Klasse 1 – es sind also leichte Einflüsse der Population beobachtbar. Da der globale Test über das Bootstrapverfahren die Modellgeltung bereits bestätigt hat, beeinflussen diese Abweichungen die Geltung des Modells jedoch nicht.

Eine Auflistung der geschätzten Personenfähigkeiten nach erreichtem Score und Itemschwierigkeit, jeweils mit dem Standardschätzfehler SE, befindet sich in der Tabelle 4.23. Die Personenwerte haben ihren Mittelwert bei 0.12 und eine Standardabweichung von 1.54. Da die Itemwerte auf

---

<sup>6</sup>Eine gleiche Steigung der Itemfunktion ist eine Grundbedingung des Rasch-Modells.

#### 4. Anlage der Untersuchung

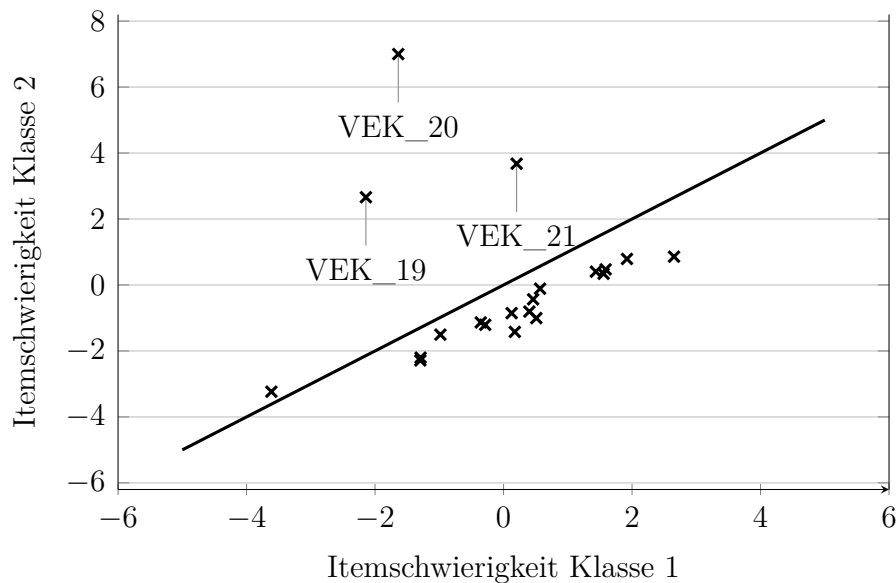


Abbildung 4.11.: Prüfung der Personenhomogenität beim Fachwissenstest Mathematik (Pilotierung)

0 summenorientiert sind, wäre bei einem perfekt angemessenen Test, der nicht zu leicht und nicht zu schwer für die entsprechende Stichprobe ist, ein Mittelwert von 0 zu erwarten – der Test ist somit für diese Stichprobe angemessen, was sich auch in der Verteilung der erreichten Punkte (s.h. Abbildung 4.12) zeigt.

Zur Schätzung der mittleren Reliabilität des Tests wird auf die Erwartungswertmethode nach Andrich zurückgegriffen. Interpretiert werden kann der Koeffizient analog zu Cronbachs  $\alpha$ , wobei dieses die Reliabilität eines Tests überschätzen würde (vgl. Rost, 2004). Die Reliabilität nach Andrichs beträgt für die Rasch-Skalierung der Pilotierung .83, was ein zufriedenstellender Wert ist.

Zusammengefasst zeigt sich durch die Rasch-Analyse, dass sich der erstellte Fachwissenstest Mathematik für einen Einsatz in der Hauptstudie eignet.

### 4.3. Beschreibung der Untersuchungsinstrumente

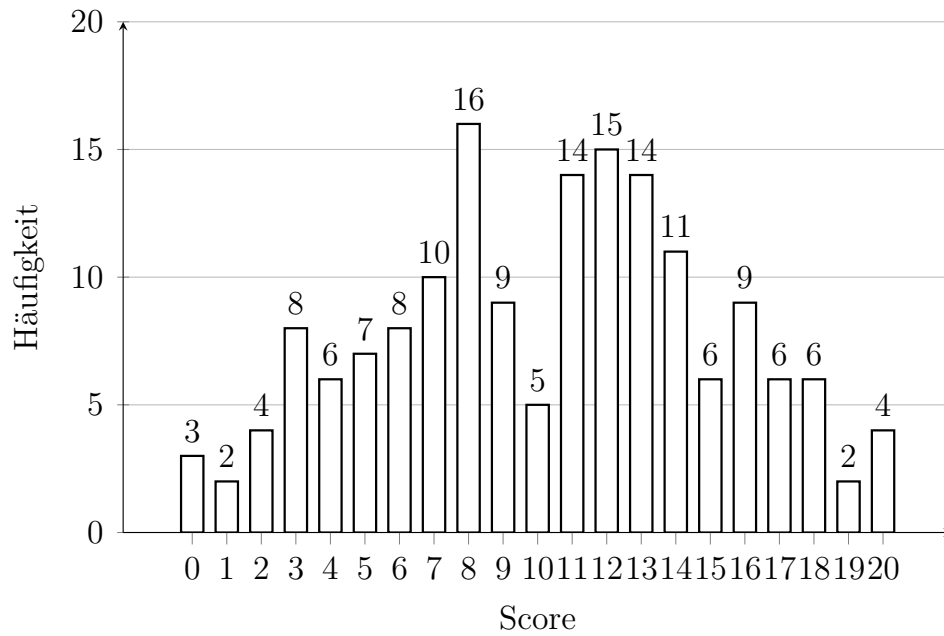


Abbildung 4.12.: Erreichte Scores beim Fachwissenstest Mathematik (Pilotierung)

| Personenfähigkeit |            |           | Itemschwierigkeit |            |           |
|-------------------|------------|-----------|-------------------|------------|-----------|
| Score             | <i>WLE</i> | <i>SE</i> | Item              | Itemparam. | <i>SE</i> |
| 0                 | -4.56      | 1.60      | FKT_14            | -2.95      | 0.32      |
| 1                 | -3.24      | 0.97      | GEO_07            | -1.59      | 0.22      |
| 2                 | -2.53      | 0.78      | GEO_06            | -1.54      | 0.22      |
| 3                 | -2.03      | 0.68      | GEO09             | -1.03      | 0.20      |
| 4                 | -1.63      | 0.62      | FKT_15            | -0.55      | 0.19      |
| 5                 | -1.29      | 0.58      | DIFF_27           | -0.55      | 0.19      |
| 6                 | -0.98      | 0.55      | FKT_17            | -0.42      | 0.19      |
| 7                 | -0.71      | 0.53      | ARITH_04          | -0.18      | 0.19      |
| 8                 | -0.45      | 0.51      | GEO_10            | -0.05      | 0.19      |
| 9                 | -0.20      | 0.51      | ARITH_01          | -0.01      | 0.19      |
| 10                | 0.05       | 0.50      | VEK_19            | 0.12       | 0.19      |
| 11                | 0.29       | 0.50      | FKT16             | 0.18       | 0.19      |
| 12                | 0.54       | 0.51      | DIFF_32           | 0.38       | 0.19      |
| 13                | 0.79       | 0.52      | VEK_20            | 0.41       | 0.19      |
| 14                | 1.05       | 0.53      | DIFF_28           | 1.06       | 0.20      |
| 15                | 1.34       | 0.56      | VEK_21            | 1.10       | 0.20      |
| 16                | 1.65       | 0.59      | VEK_26            | 1.10       | 0.20      |
| 17                | 2.01       | 0.64      | VEK_25            | 1.17       | 0.20      |
| 18                | 2.45       | 0.73      | DIFF_30           | 1.48       | 0.21      |
| 19                | 3.06       | 0.91      | DIFF_31           | 1.87       | 0.22      |
| 20                | 4.25       | 1.51      |                   |            |           |

Tabelle 4.23.: Personenfähigkeit und Itemschwierigkeit Fachwissen Mathematik (Pilotierung)

##### 4.3.4.2. Rasch-Skalierung (Hauptstudie)

In der Hauptstudie wurden die 20 Items aus der Pilotierung verwendet und die 130 Datensätze wiederum einer Rasch-Analyse mit winmira unterzogen.

Der Bootstrap Test zur Prüfung der Passung des Modells auf die Daten ergibt über den  $\chi^2$ -Test einen  $p$ -Wert von .53, was deutlich über dem kritischen Wert von .05 liegt. Hieraus folgt, dass auch in der Hauptstudie das gefundene Rasch-Modell die Daten adäquat beschreibt.

Die Fit-Prüfung der einzelnen Items ist unauffällig. Die Werte der  $Q$ -Indexe (s.h. Anhang A.4) liegen überwiegend im normalen Bereich und keiner weicht signifikant von den anderen ab.

Eine Prüfung der Personenhomogenität zeigt auch hier Schwierigkeiten mit einzelnen Items, da diese von einem Teil der Stichprobe als schwieriger empfunden werden (s.h. Abbildung 4.13). Da in der Pilotierung bereits Abweichungen mit der Personenhomogenität auftraten, ist es nicht verwunderlich, dass – im Vergleich zur Pilotierung – die Schwierigkeiten der Items nicht deckungsgleich sind. Dies zeigt sich auch bei einem Vergleich der Rangfolgen der Items über ihre Schwierigkeit mit dem Korrelationskoeffizienten Kendalls  $\tau = .37$  95% KI [0.03; 0.67],  $p = .023$ , was lediglich einer mittleren Korrelation entspricht. Bei besserer Übereinstimmung der Rangfolgen der Schwierigkeit wäre eine höhere Korrelation zu erwarten gewesen. Nichtsdestotrotz ist der Test global betrachtet passend für ein eindimensionales Rasch-Modell, was der  $\chi^2$  Test des Bootstraps gezeigt hat.

Eine Auflistung der Personenfähigkeiten nach erreichtem Score und Itemschwierigkeit befindet sich in Tabelle 4.24. Der Mittelwert der Personenparameter weicht von dem der Pilotierung ab; in der Hauptstudie liegt dieser bei 1.19 ( $SD = 1.62$ ), was zeigt, dass der eingesetzte Test für die Stichprobe der Hauptstudie zu leicht war. Dies zeigt sich auch in der Darstellung der erreichten Punkte (s.h. Tabelle 4.14).

Zur Schätzung der mittleren Reliabilität des Tests wird wieder auf die Erwartungswertmethode nach Andrich zurückgegriffen. Diese beträgt für

### 4.3. Beschreibung der Untersuchungsinstrumente

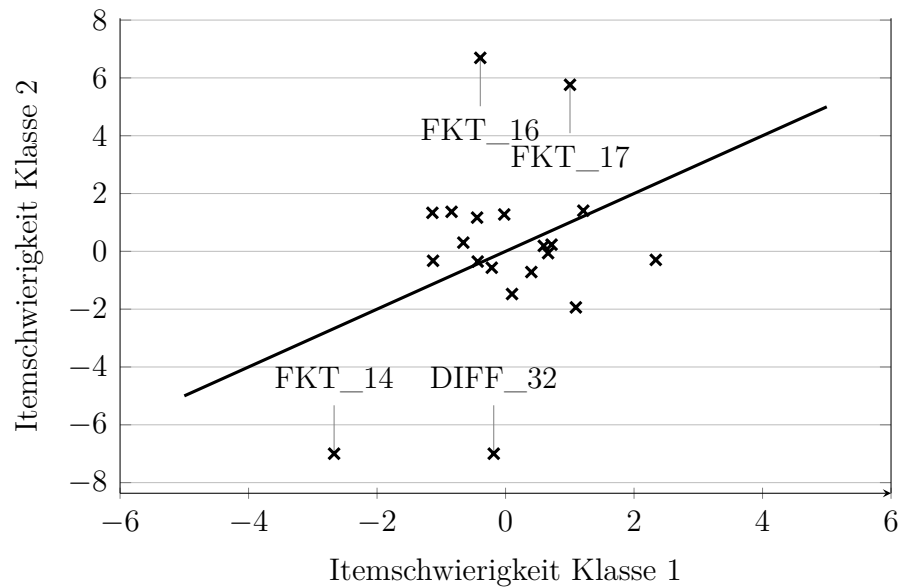


Abbildung 4.13.: Prüfung der Personenhomogenität beim Fachwissenstest Mathematik (Hauptstudie)

| Personenfähigkeit |       |      | Itemschwierigkeit |            |      |
|-------------------|-------|------|-------------------|------------|------|
| Score             | WLE   | SE   | Item              | Itemparam. | SE   |
| 0                 | -4.42 | 1.61 | FKT_14            | -2.89      | 0.54 |
| 1                 | -3.07 | 0.96 | VEK_19            | -1.01      | 0.29 |
| 2                 | -2.37 | 0.76 | DIFF_32           | -0.64      | 0.26 |
| 3                 | -1.89 | 0.66 | ARITH_01          | -0.52      | 0.26 |
| 4                 | -1.51 | 0.60 | VEK_20            | -0.52      | 0.26 |
| 5                 | -1.20 | 0.55 | GEO_06            | -0.45      | 0.25 |
| 6                 | -0.92 | 0.53 | GEO_09            | -0.39      | 0.25 |
| 7                 | -0.67 | 0.51 | DIFF_27           | -0.28      | 0.24 |
| 8                 | -0.43 | 0.49 | GEO_07            | -0.28      | 0.24 |
| 9                 | -0.20 | 0.49 | GEO_10            | -0.11      | 0.24 |
| 10                | 0.03  | 0.48 | FKT_17            | 0.04       | 0.23 |
| 11                | 0.25  | 0.49 | VEK_21            | 0.19       | 0.23 |
| 12                | 0.48  | 0.49 | ARITH_04          | 0.34       | 0.22 |
| 13                | 0.72  | 0.50 | VEK_25            | 0.34       | 0.22 |
| 14                | 0.97  | 0.52 | DIFF_28           | 0.43       | 0.22 |
| 15                | 1.24  | 0.55 | VEK_26            | 0.43       | 0.22 |
| 16                | 1.54  | 0.58 | DIFF_30           | 1.03       | 0.21 |
| 17                | 1.89  | 0.64 | FKT_15            | 1.07       | 0.21 |
| 18                | 2.33  | 0.73 | DIFF_31           | 1.36       | 0.21 |
| 19                | 2.94  | 0.91 | FKT_16            | 1.86       | 0.22 |
| 20                | 4.14  | 1.51 |                   |            |      |

Tabelle 4.24.: Personenfähigkeit und Itemschwierigkeit Fachwissen Mathematik (Hauptstudie)

#### 4. Anlage der Untersuchung

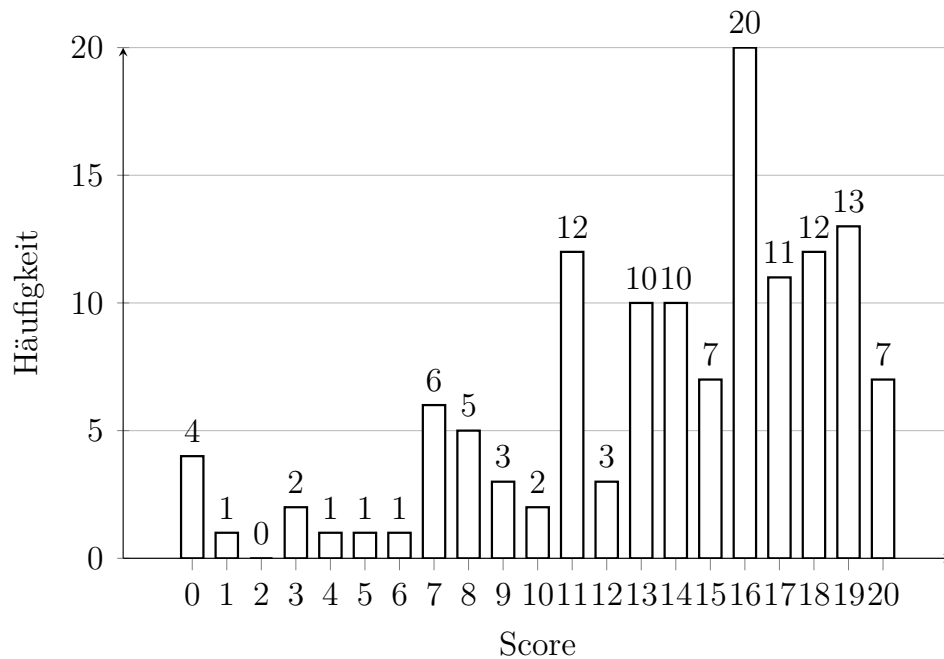


Abbildung 4.14.: Verteilung der erreichten Scores Fachwissenstest Mathematik (Hauptstudie)

die Rasch-Skalierung der Hauptstudie .87, was sogar noch etwas höher ist als der Wert aus der Pilotierung.

Eine Prüfung dahingehend, ob andere Modelle (z.B. Mixed-Rasch-Modelle) besser sind als das bereits gefundene, erübrigen sich nach Rost (2004), wenn der  $\chi^2$  Test gezeigt hat, dass das Modell auf die Daten passt. Wichtiger ist das „Brauchbarkeitskriterium“, das eine Aussage darüber macht, ob das Modell für den Zweck brauchbar ist. Da das eindimensionale Rasch-Modell sinnvoll als Messung der Leistung in Mathematik interpretiert werden kann, ist dieses den Mixed-Rasch Modellen vorzuziehen.

### 4.3.5. Fachwissen Physik

Die Inhalte des Problemlösetests beziehen sich auf die Mechanik, weshalb das Fachwissen in diesem Bereich als abschließender Prädiktor untersucht wird. Zur Erhebung des physikalischen Fachwissens wurde eine Test zusammengestellt, der Items zu grundlegendem Wissen in Mechanik enthält (Energie, Kinematik, grundlegende Konzepte). Dieses Wissen ist elementar für die Bearbeitung des Problemlösetests.

Im Rahmen einer kleineren Pilotierung (s.h. 4.2.2), wurden 18 Items für den Einsatz in der Hauptstudie ausgewählt, deren Inhalt und Herkunft in Tabelle 4.25 aufgelistet sind. Eine vollständige Darstellung des kompletten Tests befindet sich in Anhang B.

|                                  |        |                                                                 |
|----------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Energie</b>                   | mech05 | Begriff potenzielle Energie zuordnen                            |
|                                  | mech06 | Einheit Energie                                                 |
|                                  | mech08 | Anwendung Energieerhaltung <sup>A</sup>                         |
|                                  | mech09 | Formel kinetische Energie                                       |
| <b>Kinematik</b>                 | mech11 | $a(t)$ aus $v(t)$ -Diagramm bestimmen <sup>B</sup>              |
|                                  | mech13 | $v(t)$ aus $a(t)$ -Diagramm bestimmen <sup>B</sup>              |
|                                  | mech14 | $v(t)$ aus $s(t)$ bestimmen (Standard)                          |
|                                  | mech15 | $v(t)$ aus $s(t)$ bestimmen (nicht Standard)                    |
|                                  | mech16 | $v(t)$ aus $a(t)$ bestimmen (Standard)                          |
|                                  | mech17 | $v(t)$ aus $a(t)$ bestimmen (nicht Standard)                    |
| <b>Newtonsche Axiome / Kraft</b> | mech10 | Trägheit erklären                                               |
|                                  | mech12 | Aktion gleich Reaktion <sup>C</sup>                             |
|                                  | mech18 | Richtung der Kraft beim senkrechten Wurf nach oben <sup>C</sup> |
| <b>Verschiedene Konzepte</b>     | mech01 | Formelzeichen Leistung                                          |
|                                  | mech02 | Einheit Leistung                                                |
|                                  | mech03 | Formelzeichen Druck                                             |
|                                  | mech04 | Einheit Druck                                                   |
|                                  | mech07 | Definition Dichte                                               |

<sup>A</sup> ECI – Energy Concept Inventory (vgl. Swackhamer & Hestenes, 2005)

<sup>B</sup> KiL – Messung professioneller Kompetenzen in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen (s.h. IPN Kiel)

<sup>C</sup> FCI – Force Concept Inventory (vgl. Hestenes et al., 1992)

Tabelle 4.25.: Items Fachwissen Mechanik

Aus den Daten der Hauptstudie lagen 130 dichotome Datensätze der ursprünglich 18 Items vor. Mit Hilfe von eindimensionalen Rasch-Analysen



#### 4. Anlage der Untersuchung

(durchgeführt mit winmira) wurden davon 13 Items ausgewählt – die Items mech01 bis mech04 und mech07 werden nicht für die Auswertung verwendet. Die gewählten Items bilden inhaltlich eine sinnvolle Einheit und erfüllen zusammen die Vorgaben an ein Rasch-Modell, wie im Folgenden dargelegt wird.

Um zu prüfen, ob die Daten unter dem gefundenen Modell passend sind, wird mit winmira der Bootstrap Test durchgeführt. Der  $\chi^2$ -Test des Bootstraps liefert einen  $p$ -Wert von .11, was über dem kritischen Wert von .05 liegt. Hieraus ergibt sich, dass das über die 13 Items gefundene Rasch-Modell die Daten adäquat beschreibt.

Die Fit-Prüfung der einzelnen Items ist unauffällig (Auflistung s.h. Anhang A.4). Die  $Q$ -Indexe befinden sich überwiegend im normalen Bereich zwischen 0.1 und 0.3. Keines der Items weicht signifikant ab; der Betrag aller  $z_Q$  ist kleiner als 1.65.

Zur Prüfung der Personenhomogenität wird die Stichprobe, wie bereits beim Fachwissen Mathematik, über ein Mixed-Rasch Modell in zwei maximal voneinander verschiedene Klassen (was die Personenfähigkeit betrifft) aufgeteilt, von denen für jede Teilstichprobe die Itemparameter berechnet werden. Die Itemparameter beider Teilstichproben werden dann gemeinsam graphisch aufgetragen (s.h. Abbildung 4.15). Es zeigt sich, dass alle Items, bis auf zwei, in annehmbarer Nähe der ersten Winkelhalbierenden liegen, was für kleine Abweichungen von der Personenhomogenität spricht. Da der globale Test über das Bootstrapverfahren die Modellgeltung bereits bestätigt hat, beeinflussen diese Abweichungen die Geltung des Modells jedoch nicht.

Eine Auflistung der Personenfähigkeiten nach erreichtem Score und Itemschwierigkeit befindet sich in Abschnitt A.4. Die Personenwerte haben ihren Mittelwert bei 0.43 und eine Standardabweichung von 1.90. Der Test ist für diese Stichprobe etwas zu leicht, jedoch grundsätzlich angemessen, was sich auch in der Darstellung der erreichten Punkte (s.h. Abbildung 4.16) zeigt.

Zur Schätzung der mittleren Reliabilität des Tests wird, wie bereits beim Fachwissen Mathematik, auf die Erwartungswertmethode nach Andrich zu-

### 4.3. Beschreibung der Untersuchungsinstrumente

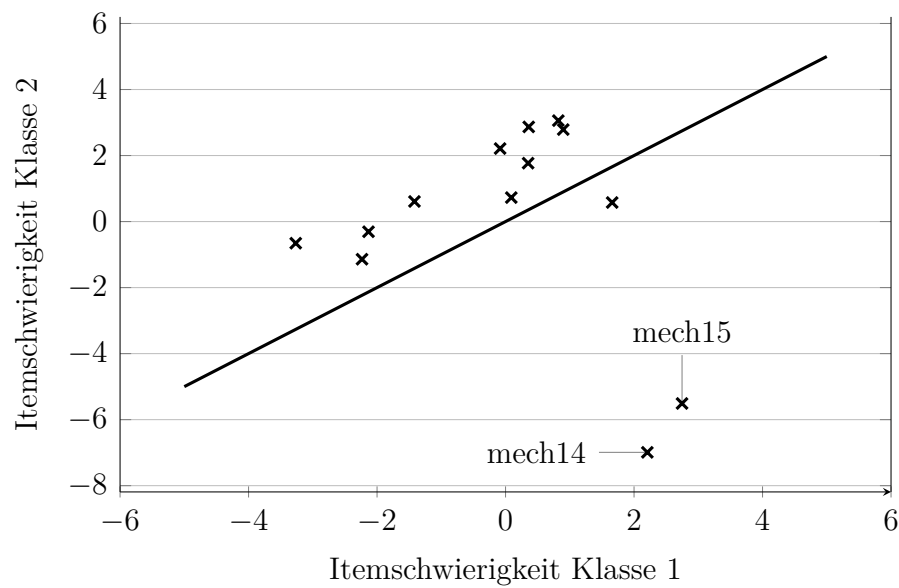


Abbildung 4.15.: Prüfung der Personenhomogenität beim Fachwissenstest Mechanik (Hauptstudie)

| Personenfähigkeit |            |           | Itemschwierigkeit |            |           |
|-------------------|------------|-----------|-------------------|------------|-----------|
| Score             | <i>WLE</i> | <i>SE</i> | Item              | Itemparam. | <i>SE</i> |
| 0                 | -4.35      | 1.65      | mech05            | -2.68      | 0.39      |
| 1                 | -2.98      | 1.04      | mech09            | -2.02      | 0.31      |
| 2                 | -2.17      | 0.87      | mech06            | -1.77      | 0.30      |
| 3                 | -1.53      | 0.78      | mech08            | -0.98      | 0.26      |
| 4                 | -0.97      | 0.72      | mech16            | 0.08       | 0.23      |
| 5                 | -0.48      | 0.68      | mech12            | 0.57       | 0.23      |
| 6                 | -0.05      | 0.66      | mech11            | 0.61       | 0.23      |
| 7                 | 0.35       | 0.64      | mech14            | 0.61       | 0.23      |
| 8                 | 0.73       | 0.64      | mech15            | 0.76       | 0.23      |
| 9                 | 1.12       | 0.66      | mech17            | 0.81       | 0.23      |
| 10                | 1.54       | 0.69      | mech13            | 1.14       | 0.23      |
| 11                | 2.02       | 0.77      | mech10            | 1.39       | 0.24      |
| 12                | 2.67       | 0.94      | mech18            | 1.49       | 0.24      |
| 13                | 3.90       | 1.54      |                   |            |           |

Tabelle 4.26.: Personenfähigkeit und Itemschwierigkeit Fachwissen Mechanik

#### 4. Anlage der Untersuchung

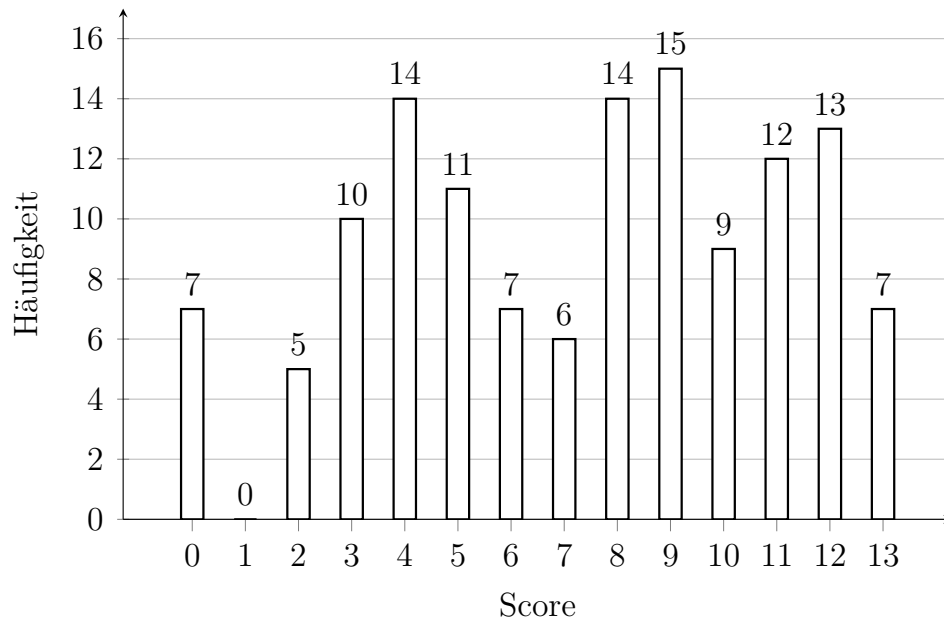


Abbildung 4.16.: Verteilung der erreichten Scores beim Fachwissenstest Mechanik (Hauptstudie)

rückgegriffen. Die Reliabilität beträgt für die Rasch-Skalierung der Hauptstudie zufriedenstellende .79.

Eine Prüfung dahingehend, ob andere Modelle (z.B. Mixed-Rasch Modelle) besser sind als das bereits gefundene, erübrigen sich, wie bereits beim Fachwissen Mathematik dargelegt, da der  $\chi^2$  Test bereits gezeigt hat, dass das Modell auf die Daten passt. Da das eindimensionale Rasch-Modell sinnvoll als Messung der Leistung in Mechanik interpretiert werden kann (Brauchbarkeitskriterium), ist dies den Mixed-Rasch Modellen vorzuziehen.

## 4.4. Zusammenfassung

Zur Aufstellung eines Modells, das den Erfolg beim Problemlösen über verschiedene Einflussfaktoren erklärt, wurden verschiedene Testinstrumente entwickelt: Problemlösetest, Skalen zur Erfassung des Selbstkonzepts beim Problemlösen und der Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten, Fachwissenstest Mathematik und Physik. Die einzelnen Testteile wurden so konstruiert, dass sie in 90 Minuten Testzeit eingesetzt werden können. Es besteht die Möglichkeit, die Testzeit in zweimal 45 Minuten zu unterteilen, wobei ein Teil in Form eines Onlinefragebogens bearbeitet wird. Um eine größere Variabilität der Items zum Problemlösen zu verwirklichen, wurde ein spezielles Design mit vier Testheften verwendet, das vier Probleme über die vier Phasen des Problemlösens (mit Überlappungen) rotiert. Insgesamt ergeben sich so zwölf verschiedene Items zum Problemlösen, bei jeweils vier Items pro Testheft. Die Inhalte der Instrumente zu den Einflussfaktoren sind über alle Testhefte identisch.

Die Daten wurden mit einer *Stichprobe* von 279 Studierenden aus Veranstaltungen der Physik (Nebenfach, Lehramt, Hauptfach) erhoben. Alle Studierenden haben den Problemlösetest bearbeitet, 131 der 279 haben zusätzlich auch die Tests zu den Einflussfaktoren ausgefüllt. Die so vorliegenden Stichprobengrößen sind für die geplanten statistischen Auswertungsverfahren angemessen groß.

Der *Problemlösetest* ist das zentrale Instrument der Untersuchung und dient zur Erhebung des Erfolgs beim Problemlösen. Das Itemformat ist so gewählt, dass jedes Item genau eine Phase eines der vier verwendeten Probleme abdeckt, um so alle vier Phasen des Problemlösens beobachten zu können. Aufgrund der Erfahrungen aus der Pilotierung wurde ein relativ geschlossenes Format verwendet, um die Probanden vom bloßen „Draufflosrechnen“ abzubringen und vielmehr die sich aus den theoretischen Überlegungen ergebenden Anforderungen der verschiedenen Phasen (s.h. Kapitel 2.5) in den Mittelpunkt zu stellen. Zur Auswertung wurden die Daten erfolgreich durch ein eindimensionales Partial-Credit-Modell dargestellt, das nach den gängigen Kriterien Rasch-homogen und anderen, mehrdimensio-

#### 4. Anlage der Untersuchung

nen Modellen, überlegen ist. Es sind weder Decken- noch Bodeneffekte beobachtbar und der Test ist, nach dem Mittelwert der Personenwerte, für die Stichprobe angemessen schwierig. In Bezug auf die Forschungsfrage 1 „*Wie kann die Fähigkeit zum Problemlösen differenziert beschrieben werden?*“ (Kapitel 3.1) konnte eine der Hypothesen (Eindimensionalität der Fähigkeit zum Problemlösen) bestätigt werden. Die Hypothese zu den unterschiedlichen Schwierigkeiten der Phasen des Problemlösen muss insofern angepasst werden, dass der Bereich, aus dem ein Problem stammt, die Schwierigkeit in stärkerem Maße beeinflusst als die Phase des Problemlösen.

Zur Erhebung des *Selbstkonzepts* als einer Prädiktorvariablen für den Erfolg beim Problemlösen wurden sieben Likert-Skalen entwickelt. Die Reliabilitäten der Skalen liegen in der Hauptstudie zwischen .7 und .9. Die Studierenden schätzen sich insgesamt positiv ein (Skalenmittelwerte liegen über 2.5), zeigen aber Unterschiede zwischen den einzelnen Phasen des Problemlösens. So ist das Selbstkonzept zu den Anforderungen der Repräsentation und der Findung eines Lösungswegs geringer als bei der Lösung und dem Nachvollziehen. Die Mittelwertsvergleiche der Punktzahlen beim Problemlösetest nach den Klassen des Selbstkonzepts aus der Pilotierung sprechen dafür, dass das Selbstkonzept ein geeigneter Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen ist, was auch über die entwickelten Instrumente erfasst werden kann. Genauere Untersuchungen hierzu werden in Kapitel 5 durchgeführt.

Das Interesse in Form der *Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten* wurde aus den gegebenen Items über eine Faktorenanalyse von drei Skalen identifiziert, die Reliabilitäten zwischen .6 und .7 aufweisen. Am beliebtesten sind bei den Studierenden aus der Hauptstudie praktische Tätigkeiten, gefolgt von theoretischen und rechnerischen. Ein Vergleich der erreichten Punkte im Problemlösetest der Pilotierung und von Klassen der Beliebtheit zeigt zwar noch keine signifikanten Zusammenhänge, untermauert jedoch für die Auswertung der Hauptstudie die Vermutung eines Zusammenhangs zwischen beiden Variablen.

Zur Ermittlung des *Fachwissens in Mathematik* wurde ein Test zusam-

mengestellt, der dichotome Items zu grundsätzlichen mathematischen Fähigkeiten enthält. Der Bootstrap  $\chi^2$  Test zeigt, dass die ausgewählten Items zusammen ein gültiges eindimensionales Rasch-Modell bilden, das für die Stichprobe der Hauptstudie eine Reliabilität nach Andrichs von .87 aufweist. Jeder Person kann somit über die erreichte Gesamtpunktzahl ein Personenwert zugeordnet werden, der ihre Fähigkeiten in Mathematik beschreibt. In Kapitel 5.4 werden die Personenwerte in Bezug zu den Itemschwierigkeiten gesetzt und die Stichprobe so in verschiedene Fähigkeitsstufen unterteilt. Im Schnitt erreichen die Teilnehmer einen Personenwert von 1.2, was anzeigt, dass der Test für die Hauptstudie etwas zu leicht war.

Das *Fachwissen in Mechanik* wurde, analog zu dem in Mathematik, über eine Zusammenstellung dichotomer Items erhoben und über eine Rasch-Analyse überprüft. Insgesamt betrachtet ist die eindimensionale Rasch-Skalierung des Fachwissenstest in Physik angemessen; der  $\chi^2$  Test bestätigt die Modellgeltung und die Reliabilität nach Andrichs liegt bei .79. Jeder Person kann, ebenso wie beim vorangegangenen Test, über die erreichte Gesamtpunktzahl ein Personenwert zugeordnet werden, der in Kapitel 5.3 in Bezug zu den Itemschwierigkeiten gesetzt wird. Hierdurch wird die Stichprobe in verschiedene Fähigkeitsstufen unterteilt.

Die im nächsten Kapitel vorgestellte Auswertung der Hauptstudie wird die hier dargelegten reliablen Ergebnisse der einzelnen Instrumente nutzen, um weitere Strukturen in den Daten aufzudecken und abschließend ein Modell zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen aufzustellen.

#### 4. *Anlage der Untersuchung*

## 5. Auswertung

Mit den Daten aus den in Kapitel 4 vorgestellten Untersuchungsinstrumenten wurden quantitative und qualitative Auswertungen durchgeführt, um die in Kapitel 3 vorgestellten Forschungsfragen bzw. die dazugehörigen Hypothesen zu überprüfen. Grundsätzliches Ziel der Auswertungen ist die Zusammenführung des erhobenen Abschneidens beim Problemlösetest mit den aus der Theorie ausgewählten Einflussfaktoren (s.h. Kapitel 2.7; Fachwissen Mechanik, Fachwissen Mathematik, Erfahrung beim Problemlösen, physik- und problemlösebezogenes Selbstkonzept und die Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten), um aus den Beziehungen zwischen den Variablen die bedeutenden Prädiktoren für Erfolg beim Problemlösen zu identifizieren und zu quantifizieren.

Zunächst wird in Kapitel 5.1 eine Übersicht über die verwendeten Variablen, auch in Vorgriff auf die folgenden Auswertungen, gegeben. Die Abfolge der weiteren Kapitel orientiert sich an den verschiedenen Datentypen (kategorial, kontinuierlich, qualitativ).

Zunächst werden aus den erhobenen Variablen zur Problemlösefähigkeit (Kapitel 5.2), dem Fachwissen in Mechanik (Kapitel 5.3), dem Fachwissen in Mathematik (Kapitel 5.4), dem physik- und problemlösebezogenen Selbstkonzept (Kapitel 5.5) und der Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten (Kapitel 5.6) Stufen bzw. Klassen identifiziert, um die Komplexität der Daten für erste Auswertungen zu reduzieren.

Ausgehend von den Stufen der Problemlösefähigkeit wird für einen ersten Eindruck der Gesamtdaten betrachtet, wie sich die kontinuierlichen Ausprägungen der Prädiktoren auf den verschiedenen Stufen der Problemlösefähigkeit voneinander unterscheiden (Kapitel 5.7). In den folgenden Kapiteln wird der Zusammenhang zwischen Prädiktoren und dem Erfolg beim Problemlösen zunächst mit den kategorialen (gebildete Stufen bzw. Klas-



## 5. Auswertung

sen) und anschließend mit den kontinuierlichen Daten (erreichte Punkte, Skalenmittelwerte) untersucht.

Die nähere Analyse der kategorialen Daten findet durch die Betrachtung der Zuteilung einzelner Teilnehmer zu den gefundenen Stufen bzw. Klassen mit Hilfe von Kreuztabellen statt (Kapitel 5.8).

Der Zusammenhang zwischen der Problemlösefähigkeit und den genannten Einflussfaktoren wird basierend auf den kontinuierlichen Daten über Korrelationen (Kapitel 5.9) bzw. lineare Regressionen (Kapitel 5.10) betrachtet. Da, aus theoretischen Überlegungen und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der vorangegangenen Analysen, davon ausgegangen werden muss, dass die Prädiktoren untereinander in enger Beziehung stehen und deswegen teilweise nur indirekt auf den Erfolg beim Problemlösen wirken, werden diese Effekte über Mediationsanalysen genauer untersucht (Kapitel 5.10.1). Der direkte Effekt der Prädiktoren wird über lineare Regression quantifiziert (Kapitel 5.10.2) und alle Effekte werden abschließend in einem Modell zusammengeführt (Kapitel 5.10.3).

Abgeschlossen wird die Untersuchung der Problemlösefähigkeit über qualitative Untersuchungen (Kapitel 5.11). Personen, die sich auf verschiedenen Stufen der Problemlösefähigkeit befinden, werden über die Art der gemachten Fehler (Kapitel 5.11.1) und die verwendeten Argumentationsansätze beim Nachvollziehen einer ausgearbeiteten Lösung (Kapitel 5.11.2) genauer charakterisiert.

## 5.1. Überblick über die Variablen

Um den Erfolg beim Problemlösen in der Physik zu erklären, wurden die in Kapitel 2.7 vorgestellten Prädiktoren mit den in Kapitel 4.3 dargelegten Instrumenten erhoben. Sie werden im Rahmen der Auswertung in Bezug zu den Ergebnissen des Problemlösetests gesetzt. Da es sich um eine Vielzahl von Variablen handelt, wird im Folgenden ein Überblick über die genutzten Größen und ihre Verwendung gegeben, auch in Vorgriff auf die in den folgenden Kapiteln dargelegten weiterführenden Auswertungen.

Der Problemlösetest erhebt den Erfolg beim Problemlösen in der Physik (s.h. Kapitel 4.3.1). Er ist in vier Testhefte mit vier Items, die je eine Phase des Problemlösens abdecken, unterteilt, was basierend auf dem Testheftdesign insgesamt 12 verschiedene Items ergibt. Jedes Item wird mit 0 (nicht gelöst), 1 (teilweise gelöst) und 2 (vollständig gelöst) kodiert. Der Test wird mit einem eindimensionalen Rasch-Modell mit Partial-Credit dargestellt.

---

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PLT_Punkte      | Die Punkte, die eine Person beim Problemlösetest erreicht hat. Maximal können 8 Punkte erzielt werden. Da es sich um einen Rasch-homogenen Test handelt, können die Punkte wie die Personenwerte ( <i>WLE</i> ) verwendet werden und stellen eine gute Schätzung für Individualparameter dar.           |
| rep; lw; lö; nv | Punkte, die eine Person in den einzelnen Phasen des Problemlösens (Repräsentation, Lösungsweg, Lösung, Nachvollziehen) erreicht hat. Pro Phase maximal 2 Punkte.                                                                                                                                        |
| PLT_Stufe       | Zur Komplexitätsreduzierung können, wie in Kapitel 5.2 dargelegt, aus dem Schwierigkeitsprofil der Items des Problemlösetests Stufen gefunden werden. Über ihren Personenwert ( <i>WLE</i> ) kann jede Person einer Stufe (von 1 bis 3) zugeordnet werden, die den Erfolg beim Problemlösen beschreibt. |

---

Tabelle 5.1.: Überblick über die verwendeten Variablen – Problemlösetest

## 5. Auswertung

Der Fachwissenstest Mechanik erhebt das Vorwissen zu grundlegenden Konzepten in der Mechanik (s.h. Kapitel 4.3.5). Der Test kann mit einem eindimensionalen Rasch-Modell dargestellt werden. Er enthält 13 dichotome Items.

---

|              |                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FWMech       | Punkte, die eine Person beim Fachwissenstest Mechanik erreicht hat. Maximal können 13 Punkte erzielt werden. Da der Test Rasch-homogen ist, können die Punkte als Personenwerte verwendet werden.                  |
| FWMech_Stufe | Wie in Kapitel 5.3 dargelegt, können aus dem Schwierigkeitsprofil der Items zum Fachwissen Mechanik drei Stufen gefunden werden. Über ihren Personenwert ( $WLE$ ) kann jede Person einer Stufe zugeordnet werden. |

---

Tabelle 5.2.: Überblick über die verwendeten Variablen – Fachwissen Mechanik

Der Fachwissenstest Mathematik erhebt das Vorwissen zu grundsätzlichen mathematischen Themen (s.h. Kapitel 4.3.4). Der Test kann mit einem eindimensionalen Rasch-Modell dargestellt werden. Er enthält 20 dichotome Items.

---

|              |                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FWMath       | Punkte, die eine Person beim Fachwissenstest Mathematik erreicht hat. Maximal können 20 Punkte erreicht werden. Da der Test Rasch-homogen ist, können die Punkte als Personenwerte verwendet werden.                 |
| FWMath_Stufe | Wie in Kapitel 5.4 dargelegt, können aus dem Schwierigkeitsprofil der Items zum Fachwissen Mathematik drei Stufen gefunden werden. Über ihren Personenwert ( $WLE$ ) kann jede Person einer Stufe zugeordnet werden. |

---

Tabelle 5.3.: Überblick über die verwendeten Variablen – Fachwissen Mathematik

Das Selbstkonzept wurde auf verschiedenen Ebenen mit den in Kapitel 4.3.2 vorgestellten Instrumenten erhoben. Die verwendeten Likert-Skalen gehen von 1 (niedriges Selbstkonzept) bis 4 (hohes Selbstkonzept).

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| physk     | Selbstkonzept in Physik $\alpha = .83$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| matsk     | Selbstkonzept in Mathematik $\alpha = .85$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| aplsk     | Allgemeines problemlösebezogenes Selbstkonzept $\alpha = .83$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| replsk    | Selbstkonzept bei der Repräsentation $\alpha = .86$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| lwplsk    | Selbstkonzept beim Lösungsweg $\alpha = .85$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| löplsk    | Selbstkonzept bei der Lösung $\alpha = .71$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| nvplsk    | Selbstkonzept beim Nachvollziehen $\alpha = .87$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| SK        | Mittelwert über alle Skalen des Selbstkonzepts. Vergleicht man die Korrelationen der erreichten Punktzahl beim Problemlösen mit denen der einzelnen Skalen zum Selbstkonzept und dem Mittelwerts ist festzustellen, dass der Mittelwert den Erfolg beim Problemlösen besser erklärt als jede der einzelnen Skalen (Vergleich über Korrelationen), weshalb für weitere Auswertungen auf diesen Wert zurückgegriffen wird. |
| SK_Klasse | Wie in Kapitel 5.5 dargelegt, können mit Hilfe einer latenten Klassenanalyse drei Klassen zum Selbstkonzept (niedriges SK – mittleres SK – hohes SK) gefunden werden.                                                                                                                                                                                                                                                    |

Tabelle 5.4.: Überblick über die verwendeten Variablen – Selbstkonzept

Die Beliebtheit von verschiedenen physikalischen Tätigkeiten wird mit den in Kapitel 4.3.3 vorgestellten Instrumenten erhoben. Faktorenanalysen ließen den Schluss auf drei Skalen zu, die jeweils von 1 (nicht beliebt) bis 4 (beliebt) reichen.

|           |                                                                                                                                                                                                   |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| theobl    | Beliebtheit von theoretischen Tätigkeiten $\alpha = .64$                                                                                                                                          |
| rechbl    | Beliebtheit von rechnerischen Tätigkeiten $\alpha = .73$                                                                                                                                          |
| prakbl    | Beliebtheit von praktischen Tätigkeiten $\alpha = .73$                                                                                                                                            |
| BL_Klasse | Wie in Kapitel 5.6 dargelegt, können mit Hilfe einer latenten Klassenanalyse drei Klassen zur Beliebtheit physikalischer Tätigkeiten (Theoretiker/Rechner, Praktiker, unbeliebt) gefunden werden. |

Tabelle 5.5.: Überblick über die verwendeten Variablen – Beliebtheit von Tätigkeiten

## 5. Auswertung

Die Erfahrung einer Person beim Problemlösen wird durch eine einfache Kennzahl angenähert. Sie setzt sich aus dem unterschiedlich gewichtetem Studienschwerpunkt (Nebenfach oder Hauptfach Physik), dem Fachsemester (Grundstudium oder Hauptstudium), der Belegung von Physik in der Oberstufe (keine Belegung, Grundkurs, Leistungskurs) und der Häufigkeit der Bearbeitung von Übungsaufgaben zusammen. Maximal kann ein Kennwert von 11 erreicht werden.

| Erfahrung | Kennwert für die Erfahrung beim Problemlösen in der Physik. |
|-----------|-------------------------------------------------------------|
|-----------|-------------------------------------------------------------|

Tabelle 5.6.: Überblick über die verwendeten Variablen – Erfahrung

Als ergänzende Prädiktoren wurden die letzten Schulnoten erhoben. Die Noten wurden zur besseren Vergleichbarkeit umgepolzt und z-transformiert.

|           |                                                                    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------|
| zAbi      | z-transformierter Werte der umgepolzten Abiturnote                 |
| zNotePhys | z-transformierter Wert der umgepolzten letzten Schulnote in Physik |

Tabelle 5.7.: Überblick über die verwendeten Variablen – Noten

## 5.2. Stufen der Problemlösefähigkeit

Um einen ersten Eindruck von den Eigenschaften erfolgreicher Problemlöser zu erhalten, ist es hilfreich, verschiedene Gruppen (z.B. gute und schlechte Problemlöser) miteinander zu vergleichen (s.h. Experten-Novizen-Vergleich Kapitel 1.2). Im Folgenden wird dargelegt, wie die Probanden, ausgehend von dem gefundenen Rasch-Modell, verschiedenen Stufen der Problemlösefähigkeit zugeteilt werden.

In Kapitel 4.3.1 wurde der entwickelte Problemlösetest und das zur Modellierung verwendete Rasch-Modell mit Partial-Credit vorgestellt. Für die einzelnen Items wurden jeweils Schwierigkeiten (die Itemschwierigkeit  $\sigma$ ) geschätzt, die abhängig von der latenten Personenfähigkeit  $\theta$  mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gelöst werden können.

Ausgehend davon wird vermutet, dass sich (analog zu den „Kompetenzstufen“ von PISA, s.h. Kapitel 2.4.4) qualitative „Stufen“ in der Problemlösefähigkeit finden lassen – eine Person kann mit steigender Problemlösefähigkeit nicht nur „immer besser“ Probleme lösen, sondern qualitativ andere Anforderungen erfüllen.

Um qualitativ unterschiedliche Stufen in der Problemlösefähigkeit zu ermitteln, werden die Items des Problemlösetests der Schwierigkeit nach angeordnet. Abbildung 5.1 zeigt das sich ergebende Schwierigkeitsprofil. Es werden Gruppen von Items (Stufen) gebildet, die von der Schwierigkeit her vergleichbar sind und ähnliche Anforderungen an den Bearbeitenden stellen. Die Konstruktion der in der Abbildung eingezeichneten Stufen erfolgte sowohl aufgrund von statistischen als auch inhaltlichen Überlegungen.

Aus statistischer Sicht sind besonders „Sprünge“ in der Itemschwierigkeit interessant, um darüber die Stufengrenzen zu identifizieren. Unter „Sprüngen“ wird verstanden, dass die Differenz der Schwierigkeiten von zwei benachbarten Items relativ zur Umgebung gesehen besonders groß ist. In Abbildung 5.1 trifft das auf die Unterschiede zwischen den Items lö.2.1 (Ansatz der Lösung zum Problem „Achterbahn“) und nv2.2 (Vollständiges Nachvollziehen zum Problem „Achterbahn“) als erste Stufengrenze und zwischen den Items rep1.2 (Vollständige Repräsentation zum Problem „Seil“) und

## 5. Auswertung

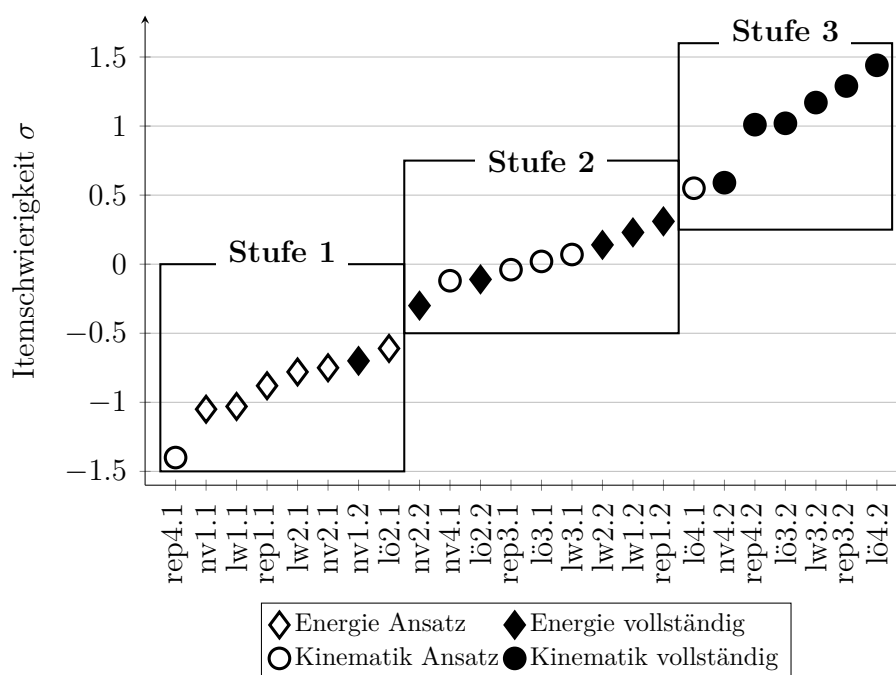


Abbildung 5.1.: Schwierigkeitsprofil des Problemlösetests

lö4.2 (Vollständige Lösung zum Problem „Anstoßen Körper“) als zweite Stufengrenze zu.

Auch die Verteilung der Problemlösefähigkeit über die Stichprobe unterstützte die Lage der gefundenen Stufen: Die Grenzen um Stufe 2 spannen einen Bereich von der Breite einer Standardabweichung ( $SD_{\theta} = 0.81$ ) um den Mittelwert der Personenparameter ( $\bar{\theta} = 0.04$ ) auf.

Über die statistische Betrachtung hinaus, lässt sich die Anordnung und Einteilung der Items auch aus inhaltlichen Gründen erklären. Wie bereits in Kapitel 4.3.1 diskutiert, scheint insbesondere der Bereich der Items (Energie oder Kinematik) einen großen Einfluss auf die Schwierigkeit zu haben. Um dies graphisch darzustellen, wurden die Items aus dem Bereich „Energie“ in Abbildung 5.1 als Rauten dargestellt, die Items aus dem Bereich „Kinematik“ als Kreise (jeweils noch mit der Abstufung ungefüllt und gefüllt für die Schwellen „Ansatz“ und „vollständig“). Es ist zu erkennen, dass sich die Items aus dem Bereich „Energie“ tendenziell weiter links anordnen, also einfacher sind, wohingegen die Items zur „Kinematik“ schwieriger und somit weiter rechts im Schwierigkeitsprofil zu finden sind.

Die Probanden werden über ihren Personenwert ( $WLE$ ) den drei Stufen zugeordnet. Fasst man die Inhalte der Stufen zusammen, können Stu-

dierende, die einen Personenwert ( $WLE$ ) innerhalb einer der gefundenen Stufen besitzen, folgende Anforderungen erfüllen: *Stufe 1*: Die Bearbeitenden können Ansätze von Problemen im Bereich „Energie“ finden (1.5/8.0 Punkten). *Stufe 2*: Die Bearbeitenden können über die Ansätze hinaus Probleme im Bereich „Energie“ vollständig lösen und im Bereich „Kinematik“ Ansätze finden (4.0/8.0 Punkten). *Stufe 3*: Die Bearbeitenden können des Weiteren Probleme aus dem Bereich „Kinematik“ vollständig lösen (6.7/8.0 Punkten). Abbildung 5.2 zeigt die Verteilung der Stichprobe auf die Stufen der Problemlösefähigkeit.

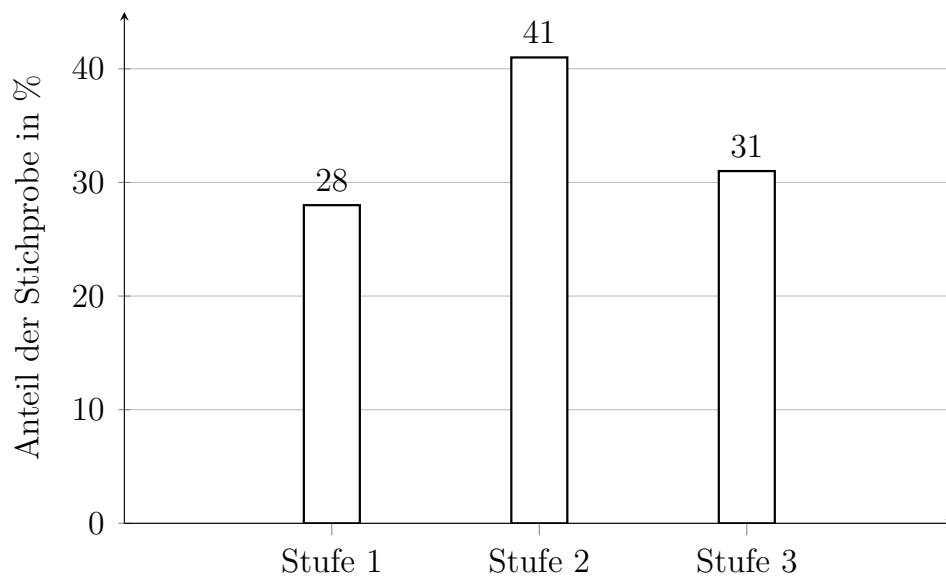


Abbildung 5.2.: Verteilung der Stichprobe auf die Stufen der Problemlösefähigkeit

Wie bereits in Kapitel 4.3.1 angerissen, hängt die Schwierigkeit der Items des Problemlösetests nicht mit der jeweiligen Phase zusammen, was im Rahmen einer Hypothese zur Forschungsfrage 1 näher untersucht wird.

**(H1a)** Es wird erwartet, dass die verschiedenen Phasen des Problemlösens (aufgrund ihrer verschiedenen Anforderungen) unterschiedlich schwierig sind (Kapitel 2.5).

Die Hypothese H1a kann auf Grundlage des Schwierigkeitsprofils nicht bestätigt werden. Für die Schwierigkeit der Items des Problemlösetest ist der Bereich, aus dem die Probleme stammen, entscheidend: Probleme aus



## 5. Auswertung

dem Bereich „Energie“ sind für die untersuchten Studierenden einfacher zu bearbeiten als Items aus dem Bereich „Kinematik“ (vgl. Anordnung der Items in Abbildung 5.1).

Die Findung von Stufen der Problemlösefähigkeit trägt neben den sich daraus ergebenden Erkenntnissen zu einer Komplexitätsreduzierung in Hinblick auf erste Auswertungen bei (s.h. Kapitel 5.7 zur Verteilung der Prädiktoren auf die Stufen des Problemlösens bzw. Kapitel 5.8 für Vergleiche über Kreuztabellen).

### 5.3. Stufen des Fachwissens Mechanik

Analog zum Vorgehen in Kapitel 5.2 können aus der Rasch-Skalierung des Fachwissenstests Mechanik Stufen gefunden werden. Abbildung 5.3 zeigt das sich ergebende Schwierigkeitsprofil der Items.

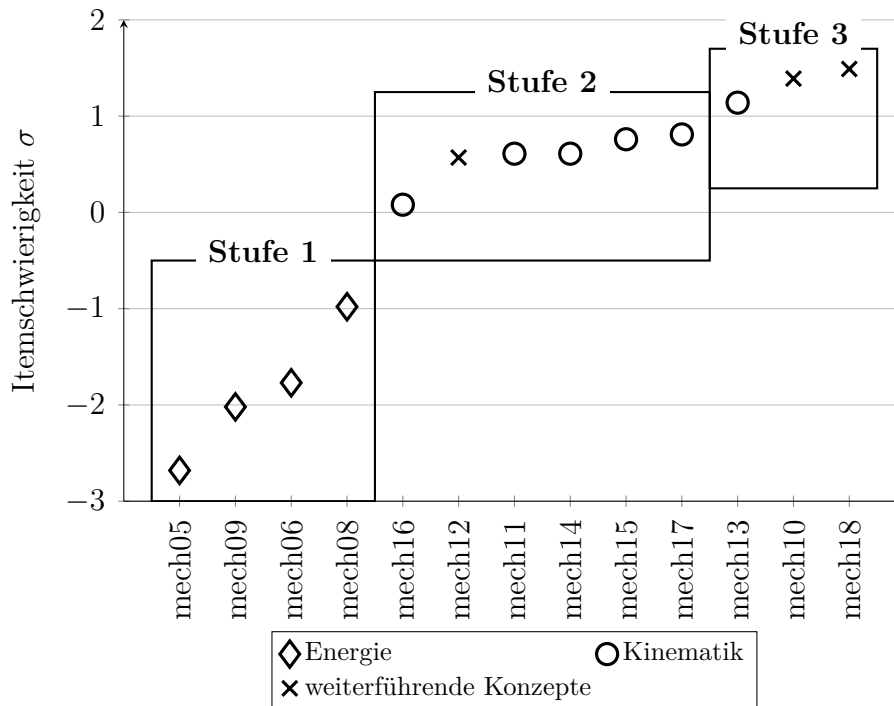


Abbildung 5.3.: Schwierigkeitsprofil des Fachwissenstests Mechanik

Die Stufengrenzen wurden wiederum so gewählt, dass sie aus statistischer Sicht tragfähig (große „Sprünge“ in der Itemschwierigkeit) und auch inhaltlich sinnvoll sind. Die Anordnung der Items erfolgt ähnlich wie beim Schwierigkeitsprofil des Problemlösetests: Items zum Bereich „Energie“ (dargestellt als Rauten) ordnen sich weiter links an als Items zur „Kinematik“ (dargestellt als Kreise) und zu verschiedenen physikalischen Konzepten (Trägheit, Kraftbetrachtung senkrechter Wurf nach oben; dargestellt als Kreuze). Der Fachwissenstest Mechanik bestätigt die Ergebnisse des Problemlösetests, dass Items im Bereich Energie von den Studierenden einfacher bearbeitet werden können als Items, die der Kinematik angehören.

Fasst man die Inhalte der Stufen zusammen, können Studierende, die einen Personenwert ( $WLE$ ) innerhalb einer der gefundenen Stufen besit-

## 5. Auswertung

zen, folgende Anforderungen erfüllen: *Stufe 1*: Die Bearbeitenden können Items aus dem Bereich „Energie“ lösen (3.2/13.0 Punkten). *Stufe 2*: Die Bearbeitenden können darüber hinaus Items aus dem Bereich „Kinematik“ lösen (7.3/13.0 Punkten). *Stufe 3*: Die Bearbeitenden können auch Items, die sich auf weiterführende physikalische Konzepte beziehen (z.B. Trägheit) lösen (10.7/13.0 Punkten). Abbildung 5.4 zeigt die Verteilung der Stichprobe auf die Stufen des Fachwissens in Mechanik.

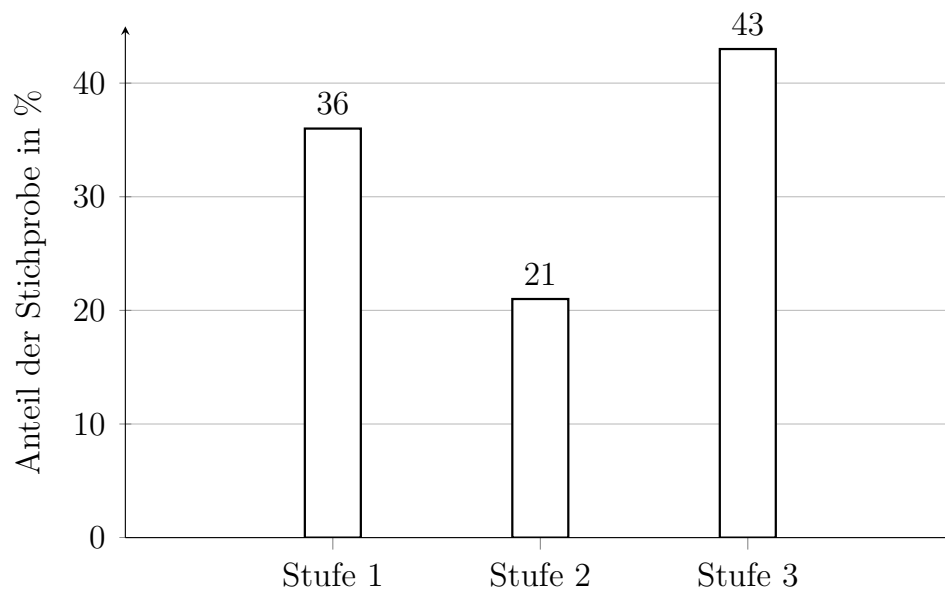


Abbildung 5.4.: Verteilung der Stichprobe auf die Stufen des Fachwissens in Mechanik

## 5.4. Stufen des Fachwissens Mathematik

Auch bei der Rasch-Skalierung des Fachwissenstests in Mathematik (s.h. Kapitel 4.3.4) konnte über das Schwierigkeitsprofil (s.h. Abbildung 5.5) eine Einteilung von drei Stufen gefunden werden.

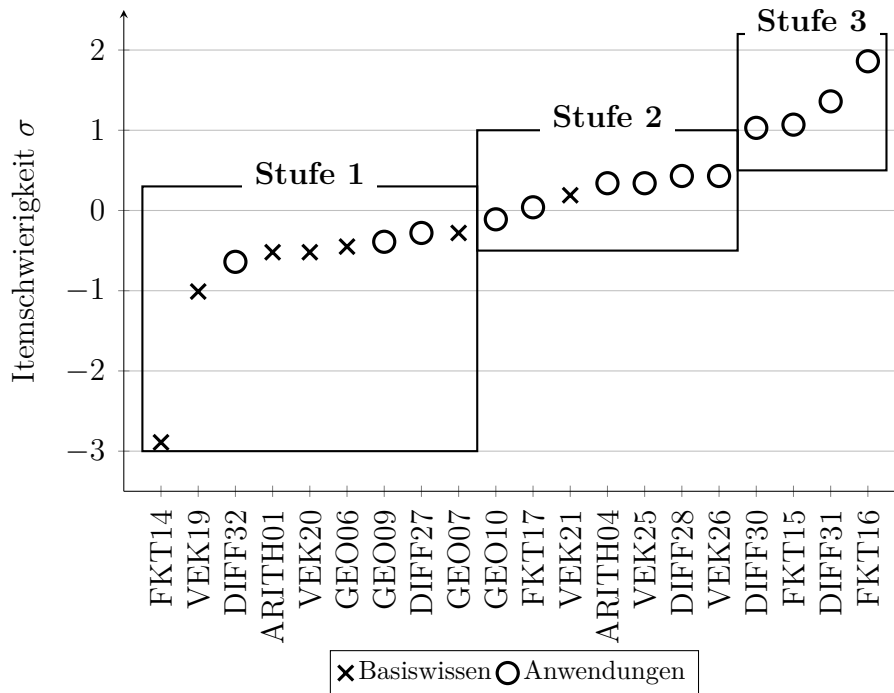


Abbildung 5.5.: Schwierigkeitsprofil Fachwissenstests Mathematik

Die Stufengrenzen wurden wiederum so gewählt, dass sie aus statistischer Sicht tragfähig (große „Sprünge“ in der Itemschwierigkeit) und auch inhaltlich sinnvoll sind. Die Anordnung der Items erfolgt hierbei nicht nach den Inhaltsbereichen (z.B. Arithmetik und Geometrie), sondern danach, ob es sich um einfaches Basiswissen / Reproduktion ohne Rechnen (z.B. Stufenwinkel identifizieren; dargestellt als Kreuze) oder um Anwendungen mit Rechnen (z.B. quadratische Gleichungen lösen; dargestellt als Kreise) handelt.

Die Inhalte der gefundenen Stufen können folgendermaßen zusammengefasst werden: *Stufe 1*: Die Bearbeitenden können Items zu Basiswissen und Reproduktion lösen, die keine Rechnung erfordern (6.0/20.0 Punkten). *Stufe 2*: Die Bearbeitenden können darüber hinaus Items lösen, die einfache Anwendungen und Berechnungen beinhalten. (11.9/20.0 Punkten). *Stufe 3*: Die Bearbeitenden können zusätzlich Items lösen, die weiterführende

## 5. Auswertung

Anwendungen und Berechnungen benötigen (17.0/20.0 Punkten). In der Verteilung der Stichprobe auf die Stufen zeigt sich, wie bereits in Kapitel 4.3.4 besprochen, dass der Test zu leicht war – mehr als die Hälfte der Probanden erreicht die höchste Stufe beim Fachwissen in Mathematik. Abbildung 5.6 zeigt die Verteilung der Stichprobe auf die Stufen des Fachwissens in Mathematik.

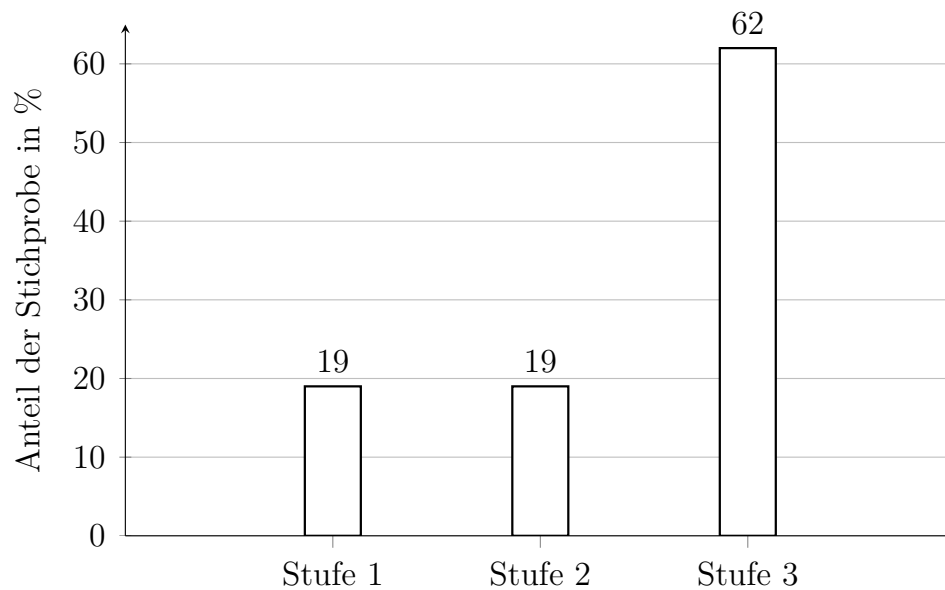


Abbildung 5.6.: Verteilung der Stichprobe auf die Stufen des Fachwissens in Mathematik

## 5.5. Klassen des Selbstkonzept

Neben der in den vorangegangenen Kapitel vorgestellten Einteilung von Stufen basierend auf den Ergebnissen der Leistungstests, werden die Probanden in diesem und dem nächsten Kapitel anhand ähnlicher Antwortmuster zum Selbstkonzept und der Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten zu Klassen zugeordnet.

Die erreichten Mittelwerte der Skalen zum Selbstkonzept (SK; s.h. Kapitel 4.3.2) wurden einer latenten Klassenanalyse (LCA) unterzogen, um so Gruppen von Personen zu bilden, die ein ähnliches Antwortverhalten über die verschiedenen Skalen zeigen. Es handelt sich hierbei, wie beim Rasch-Modell, um ein probabilistisches Auswertungsverfahren. Das Rasch-Modell arbeitet mit einer kontinuierlichen Verteilung der latenten Personenfähigkeit, wohingegen latente Klassenanalysen latente Kategorien in der Personenfähigkeit (Klassen) identifizieren. Um die Daten für eine Berechnung mit winmira vorzubereiten, wurden die Mittelwerte der Skalen so auf die Kategorien 1 bis 4 transformiert, dass die entstehenden Teilgruppen gleich groß waren. 1 enthielt so die Personen mit dem untersten Viertel der Skalenmittelwerte, 4 das oberste Viertel.

| Anz. Klassen       | Log-Likelihood | Anz. Parameter | AIC   | BIC   | $\chi^2$ |
|--------------------|----------------|----------------|-------|-------|----------|
| 1                  | -1271.15       | 21             | 2584  | 2644  | .000     |
| 2                  | -1114.85       | 43             | 2315  | 2439  | .029     |
| 3                  | -1050.45       | 65             | 2230  | 2417  | .057     |
| 4                  | -1020.56       | 87             | 2215  | 2465  | .200     |
| 5                  | -995.00        | 109            | 2209  | 2523  | .014     |
| gesättigtes Modell | -612.31        | 16383          | 33990 | 81094 |          |

Tabelle 5.8.: Modellvergleich Klassen des Selbstkonzepts

Grundsätzliches Ziel der latenten Klassenanalyse ist es, die Personen einer Klasse zuzuweisen, innerhalb der alle Personen ein ähnliches Antwortmuster besitzen. Hierbei muss zwischen Wahrscheinlichkeit der Daten unter Modellgeltung und der Anzahl der dazu benötigten Parameter abgewägt werden. Das „gesättigte Modell“ ordnet jedem gelieferten Antwortmuster eine Klasse zu und erreicht dadurch eine hohe Wahrscheinlichkeit der Daten unter Modellgeltung (großer Log-Likelihood Wert) jedoch bei einer sehr

## 5. Auswertung

großen Parameteranzahl (16383 in Tabelle 5.8). Für eine „vernünftige“ Anzahl von Parametern und Klassen werden mehrere Modelle mit wenigen Klassen (hier: 1 bis 5) berechnet und ein geeignetes ausgewählt. Tabelle 5.8 zeigt die auf Basis der Daten zum Selbstkonzept berechneten Modelle. Wie bereits bei den Rasch-Modellen ist zur Modellauswahl der  $\chi^2$ -Test des Bootstraps entscheidend, da nur bei einem  $p$ -Wert größer .05 die Modellgeltung bestätigt wird. Dieses Kriterium erfüllen sowohl das 3-Klassenmodell als auch das 4-Klassenmodell. Um eine Entscheidung zwischen beiden Modellen zu treffen, können die Informationskriterien AIC und BIC miteinander verglichen werden. Der AIC (Akaike's Information Criterion) vergleicht die erreichte Log-Likelihood (Wahrscheinlichkeit der Daten unter Modellgeltung) mit der dazu benötigten Parameteranzahl, wohingegen der BIC (Best Information Criterion) noch die Anzahl der Personen miteinbezieht (vgl. Rost, 2004). Im Falle des Vergleichs der 3-Klassenlösung und der 4-Klassenlösung ergibt sich, durch die unterschiedliche Gewichtung der Parameteranzahl beider Modelle, kein eindeutiges Bild. Jedoch ist es im Sinne des Einfachheitskriteriums (vgl. Rost, 2004) empfehlenswert, dasjenige Modell auszuwählen, das weniger Klassen besitzt, hier das 3-Klassenmodell.

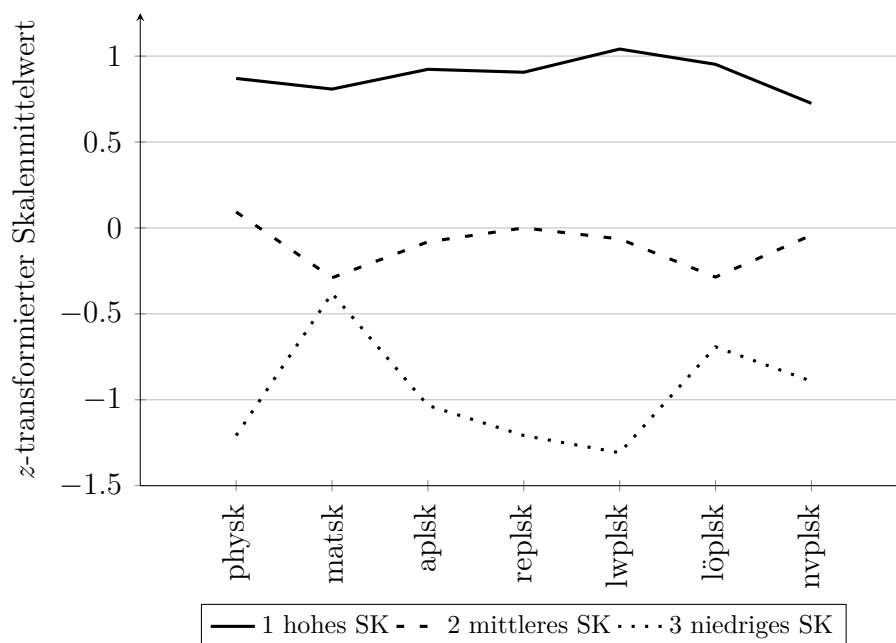


Abbildung 5.7.: Klassen des Selbstkonzepts

Nachdem über die LCA jeder Person eine Klasse zugeordnet wurde, kann

durch Auftragen der erreichten Mittelwerte das zugrundeliegende Antwortmuster der einzelnen Klassen dargestellt werden (s.h. Abbildung 5.7). Um die Werte der einzelnen Skalen besser vergleichen zu können, wurden die  $z$ -transformierten Werte verwendet. Die drei sich ergebenden Klassen sind: (1) *hohes Selbstkonzept*: Studierende dieser Klasse geben in allen erhobenen Arten des Selbstkonzepts überdurchschnittliche Werte (ca. eine Standardabweichung mehr als der Durchschnitt) an. (2) *mittleres Selbstkonzept*: Studierende, die dieser Klasse zugeordnet werden, verfügen über ein mittleres Selbstkonzept. (3) *niedriges Selbstkonzept*: In dieser Klasse besitzen die Studierenden in Bezug auf die Mathematik und das Erarbeiten einer Lösung ein ähnlich hohes Selbstkonzept wie Studierende der Klasse 2. In allen anderen, auf die Physik und das Problemlösen bezogenen Selbstkonzepten, weisen sie geringere Werte auf. Abbildung 5.8 zeigt die Verteilung der Stichprobe auf die Klassen des Selbstkonzepts.

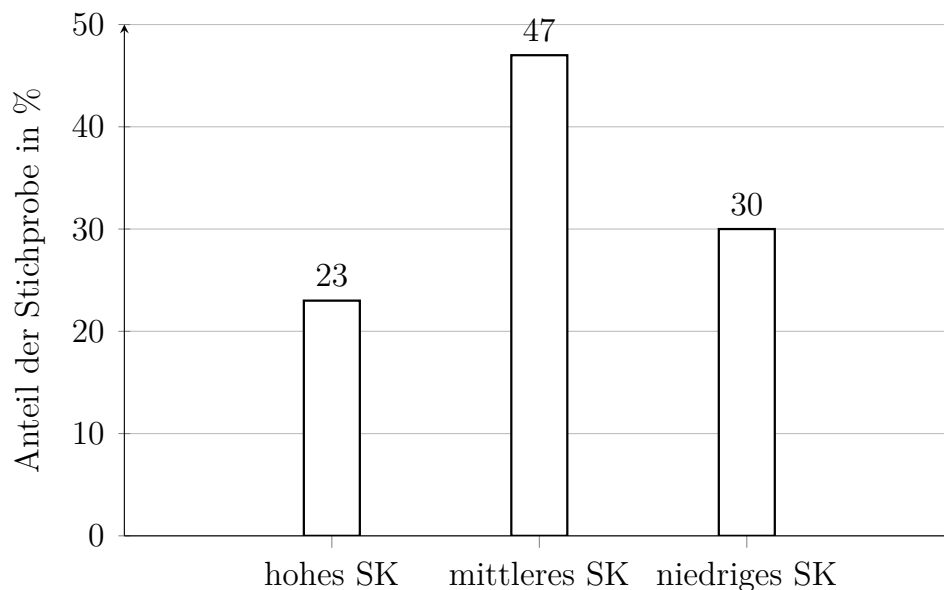


Abbildung 5.8.: Verteilung der Stichprobe auf die Klassen des Selbstkonzepts

Die so gefundenen Klassen zum Selbstkonzept werden im Rahmen von Kapitel 5.8 in Bezug zu den Stufen der Problemlösefähigkeit gesetzt. Es wird mit Hilfe von Kreuztabellen ermittelt, ob ein Zusammenhang zwischen der zugeordneten Klasse des Selbstkonzepts und der erreichten Stufe beim Problemlösen besteht.



## 5.6. Klassen der Beliebtheit von Tätigkeiten

Auch über die drei Skalen zur Beliebtheit von Tätigkeiten (Theoretiker, Rechner, Praktiker; s.h. Kapitel 4.3.3) wurde eine latente Klassenanalyse mit winmira durchgeführt. Um die Daten für eine Berechnung vorzubereiten, wurden die Mittelwerte der Skalen so auf die Kategorien 1 bis 4 transformiert, dass die entstehenden Teilgruppen gleich groß sind. 1 enthielt so die Personen mit dem untersten Viertel der Skalenmittelwerte, 4 das oberste Viertel.

| Anz. Klassen       | Log-Likelihood | Anz. Parameter | AIC  | BIC  | $\chi^2$ |
|--------------------|----------------|----------------|------|------|----------|
| 1                  | -544.78        | 9              | 1107 | 1133 | .000     |
| 2                  | -513.85        | 19             | 1065 | 1120 | .000     |
| 3                  | -494.23        | 29             | 1046 | 1129 | .086     |
| 4                  | -488.47        | 39             | 1054 | 1167 | .086     |
| gesättigtes Modell | -467.00        | 63             | 1061 | 1242 |          |

Tabelle 5.9.: Modellvergleich Klassen der Beliebtheit von Tätigkeiten

Zur Auswahl einer angemessenen Klassenanzahl wurden, analog zu Kapitel 5.6, mehrere Modelle berechnet und ihre Passung miteinander verglichen (s.h. Tabelle 5.9). Der  $\chi^2$ -Test zeigt sowohl beim 3-Klassenmodell wie auch beim 4-Klassenmodell einen  $p$ -Wert größer .05 und bestätigt somit die Modellgeltung. Das 3-Klassenmodell, das auch im Sinne des Einfachheitskriteriums zu wählen ist, besitzt gegenüber dem 4-Klassenmodell bessere AIC und BIC Werte und wird für weitere Auswertungen verwendet.<sup>1</sup>

Nachdem über die latente Klassenanalyse jeder Person eine Klasse zugeordnet wurde, kann durch Auftragen der erreichten Mittelwerte das zugrundeliegende Antwortmuster der einzelnen Klassen dargestellt werden (s.h. Abbildung 5.9). Um die Werte der einzelnen Skalen besser vergleichen zu können, wurden die  $z$ -transformierten Werte verwendet. Die drei sich ergebenden Klassen sind: (1) *Theoretiker/Rechner*: Bei Studierenden, die dieser Klasse angehören, sind theoretische und rechnerische Tätigkeiten überdurchschnittlich beliebt (ca. eine Standardabweichung); praktische

<sup>1</sup>In Kapitel 4.3.3 wurde die latente Klassenanalyse der Beliebtheit von Tätigkeiten mit den Daten der Pilotierung I vorgestellt. Hier zeigte sich durch den Vergleich der verschiedenen Modelle, dass das 2-Klassenmodell das beste Modell mit einer  $p$ -Wert des  $\chi^2$ -Tests über .05 ist.

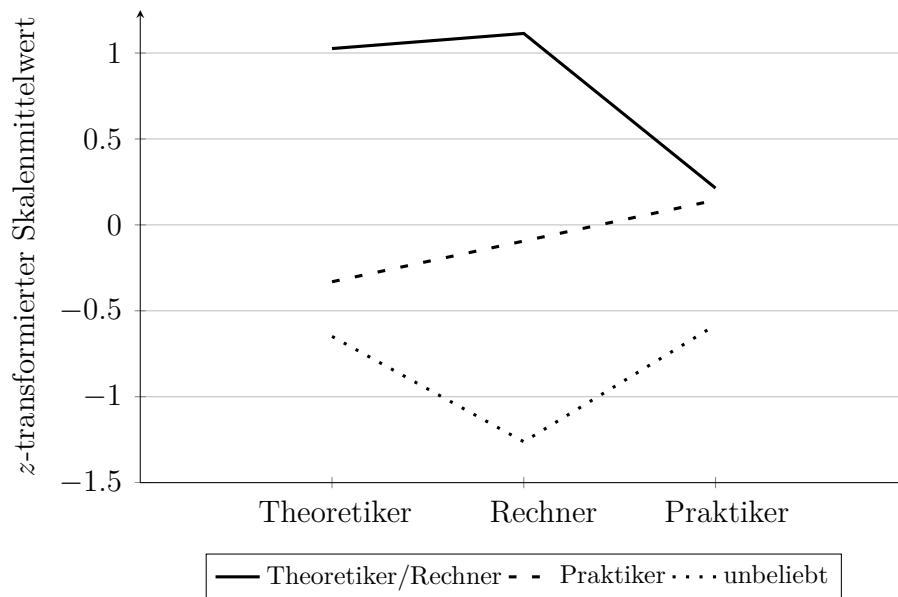


Abbildung 5.9.: Klassen der Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten

Tätigkeiten fallen etwas ab, sind jedoch noch etwas über Durchschnitt beliebt (29.0% der Stichprobe). (2) *Praktiker*: Studierende aus dieser Klasse geben praktische Tätigkeiten als am beliebtesten an, theoretische und rechnerische Tätigkeiten sind viel weniger beliebt als in Klasse 1 und liegen knapp unter dem Stichprobenschnitt (46.6% der Stichprobe). (3) *unbeliebt*: Bei Studierenden aus der dritten Klasse sind physikalische Tätigkeiten im Allgemeinen (ca. eine halbe Standardabweichung weniger als der Durchschnitt) und das Rechnen im Besonderen (mehr als eine Standardabweichung weniger als der Durchschnitt) unbeliebt. (24.4% der Stichprobe). Abbildung 5.10 zeigt die Verteilung der Stichprobe auf die Klassen des Selbstkonzepts.

Die so gefundenen Klassen zur Beliebtheit von Tätigkeiten werden im Rahmen von Kapitel 5.8 in Bezug zu den Stufen der Problemlösefähigkeit gesetzt. Es wird mit Hilfe von Kreuztabellen ermittelt, ob ein Zusammenhang zwischen der Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten und der erreichten Stufe beim Problemlösen besteht.

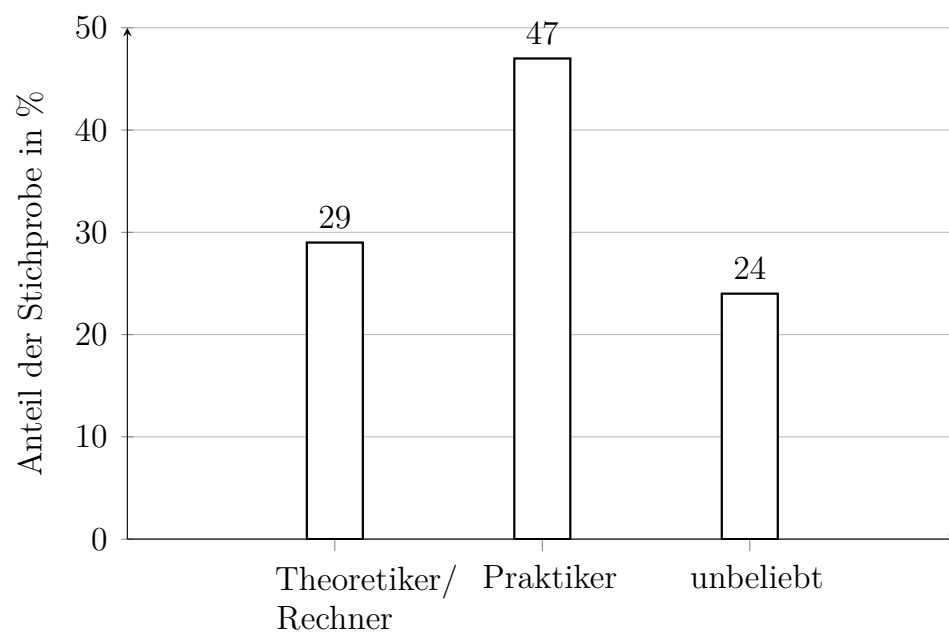


Abbildung 5.10.: Verteilung der Stichprobe auf die Klassen des Selbstkonzepts

## 5.7. Verteilung der Prädiktoren auf die Stufen des Problemlösens

Um einen Eindruck davon zu bekommen, ob die in Kapitel 3.2 genannten Faktoren einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben, werden im Sinne eines Experten-Novizen-Vergleichs (s.h. Kapitel 1.2) erfolgreiche und weniger erfolgreiche Problemlöser miteinander verglichen.

Abbildung 5.11 zeigt ein Diagramm, in dem die Mittelwerte der Probanden bei verschiedenen Einflussfaktoren in den drei Stufen der Problemlösefähigkeit (s.h. Kapitel 5.2) zusammen dargestellt werden. Für die Höhe des Fachwissens in Mechanik und des Fachwissens in Mathematik wird jeweils die erreichte Punktzahl in den Rasch-homogenen Tests verwendet. Der Kennwert für die Erfahrung beim Problemlösen setzt sich zusammen aus dem Fachsemester (Grundstudium oder Hauptstudium), der Studienrichtung (Physik als Nebenfach oder Hauptfach), der Häufigkeit, mit der Übungsaufgaben bearbeitet werden und der Tatsache, ob Physik bis zum Abitur belegt wurde. Als Ausprägung des Selbstkonzepts wird der durchschnittliche Wert über alle erhobenen Skalen ermittelt. Ergänzt werden die Einflussfaktoren um die umgepolte Abiturnote, da davon auszugehen ist, dass nicht nur der allgemeine Studienerfolg, sondern auch die Fähigkeit zum Problemlösen mit der Abiturnote zusammenhängt. Zur besseren Vergleichbarkeit der unterschiedlich skalierten Instrumente wird jeweils auf die z-transformierten Werte zurückgegriffen. Auf eine Betrachtung der Skalen zur Beliebtheit von Tätigkeiten wird verzichtet, da hier nicht von einfachen Zusammenhängen ausgegangen werden kann. Die Beziehung zwischen dem Interesse in Form der Beliebtheit von Tätigkeiten und dem Erfolg beim Problemlösen wird in Kapitel 5.8.4 im Rahmen von Kreuztabellen untersucht.

Es zeigt sich, wie zu erwarten war, dass erfolgreiche Problemlöser aus Stufe 3 in allen Bereichen annähernd gleichermaßen überdurchschnittliche Werte erreichen, was sich in der Form des Graphen als näherungsweise regelmäßiges Fünfeck zeigt. Bei den Personen aus Stufe 2 kann ein ähnliches Bild beobachtet werden. Die Studierenden erreichen Ergebnisse, die etwas niedriger als der Mittelwert der Stichprobe liegen – auch hier formt

## 5. Auswertung

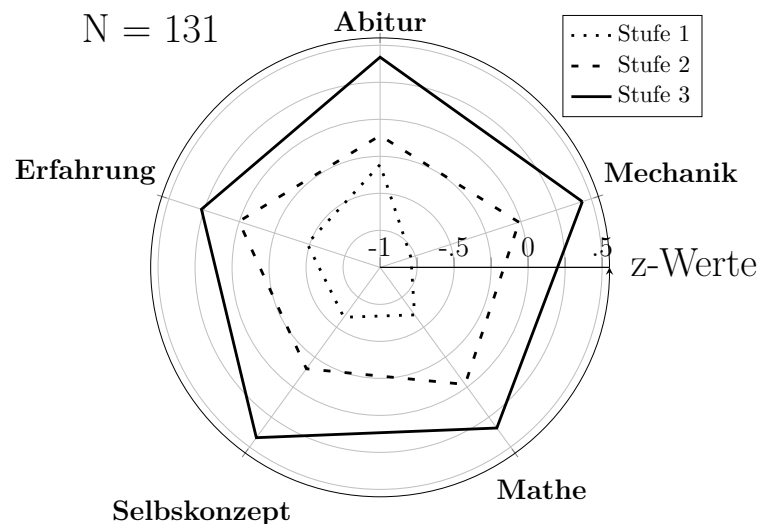


Abbildung 5.11.: Vergleich der  $z$ -transformierten Mittelwerte der Prädiktoren in den Stufen der Problemlösefähigkeit

der Graph wieder ein fast regelmäßiges Fünfeck. Interessant sind die Ergebnisse der Studierenden aus Stufe 1, die Probleme nur ansatzweise lösen können. Die Studierenden besitzen, wie aus den vorangegangenen Stufen zu erwarten war, gleichermaßen geringere Werte bei der Abiturnote, der Erfahrung, dem Selbstkonzept und dem Fachwissen in Mathematik, was sich darin zeigt, dass diese vier Größen näherungsweise auf einem regelmäßigen Fünfeck liegen. Auffällig ist, dass ein Einbruch des Fachwissens Mechanik zu beobachten ist – Personen in Stufe 1 der Problemlösefähigkeit haben ein weit unterdurchschnittliches Fachwissen, was dazu führt, dass der Graph insgesamt betrachtet kein regelmäßiges Fünfeck mehr bildet.

Der Vergleich der Prädiktoren in den unterschiedlichen Stufen der Problemlösefähigkeit liefert indirekt erste Hinweise zur Beantwortung der Forschungsfrage F2, die den Zusammenhang zwischen den Einflussfaktoren und dem Erfolg beim Problemlösen untersucht. Insbesondere die erste Hypothese kann bestätigt werden.

**(H2a)** Es wird erwartet, dass die in die Untersuchung *einbezogenen Einflussfaktoren* (Kapitel 2.7) einen *Einfluss* auf den Erfolg beim Problemlösen haben.

Ein Vergleichen der Mittelwerte der verschiedenen Prädiktorvariablen in den Stufen der Problemlösefähigkeit zeigt, dass die Einflussfaktoren auf

### 5.7. Verteilung der Prädiktoren auf die Stufen des Problemlösens

das Problemlösen in den Stufen ungleich verteilt sind. Wie zu erwarten war, besitzen Personen in einer höheren Stufe mehr Fachwissen, mehr Erfahrung, ein höheres Selbstkonzept und bessere Abiturnoten. Besonders die Bedeutung des Fachwissens in Mechanik wird durch den Graph der Personen auf Stufe 1 der Problemlösefähigkeit deutlich. Umgekehrt sollten höhere Werte in den genannten Einflussfaktoren auf eine bessere Leistung beim Problemlösen schließen lassen, was Hypothese H2a bestätigt.

Der Vergleich der Ausprägung der vorgestellten Einflussfaktoren in den Stufen der Problemlösefähigkeit ist ein erster Schritt zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen. In den nächsten Kapiteln wird der Zusammenhang zwischen Prädiktorvariablen und dem Erfolg beim Problemlösen näher untersucht, zunächst mit den kategorialen Stufen in Form von Kreuztabellen (Kapitel 5.8) und anschließend mit den kontinuierlichen Daten in Form von Korrelationen (Kapitel 5.9) und linearen Regressionen (Kapitel 5.10).

### 5.8. Vergleich der Stufen- bzw. Klassenzugehörigkeiten

Wie in den Kapiteln 5.2 bis 5.6 beschrieben, konnten die Probanden für die erhobenen Variablen Stufen bzw. Klassen zugeordnet werden. In diesem Kapitel werden die Zugehörigkeiten zu den Stufen bzw. Klassen über Kreuztabellen miteinander verglichen. Grundsätzlich wird erwartet, dass die Zugehörigkeiten ähnlich sind. Personen, welche Stufe 3 der Problemlösefähigkeit erreichen, gehören, wenn die Prädiktorvariablen einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben, tendenziell auch den höheren Stufen bzw. Klassen beim Fachwissen und Selbstkonzept an. In einer Kreuztabelle zeigt sich dieser Zusammenhang unter anderem darin, dass viele Personen auf der Diagonalen der Tabelle liegen. Eine „perfekte Zuordnung“, z.B. alle Personen, die im Fachwissen Mechanik Stufe 3 erreicht haben, sind auch im Problemlösetest der Stufe 3 zuzuordnen, ist jedoch nicht zu erwarten. Neben inhaltlichen Gründen spielen auch die verschieden skalierten Testinstrumente bzw. Klasseneinteilungen und die unterschiedlichen Fallzahlen in den Stufen bzw. Klassen eine Rolle. Zwar konnten bei allen untersuchten Größen drei Stufen bzw. Klassen gefunden werden, diese sind jedoch unterschiedlich besetzt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Kreuztabellen nacheinander vorgestellt und in Bezug zu den Hypothesen der Forschungsfrage 2 (Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen) gesetzt. Eine genauere Betrachtung wird über die Verwendung kategorialer Stufen bzw. Klassen hinausgehen und die kontinuierlichen Daten über Korrelationen (Kapitel 5.9) und lineare Regressionen (Kapitel 5.10) untersuchen.

### 5.8.1. Fachwissen Mechanik vs. Problemlösen

Der erste Vergleich untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen den Stufen der Problemlösefähigkeit und den Stufen des Fachwissens Mechanik besteht.

Der  $\chi^2$ -Test zeigt, dass die Zuteilung zu den Stufen der Problemlösefähigkeit und dem Fachwissen in Mechanik nicht unabhängig voneinander ist ( $\chi^2(4) = 31.06$ ,  $p_{\text{exakt}} = .000$ ), bei mittlerem Effekt (Cramér's  $V = .35$ ,  $p_{\text{exakt}} = .000$ ). Um weiter einzugrenzen, woher dieser Effekt stammt, werden im Folgenden die Zuordnungen der Stufen zueinander, die Spaltenanteile und die standardisierten Residuen überprüft.

|                |         | Problemlösetest |                 |                 | Gesamt |
|----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
|                |         | Stufe 1         | Stufe 2         | Stufe 3         |        |
| FW<br>Mechanik | Stufe 1 | 22 <sub>a</sub> | 14 <sub>b</sub> | 11 <sub>b</sub> | 47     |
|                | Stufe 2 | 5 <sub>a</sub>  | 13 <sub>a</sub> | 9 <sub>a</sub>  | 27     |
|                | Stufe 3 | 3 <sub>a</sub>  | 18 <sub>b</sub> | 35 <sub>b</sub> | 56     |
|                | Gesamt  | 30              | 45              | 55              | 130    |

Betrachtet man die Daten zeilenweise, so kennzeichnen identische tiefergestellte Buchstaben Spaltenanteile, die sich auf dem .05-Niveau nicht signifikant voneinander unterscheiden. Zum Beispiel unterscheidet sich in der ersten Zeile der vorliegenden Tabelle 22 (73%) von 14 (31%) und 11 (20%) signifikant, aber 14 (31%) unterscheidet sich von 11 (20%) nicht signifikant.

Tabelle 5.10.: Kreuztabelle Stufe Fachwissen Mechanik vs. Stufe Problemlösen

Unter der Annahme, dass ein großer Zusammenhang zwischen dem Erfolg beim Problemlösen und dem Fachwissen in Mechanik besteht, würde man erwarten, dass viele Personen auf der Diagonalen der Tabelle 5.10 liegen. Dies trifft in den tatsächlichen Daten für 70 Personen (54%) zu. Unter der Diagonalen liegen 26 Personen (20%), die trotz höherer Fachwissensstufe nur eine niedrige Stufe der Problemlösefähigkeit erreichen. Oberhalb der Diagonalen befinden sich 34 Personen (26%), die eine höhere Stufe beim Problemlösen als beim Fachwissen Mechanik erreichen. Zur Erklärung der Fälle außerhalb der Diagonalen spielt aus theoretischen Überlegungen heraus träges Wissen (s.h. Kapitel 1.3.2) eine Rolle – auch wenn Personen über das Fachwissen verfügen (hohe Stufe beim Fachwissen Mechanik) kann dieses nicht angewendet werden (niedrige Stufe beim Problemlösetest). Träges



## 5. Auswertung

Wissen trägt zur Erklärung von Personen bei, die unterhalb der Diagonalen der Kreuztabelle liegen.

Neben der deckungsgleichen Zuordnung kann auch die zu Nachbarstufen (z.B. eine Person, die in Stufe 1 Fachwissen Mechanik und Stufe 2 Problemlösefähigkeit fällt) als angemessen angesehen werden, wenn ein Zusammenhang zwischen dem Erfolg beim Problemlösen und dem Fachwissen in Mechanik vorausgesetzt wird. Ausgehend vom Fachwissen werden so 23 Personen (18%) einer unmittelbar höheren und 23 Personen (18%) einer unmittelbar niedrigeren Stufe der Problemlösefähigkeit zugeordnet.

Übrig bleiben die extremen Fälle, d.h. die Personen, die Stufe 3 des Fachwissens, aber nur Stufe 1 im Problemlösetest und umgekehrt Stufe 1 im Fachwissen, aber Stufe 3 im Problemlösetest erreicht haben. Diese Fälle sind aufgrund ihrer Abweichung besonders interessant und werden im Folgenden genauer untersucht.

Elf Fälle haben die niedrigste Stufe beim Fachwissen erreicht, jedoch die Stufe 3 bei der Problemlösefähigkeit. Anhand der Daten lässt sich keine schlüssige Begründung für das Zustandekommen dieser Fälle finden, weshalb auf Erklärung verzichtet werden muss.

Drei Fälle haben die höchste Stufe beim Fachwissen erreicht, jedoch nur die erste Stufe bei der Problemlösefähigkeit. Eine Erklärung anhand der Daten gestaltet sich auch hier schwierig – die Studierenden zeigen wenige Gemeinsamkeiten in ihrem Antwortverhalten, außer einen ähnlichen mittleren Kennwert bei der Erfahrung. Das schlechte Abschneiden beim Problemlösetest lässt sich vermutlich über den Effekt von trägem Wissen erklären.

Die Ergebnisse der Kreuztabelle decken sich weitestgehend mit den Ergebnissen von Friege (2001), der einen Vergleich von Wissensklassen und Klassen der Problemlösefähigkeit vornimmt. Die Klasseneinteilung erfolgt bei Friege durch latente Klassenanalysen, z.B. über verschiedene Wissensvariablen wie Faktenwissen oder Strukturparametern aus Wissensnetzen. Er kann so seine Probanden (Schüler) drei Kategorien des Problemlösens und des Wissens zuordnen (bezeichnet jeweils als „Anfänger“, „Novizen“ und „Experten“, was den Stufen 1, 2 und 3 in der vorliegenden Arbeit ent-

spricht). Die Verteilung der Probanden auf die drei Kategorien ist ausgeglichener (jeweils ca. ein Drittel) als bei der hier vorgestellten Untersuchung, was auch dazu beiträgt, dass die Passung der Kategorien mit 59% etwas besser ausfällt.

Die Aussage der im Rahmen der vorliegenden Studie erhobenen Daten lässt sich besser veranschaulichen, wenn die Spaltenanteile in Prozent graphisch aufgetragen werden (s.h. Abbildung 5.12).

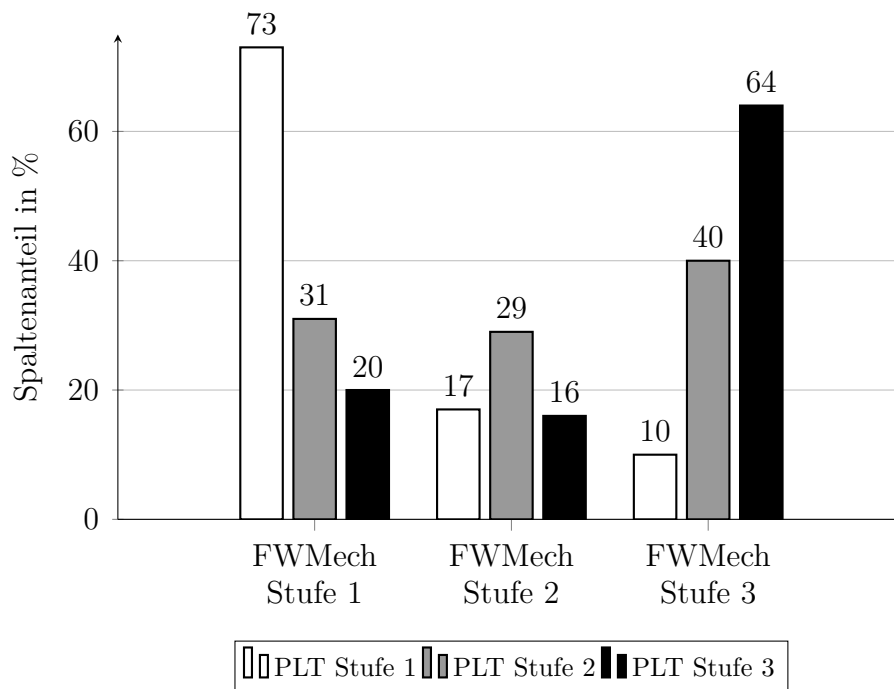


Abbildung 5.12.: Spaltenanteile Kreuztabelle Stufe Fachwissen Mechanik vs. Stufe Problemlösen

Vergleicht man die Spaltenanteile, so stellt man fest, dass sich diese in Stufe 1 und 3 des Fachwissens Mechanik signifikant unterscheiden. In Stufe 1 des Fachwissens befinden sich signifikant mehr Personen auch in Stufe 1 der Problemlösefähigkeit (73%) als in Stufe 2 (31%) oder 3 (20%). Analog ergibt sich in Stufe 3 des Fachwissens eine signifikant höhere Zuordnung zu Stufe 2 (40%) bzw. 3 (54%) des Problemlösetests als zu Stufe 1 (10%). In Stufe 2 des Fachwissens gibt es keine signifikanten Unterschiede in den Spaltenanteilen. Der Vergleich der Spaltenanteile legt nahe, dass das Fachwissen in Mechanik eine Zuordnung zu einer Stufe der Problemlösefähigkeit gut vorhersagt: In Stufe 1 der Problemlösefähigkeit sind Personen mit wenig Fachwissen häufiger vertreten als Personen aus anderen Stufen des

## 5. Auswertung

Fachwissens. Die höchste Stufe der Problemlösefähigkeit wird von Personen mit geringem Fachwissen weniger häufig erreicht als von Personen mit höherem Fachwissen. Die standardisierten Residuen bestätigen diesen Effekt. Für die Zuordnung FWMech\_Stufe 1 zu PLT\_Stufe 1 ist  $z = 3.4$  und zu PLT\_Stufe 3  $z = -2.0$ ; für FWMech\_Stufe 3 zu PLT\_Stufe 1 ist  $z = -2.4$  und zu PLT\_Stufe 3  $z = 2.3$ .

Abschließend wird die Hypothese H2b auf ihre Konsistenz mit den Ergebnissen der Kreuztabelle überprüft.

**(H2b)** Es wird erwartet, dass das *Fachwissen in Physik* und die *Erfahrung* mit dem Problemlösen einen großen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben (Kapitel 2.7.1.1; Kapitel 2.7.2).

Durch die Ergebnisse der Kreuztabelle wurde der sich in Kapitel 5.7 bereits abzeichnende Effekt bestätigt. Das vorhandene Fachwissen in Mechanik hat einen, im Vergleich zu den anderen Prädiktoren, großen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen, was sich auch in der ermittelten Effektstärke zeigt. Personen mit wenig Fachwissen können häufiger Probleme nicht angemessen lösen, wohingegen Personen mit viel Fachwissen häufiger gut im Problemlösetest abschneiden.

Wie bei der Betrachtung der anderen Variablen in den folgenden Kapiteln noch gezeigt wird, kann insbesondere das Fachwissen in Mechanik zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen herangezogen werden. Es wird sich als abschließende Erkenntnis herauskristallisieren, dass vor allem das Fachwissen in Mechanik den Erfolg beim Problemlösen beeinflusst und die anderen erhobenen Variablen indirekt über das Fachwissen in Mechanik wirken.

### 5.8.2. Fachwissen Mathematik vs. Problemlösen

Ausgehend vom Fachwissen in Mechanik wird ebenfalls erwartet, dass das Fachwissen in Mathematik einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat, weshalb im Folgenden die Stufeneinteilungen miteinander verglichen werden.

Der  $\chi^2$ -Test zeigt, dass die Zuteilung zu den Stufen der Problemlösefähigkeit und des Fachwissens in Mechanik nicht unabhängig voneinander sind ( $\chi^2(4) = 17.03$ ,  $p_{\text{exakt}} = .000$ ), bei kleinem bis mittlerem Effekt (Cramér's  $V = .26$ ,  $p_{\text{exakt}} = .000$ ). Um weiter einzugrenzen, woher dieser Effekt stammt, werden im Folgenden die korrekten Zuordnungen der Stufen zueinander, die Spaltenanteile und die standardisierten Residuen überprüft.

|           |                | Problemlösetest |                   |                 | Gesamt |
|-----------|----------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------|
|           |                | Stufe 1         | Stufe 2           | Stufe 3         |        |
| <b>FW</b> | <b>Stufe 1</b> | 11 <sub>a</sub> | 11 <sub>a</sub>   | 3 <sub>b</sub>  | 25     |
|           | <b>Stufe 2</b> | 8 <sub>a</sub>  | 6 <sub>a</sub>    | 11 <sub>a</sub> | 25     |
|           | <b>Stufe 3</b> | 11 <sub>a</sub> | 28 <sub>a,b</sub> | 41 <sub>b</sub> | 80     |
| Gesamt    |                | 30              | 45                | 55              | 130    |

Betrachtet man die Daten zeilenweise, so kennzeichnen identische tiefgestellte Buchstaben Spaltenanteile, die sich auf den .05-Niveau nicht signifikant voneinander unterscheiden.

Tabelle 5.11.: Kreuztabelle Stufe Fachwissen Mathematik vs. Stufe Problemlösen

Bei einem Zusammenhang zwischen den erreichten Stufen der Problemlösefähigkeit und den Stufen beim Fachwissen Mathematik müssten viele Personen auf der Diagonalen der Tabelle 5.11 liegen. Dies trifft in den tatsächlichen Daten für 58 Personen (45%) zu. Unter der Diagonalen liegen 47 Personen (36%), die trotz höherer Fachwissensstufe nur eine niedrige Stufe der Problemlösefähigkeit erreichen. Oberhalb der Diagonalen befinden sich 25 Personen (19%), die eine höhere Stufe beim Problemlösen als beim Fachwissen Mathematik erreichen. Die Betrachtung der Zuordnung zu Nachbarstufen (z.B. eine Person, die in Stufe 1 Fachwissen Mathematik und Stufe 2 Problemlösefähigkeit fällt) ergibt, dass, ausgehend vom Fachwissen 22 Personen (17%) einer unmittelbar höheren und 36 Personen

## 5. Auswertung

(28%) einer unmittelbar niedrigeren Stufe der Problemlösefähigkeit zugeordnet werden.

Die Unterschiede der Zuordnungen können, ähnlich wie im vorangegangenen Kapitel, zum Beispiel über träges Wissen erklärt werden. Hinzu kommt, dass (wie in Kapitel 2.7.1.2 dargestellt) bei Personen, die gut Probleme lösen können, auch ein hohes Fachwissen in Mathematik vorhanden ist, aber nicht umgekehrt von einem guten Fachwissen auf erfolgreiches Problemlösen geschlossen werden kann, was einen Teil der Fälle, die unterhalb der Diagonalen liegen, erklärt.

Näher betrachtet werden erneut die extremen Fälle, d.h. Personen, in Feldern, die am weitesten entfernt von der Diagonalen liegen.

Elf Personen haben die höchste Stufe beim Fachwissen in Mathematik erreicht, jedoch die niedrigste Stufe beim Problemlösen. Gemeinsam ist diesen Personen, dass sie schlecht beim Problemlösetest abgeschnitten und oft 0 Punkte in den verschiedenen Phasen des Problemlösens erreicht haben. Der oben angesprochene Effekt, dass mathematisches Wissen nicht hinreichend zum erfolgreichen Problemlösen ist, wird hierdurch abgebildet. Das schlechte Abschneiden beim Problemlösetest kann dadurch erklärt werden, dass die Personen ein niedrigeres Fachwissen in Mechanik haben (Stufe 1 oder 2) oder bei Stufe 3 Effekten trägen Wissens (identische Personen wie in Kapitel 5.8.1) unterworfen sind.

Nur drei Personen haben die höchste Stufe beim Problemlösen und die niedrigste Stufe beim Fachwissen Mathematik erreicht. Untersucht man diese Fälle genauer, stellt man fest, dass die drei Personen über solides Fachwissen in Mechanik verfügen (Stufe 2 oder 3), was die fehlenden Kenntnisse in Mathematik ausgleichen kann.

Eine anschaulichere Darstellung der Daten erfolgt über einen Vergleich der Spaltenanteile in Prozent, der in Abbildung 5.13 dargestellt ist.

Vergleicht man die Spaltenanteile (s.h. Abbildung 5.13), so stellt man fest, dass sich diese lediglich in Stufe 1 und 3 des Fachwissens Mathematik signifikant unterscheiden. In Stufe 1 des Fachwissens befinden sich signifikant mehr Personen auch in Stufe 1 (37%) oder 2 der Problemlösefähigkeit (24%) als in Stufe 3 (5%). Analog ergibt sich in Stufe 3 des Fachwissens

## 5.8. Vergleich der Stufen- bzw. Klassenzugehörigkeiten

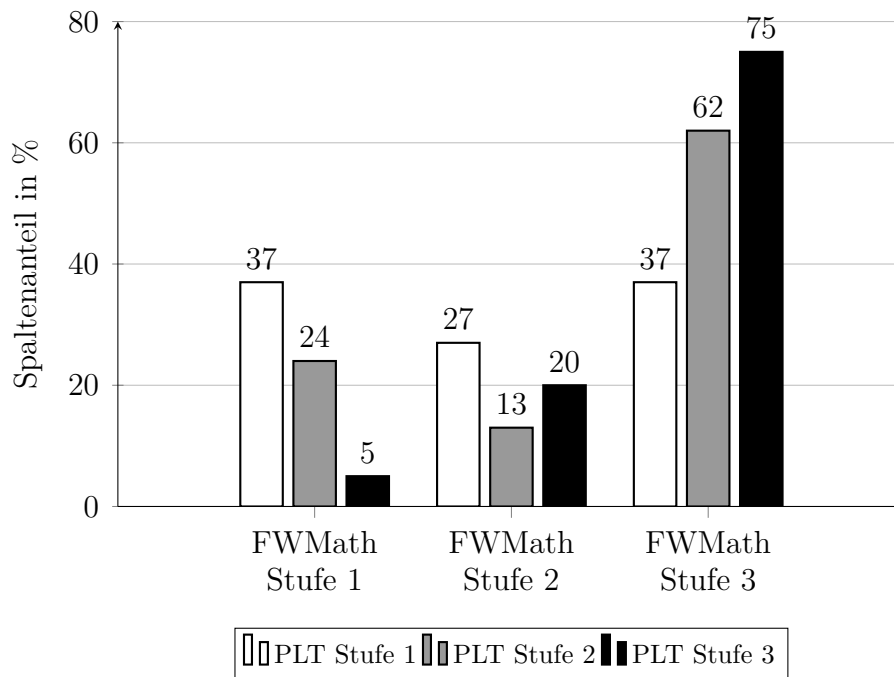


Abbildung 5.13.: Spaltenanteile Kreuztabelle Stufe Fachwissen Mechanik vs. Stufe Problemlösen

eine signifikant höhere Zuordnung zu Stufe 1 (37%) als zu Stufe 3 (75%) des Problemlösetests. In Stufe 2 des Fachwissens gibt es keine signifikanten Unterschiede in den Spaltenanteilen. Der Vergleich der Spaltenanteile legt eine ähnliche Interpretation wie beim Fachwissen in Mechanik nahe. Fehlendes Fachwissen in Mathematik ist ein Indikator für die Zuordnung zu niedrigeren Stufen der Problemlösefähigkeit, auch wenn er schwächer ausfällt, als bei fehlendem Fachwissen in Mechanik (Zuordnung Stufe 1 Problemlösen bei Stufe 1 Fachwissen Mechanik 73% und bei Mathematik 37%). Der Effekt zeigt sich auch dadurch, dass nur 5% der Personen, die die höchste Stufe beim Problemlösen erreicht haben, der Stufe 1 des Fachwissens angehören. Die standardisierten Residuen bestätigen die Effekte. Für die Zuordnung FWMath\_Stufe 1 zu PLT\_Stufe 1 ist  $z = 2.2$  und für FWMath\_Stufe 1 zu PLT\_Stufe 3 ist  $z = -2.3$ .

Auch anhand der Kreuztabelle zum Fachwissen Mathematik kann eine Hypothese zur Forschungsfrage 2 überprüft werden.

Durch den Vergleich der Stufenzuordnungen in der Kreuztabelle zeigt sich, dass auch das Fachwissen in Mathematik ein Indikator für den Erfolg

**(H2c)** Es wird erwartet, dass auch das *Fachwissen in Mathematik* einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat (Kapitel 2.7.1.2).

beim Problemlösen ist – Personen mit großem Fachwissen in Mathematik werden häufig der Stufe 3 beim Problemlösen zugeordnet.

Wie in Kapitel 2.7.1.2 dargestellt, wird vermutet, dass Personen, die gut Probleme lösen können, auch ein hohes Fachwissen in Mathematik aufweisen, dass aber nicht umgekehrt von einem guten Fachwissen in Mathematik auf erfolgreiches Problemlösen geschlossen werden kann. Durch die Betrachtung der Extremfälle wird bestätigt, dass Fachwissen in Mathematik nicht ausreicht, um Probleme erfolgreich zu lösen. Auch die Bedeutung des Fachwissens Mechanik wird durch die Extremfälle unterstrichen: Personen, die trotz schlechter Leistungen im Mathematiktest beim Problemlösen gut abschneiden, haben ein gutes Fachwissen in Mechanik. Umgekehrt verfügen Personen, die gut in Mathematik abschneiden, aber schlecht beim Problemlösen, über geringeres Fachwissen in Mechanik. Insgesamt erscheint es plausibel, dass hohes Fachwissen in Mathematik indirekt über das Fachwissen in Mechanik wirkt – wer ein hohes Fachwissen in Mechanik besitzt, hat auch gute Kenntnisse in Mathematik, kann aber aufgrund des Fachwissens in Mechanik Probleme gut lösen. Der indirekte Effekt der Mathematik auf das Problemlösen wird in Kapitel 5.10.1 genauer untersucht.

### 5.8.3. Selbstkonzept vs. Problemlösen

Für das Selbstkonzept konnten in Kapitel 5.5 drei Klassen ermittelt werden, die sich über die Höhe voneinander unterscheiden. Aus diesem Grund kann auch bei den Klassen des Selbstkonzepts, analog zu den beiden vorangegangenen Kapiteln, geprüft werden, ob ein höheres Selbstkonzept mit einem größeren Erfolg beim Problemlösen einhergeht.

Der  $\chi^2$ -Test zeigt, dass die Zuteilung zu den Stufen der Problemlösefähigkeit und den Klassen des Selbstkonzepts nicht unabhängig voneinander ist ( $\chi^2(4) = 17.49$ ,  $p_{\text{exakt}} = .000$ ), bei kleinem bis mittlerem Effekt (Cramér's  $V = .26$ ,  $p_{\text{exakt}} = .010$ ). Um weiter einzugrenzen, woher dieser Effekt stammt, werden im Folgenden die korrekten Zuordnungen der Stufen zueinander, die Spaltenanteile und die standardisierten Residuen überprüft.

|                                |              | Problemlösetest |                 |                 | Gesamt          |
|--------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                |              | Stufe 1         | Stufe 2         | Stufe 3         |                 |
| Klasse des Selbstkonzepts (SK) | niedriges SK | 13 <sub>a</sub> | 13 <sub>a</sub> | 4 <sub>b</sub>  | 30              |
|                                | mittleres SK | 11 <sub>a</sub> | 23 <sub>a</sub> | 28 <sub>a</sub> | 62              |
|                                | hohes SK     | 6 <sub>a</sub>  | 10 <sub>a</sub> | 23 <sub>a</sub> | 39 <sub>a</sub> |
|                                | Gesamt       | 30              | 46              | 52              | 131             |

Betrachtet man die Daten zeilenweise, so kennzeichnen identische tiefergestellte Buchstaben Spaltenanteile, die sich auf dem .05-Niveau nicht signifikant voneinander unterscheiden.

Tabelle 5.12.: Kreuztabelle Klasse des Selbstkonzepts vs. Stufe Problemlösen

Unter der Annahme eines Zusammenhangs zwischen dem Selbstkonzept und dem Erfolg beim Problemlösen wäre zu erwarten, dass viele Personen auf der Diagonalen der Tabelle 5.12 liegen. Dies trifft in den tatsächlichen Daten für 59 Personen (45%) zu. Unter der Diagonalen liegen 27 Personen (21%), die trotz höherer Stufe des Selbstkonzepts nur eine niedrige Stufe der Problemlösefähigkeit erreichen. Oberhalb der Diagonalen befinden sich 45 Personen (34%), die eine höhere Stufe beim Problemlösen als beim Selbstkonzept erreichen. Erwartungsgemäß ist die Deckungsgleichheit der Klassen bzw. Stufen beim Selbstkonzept geringer als beim Fachwissen



## 5. Auswertung

in Mechanik, da von letzterem ein höherer Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen vorausgesagt wird (vgl. Kapitel 2.7.3).

Die Betrachtung der Zuordnung zu Nachbarstufen (z.B. eine Person, die ein niedriges Selbstkonzept besitzt und Stufe 2 der Problemlösefähigkeit erreicht) ergibt, dass, ausgehend vom Selbstkonzept 41 Personen (31%) einer unmittelbar höheren und 21 Personen (16%) einer unmittelbar niedrigeren Stufe der Problemlösefähigkeit zugeordnet werden.

Bei näherer Betrachtung der extremen Fälle zeigt sich, dass die sechs Personen, deren Ergebnisse schlechter als erwartet sind (hohes SK aber niedrige Stufe beim PLT), überwiegend im Fachwissen Stufe 2 oder nur 1 besitzen und entsprechend der Nachbarstufe im Problemlösen zugeordnet werden. Die zwei Personen, die im Fachwissen Mechanik auf Stufe 3 eingeordnet werden, sind dieselben, bei denen in Kapitel 5.8.1 träges Wissen als Erklärung für das schlechte Abschneiden im Problemlösetest herangezogen wurde.

Vier Personen besitzen ein niedriges Selbstkonzept und erreichen die höchste Stufe der Problemlösefähigkeit. Betrachtet man diese Fälle genauer, stellt man fest, dass sie ein solides Fachwissen in Mechanik besitzen, was die Bedeutung des Fachwissens Mechanik über die anderen Prädiktoren weiter unterstreicht.

Abbildung 5.14 zeigt die prozentualen Spaltenanteile.

Vergleicht man die Spaltenanteile, so stellt man fest, dass sich diese lediglich in der Klasse des niedrigen Selbstkonzepts signifikant unterscheiden – hier befinden sich signifikant mehr Personen in Stufe 1 der Problemlösefähigkeit als in Stufe 3. Die Verteilung der Spaltenanteile bestätigt den, im Vergleich zum Fachwissen in Mechanik, geringeren Einfluss des Selbstkonzepts auf den Erfolg beim Problemlösen. Lediglich bei niedrigem Selbstkonzept kann eine häufigere Zuordnung in die Stufe 1 der Problemlösefähigkeit beobachtet werden. Die standardisierten Residuen bestätigen die Tendenz dieses Effekts. Für die Zuordnung niedriges SK zu PLT\_Stufe 1 ist  $z = 1.8$ , was jedoch unter dem Wert für Signifikanz von 1.96 liegt.

Mit den Ergebnissen der Kreuztabelle zum Selbstkonzept kann der erste Teil der Hypothese H2d überprüft werden.

## 5.8. Vergleich der Stufen- bzw. Klassenzugehörigkeiten

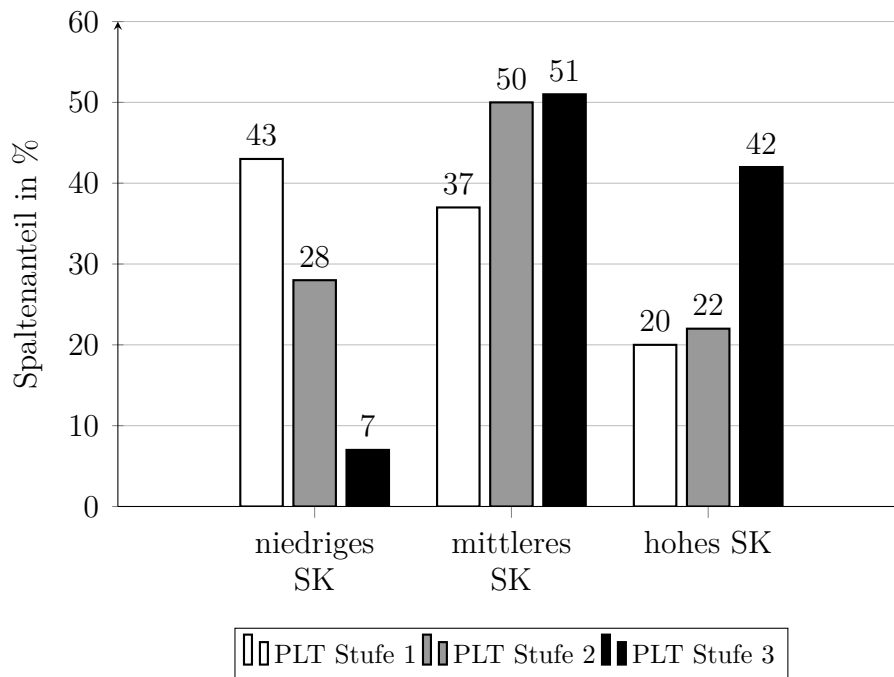


Abbildung 5.14.: Spaltenanteile Kreuztabelle Klasse des Selbstkonzepts vs. Stufe Problemlösen

**(H2d)** Es wird erwartet, dass weitere personenbezogene Faktoren, wie das *Selbstkonzept* und die *Beliebtheit* verschiedener physikalischer Tätigkeiten einen (geringeren) Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben (Kapitel 2.7.3; Kapitel 2.7.4).

Durch den Vergleich der Stufenzuordnungen in der Kreuztabelle zeigt sich, dass das Selbstkonzept einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat – Personen mit höherem Selbstkonzept erreichen häufiger die Stufe 3 beim Problemlösen. Es wird aber auch die Bedeutung des Fachwissens in Mechanik deutlich: Ein geringeres Selbstkonzept kann durch gutes Fachwissen ausgeglichen werden. In Kapitel 5.10.1 wird gezeigt, dass das Selbstkonzept sowohl indirekt über das Fachwissen in Mechanik wirkt als auch einen direkten Anteil bei der Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen besitzt.

#### 5.8.4. Beliebtheit von Tätigkeiten vs. Problemlösen

Die Klassen der Beliebtheit von Tätigkeiten (s.h. Kapitel 5.6) unterscheiden sich von den vorangegangenen Einteilungen dahingehend, dass sie keine quantitativen Unterschiede zwischen den Probanden beschreiben (z.B. mehr Fachwissen, höheres Selbstkonzept), sondern qualitative Unterschiede aufzeigen: Die Stichprobe konnte den Klassen „Theoretiker/Rechner“, „Praktiker“ und „unbeliebt“ zugeteilt werden. Aber auch bei qualitativ unterschiedlichen Klassen ist es interessant zu überprüfen, ob ein Zusammenhang zum Erfolg beim Problemlösen besteht.

Der  $\chi^2$ -Test zeigt, dass die Zuteilung zu den Stufen der Problemlösefähigkeit und der Beliebtheit von Tätigkeiten in Physik nicht unabhängig voneinander sind ( $\chi^2(4) = 10.40$ ,  $p_{\text{exakt}} = .006$ ), bei kleinem Effekt (Cramér's  $V = .20$ ,  $p_{\text{exakt}} = .006$ ). Um weiter einzugrenzen, woher dieser Effekt stammt, werden im Folgenden die korrekten Zuordnungen der Stufen zueinander, die Spaltenanteile und die standardisierten Residuen überprüft.

|                                             |                     | Problemlösetest |                 |                   | Gesamt |
|---------------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------|
|                                             |                     | Stufe 1         | Stufe 2         | Stufe 3           |        |
| Klasse LCA<br>Beliebtheit v.<br>Tätigkeiten | unbeliebt           | 12 <sub>a</sub> | 6 <sub>a</sub>  | 14 <sub>a,b</sub> | 32     |
|                                             | Praktiker           | 13 <sub>a</sub> | 27 <sub>a</sub> | 21 <sub>a</sub>   | 61     |
|                                             | Theoretiker/Rechner | 5 <sub>a</sub>  | 13 <sub>b</sub> | 20 <sub>b</sub>   | 38     |
|                                             | Gesamt              | 30              | 46              | 55                | 131    |

Betrachtet man die Daten zeilenweise, so kennzeichnen identische tiefergestellte Buchstaben Spaltenanteile, die sich auf dem .05-Niveau nicht signifikant voneinander unterscheiden.

Tabelle 5.13.: Kreuztabelle Klasse der Beliebtheit von Tätigkeiten vs. Stufe Problemlösen

Da sich die Klassen der Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten qualitativ voneinander unterscheiden und so nicht in eine Rangfolge gebracht werden können, ist es nicht sinnvoll zu untersuchen, wie viele Personen auf der Diagonalen der Kreuztabelle liegen. Deshalb werden lediglich die unterschiedlichen Spaltenanteile betrachtet (s.h. Abbildung 5.15).

Vergleicht man die Spaltenanteile, so stellt man fest, dass sich diese nur bei der Klasse der Personen, bei denen physikalische Tätigkeiten unbeliebt

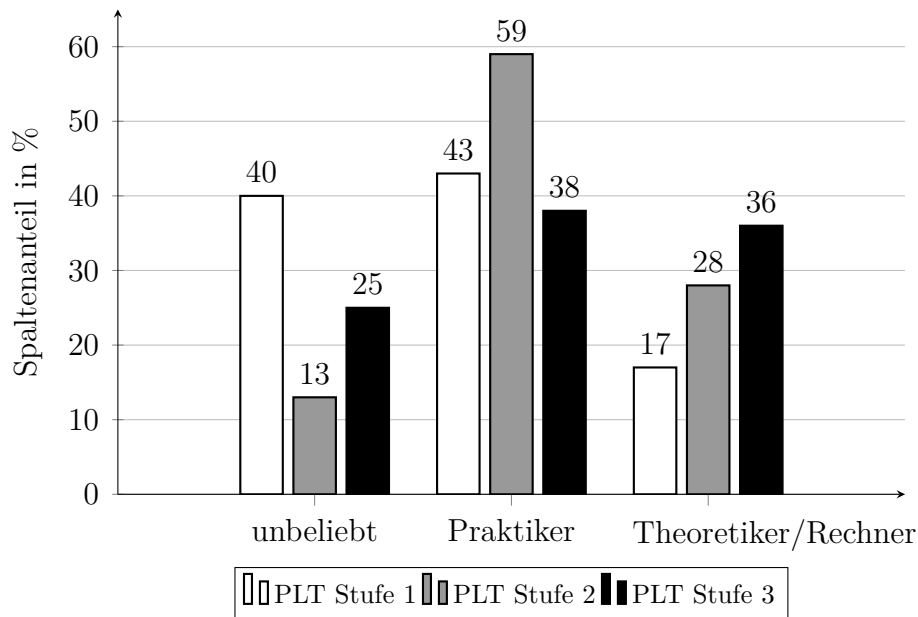


Abbildung 5.15.: Spaltenanteile Kreuztabelle Klasse Beliebtheit von Tätigkeiten vs. Stufe Problemlösen

sind, signifikant voneinander unterscheiden. In dieser Klasse erreichen signifikant mehr Personen Stufe 1 (40%) der Problemlösefähigkeit als Stufe 2 (13%). Der Effekt lässt sich dadurch erklären, dass sich Personen, bei denen physikalische Tätigkeiten eher unbeliebt sind, in der Vergangenheit weniger damit beschäftigt haben und somit über eine geringere Erfahrung und weniger Fachwissen verfügen und deswegen tendenziell schlechter beim Problemlösen abschneiden. Die standardisierten Residuen bestätigen diesen Effekt für die Zuordnung unbeliebt zu PLT\_Stufe 1 ist  $z = 1.7$  bzw. zu PLT\_Stufe 2  $z = -1.6$ , was jedoch unter dem kritischen Wert von 1.96 liegt.

Wird trotz geringer Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten Stufe 3 der Problemlösefähigkeit erreicht, so kennzeichnen sich die Personen darüber, dass sie im Fachwissen Mechanik gut abgeschnitten haben. Personen, die trotz hohem Interesse nur Stufe 1 beim Problemlösen erreicht haben, besitzen nur eine niedrige Stufe beim Fachwissen Mechanik (1 oder 2).

Nach der Untersuchung der Kreuztabelle zur Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten kann auch der zweite Teil der Hypothese H2d überprüft werden.

Bei der Untersuchung der Beliebtheit von Tätigkeiten zeigt sich, dass

**(H2d)** Es wird erwartet, dass weitere personenbezogene Faktoren, wie das *Selbstkonzept* und die *Beliebtheit* verschiedener physikalischer Tätigkeiten einen (geringeren) Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben (Kapitel 2.7.3; Kapitel 2.7.4).

sich die Unbeliebtheit physikalischer Tätigkeiten negativ auf das Erreichen einer höheren Stufe beim Problemlösen auswirkt, was jedoch im Vergleich zu den anderen erhobenen Variablen der schwächste Zusammenhang ist. Auch bei der Gegenüberstellung der Klassen der Beliebtheit von Tätigkeiten und dem Erfolg beim Problemlösen wird deutlich, dass er indirekt über das Fachwissen in Mechanik erklärt werden kann. Wird trotz geringem Interesse Stufe 3 der Problemlösefähigkeit erreicht, so kennzeichnen sich die Personen dadurch, dass sie im Fachwissen Mechanik gut abgeschnitten haben.

## 5.9. Korrelationen der einzelner Prädiktoren

Um einen über die kategoriale Betrachtung hinausgehenden Eindruck von der Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren zu bekommen, wird im Folgenden der direkte Zusammenhang zwischen den in 2.7 vorgestellten Prädiktoren und dem Problemlösen untersucht. Hierzu werden zunächst die Korrelationen zu den im Problemlösetest erreichten Punkten (PLT\_Punkte) berechnet.

|                   |                     | <b>FWMech</b> | <b>FWMath</b>    | <b>Erfahrung</b> | <b>SK</b>    |
|-------------------|---------------------|---------------|------------------|------------------|--------------|
| <b>PLT_Punkte</b> | <i>r</i>            | 0.45**        | 0.38**           | 0.29**           | 0.41**       |
|                   | <i>p</i> (2-seitig) | .000          | .000             | .001             | .000         |
|                   | 95% KI              | [0.30; 0.58]  | [0.26; 0.50]     | [0.12; 0.44]     | [0.26; 0.55] |
|                   |                     | <b>zAbi</b>   | <b>zNotePhys</b> |                  |              |
|                   | <i>r</i>            | 0.28**        | 0.33**           |                  |              |
|                   | <i>p</i> (2-seitig) | .002          | .000             |                  |              |
|                   | 95% KI              | [0.10; 0.44]  | [0.18; 0.48]     |                  |              |

Korrelationen nach Pearson;  $N = 128$ ; \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

Tabelle 5.14.: Korrelation der erreichten Punkte im PLT mit den Prädiktoren

Über die Untersuchung der Korrelationen der einzelnen Prädiktoren mit der erreichten Punktzahl beim Problemlösetest kann aus kontinuierlicher Perspektive (im Gegensatz zur kategorialen Betrachtung in Kapitel 5.8) die Gültigkeit eines Teils der Hypothesen zu Forschungsfrage F2 geprüft werden.

Alle Prädiktorvariablen korrelieren signifikant mit den erreichten Punkten im Problemlösetest (Bestätigung der Hypothese H2a). Der Zusammenhang mit dem Fachwissen in Mechanik ist – wie aus den Ausführungen in Kapitel 2.7.1 zu erwarten war – mit  $r = .45$  am stärksten (Bestätigung der Hypothese H2b). Das Selbstkonzept ( $r = .41$ ) weist einen ähnlich starken direkten Zusammenhang mit dem Erfolg beim Problemlösen auf, ebenso wie das Fachwissen in Mathematik ( $r = .38$ ) (Bestätigung der Hypothesen H2b und H2c). Ausgehend von den theoretischen Erwartungen wäre eine ebenfalls ähnlich hohe Korrelation der Erfahrung zu erwarten gewesen, die

**(H2a)** Es wird erwartet, dass die in die Untersuchung *einbezogenen Einflussfaktoren* (Kapitel 2.7) einen *Einfluss* auf den Erfolg beim Problemlösen haben.

**(H2b)** Es wird erwartet, dass das *Fachwissen in Physik* und die *Erfahrung* mit dem Problemlösen einen großen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben (Kapitel 2.7.1.1; Kapitel 2.7.2).

**(H2c)** Es wird erwartet, dass auch das *Fachwissen in Mathematik* einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat (Kapitel 2.7.1.2).

**(H2d)** Es wird erwartet, dass weitere personenbezogene Faktoren, wie das *Selbstkonzept* und die *Beliebtheit* verschiedener physikalischer Tätigkeiten einen (geringeren) Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben (Kapitel 2.7.3; Kapitel 2.7.4).

mit  $r = .29$  etwas niedriger ausfällt (Abschwächung der Hypothese H2b). Hierzu bleibt aber anzumerken, dass die Art der Erhebung der Erfahrung über einen einfachen Kennwert, der sich vor allem über die zeitliche Beschäftigung mit Physik zusammensetzt, nicht das komplette Ausmaß der Erfahrung erheben kann.

Zusätzlich zu den in Kapitel 2.7 beschriebenen Größen wurden die Korrelationen mit der Abiturnote ( $r = .28$ ) und der letzten Note in Physik ( $r = .33$ ) berechnet. Von diesen Größen ist anzunehmen, dass sie den Erfolg beim Problemlösen nicht direkt beeinflussen (z.B. Wer eine gute Physiknote hat, kann deswegen gut Probleme lösen.), sondern indirekt auf andere Prädiktoren wirken (z.B. Eine bessere Note in Physik zeigt, dass jemand mehr Fachwissen in Physik hat und deshalb Probleme besser lösen kann.). Auch bei den anderen erhobenen Variablen zeigt sich, dass sie nicht nur einen direkten Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben, sondern auch untereinander in einem Zusammenhang stehen. So korreliert beispielsweise das Fachwissen in Mechanik hoch mit dem Fachwissen in Mathematik ( $r = .69, p = .000, 95\% \text{ KI } [0.58, 0.78]$ ) oder dem Selbstkonzept ( $r = .52, p = .000, 95\% \text{ KI } [0.41, 0.63]$ ). Die indirekten Zusammenhänge zwischen den Variablen und dem Erfolg beim Problemlösen werden für eine differenziertere Betrachtung der Hypothesen H2a bis H2d in Kapitel 5.10.1 genauer untersucht, um die Zusammenhänge weiter aufzudecken. Auch im

### 5.9. Korrelationen der einzelner Prädiktoren

Hinblick auf die abschließend geplante lineare Regression ist es wichtig, Größen auszuwählen, die nicht zu stark untereinander in Beziehung stehen (Vermeidung von Multikollinearität).



## 5.10. Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen durch lineare Regression

In den vorangegangenen Kapiteln wurde der Zusammenhang zwischen den Prädiktorvariablen und dem Erfolg beim Problemlösen über den Vergleich der Zuordnung zu den Stufen bzw. Klassen und Korrelationen untersucht. Wie sich herausstellte, zeigt sich vor allem das Fachwissen Mechanik als verantwortlich für den Erfolg beim Problemlösen, sowohl direkt als auch indirekt. Die kategorialen Betrachtungen aus Kapitel 5.7 bzw. Kapitel 5.8 und direkten Korrelationen aus Kapitel 5.9 werden in den folgenden Kapiteln durch kontinuierliche Auswertungen in Form von linearer Regression bestätigt und weiter ausdifferenziert.

### 5.10.1. Indirekte Effekte auf den Erfolg beim Problemlösen

Wie in Kapitel 5.9 bereits angerissen, wird davon ausgegangen, dass nicht alle der ausgewählten Prädiktorvariablen direkt mit dem Erfolg beim Problemlösen in Beziehung stehen, sondern dass die Korrelationen über indirekte Effekte entstehen. Eine Art des indirekten Effekts stellt die Mediation dar, deren Grundidee im Folgenden kurz vorgestellt wird.

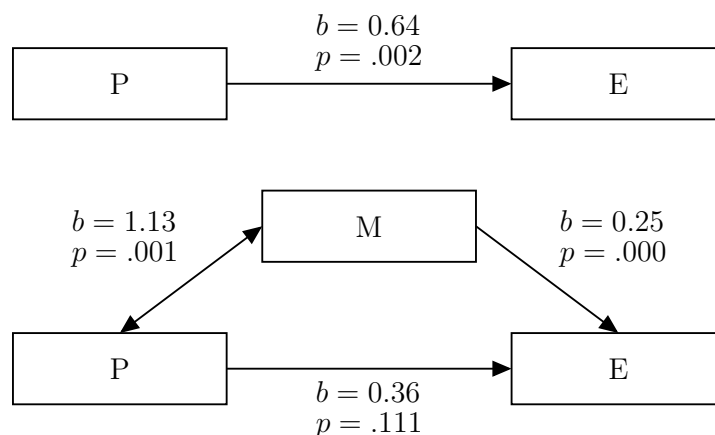


Abbildung 5.16.: Beispiel für Mediation

Bei der Mediation werden jeweils drei Variablen über lineare Regression untersucht: der Prädiktor P, der Mediator M und das Ergebnis E. Man spricht von Mediation, wenn die Beziehung zwischen Prädiktor und Er-

gebnis durch die Einbeziehung des Mediators geschwächt wird – anders ausgedrückt „erklärt“ der Mediator die direkte Beziehung zwischen Prädiktor und Ergebnis (vgl. Field, 2013). Abbildung 5.16 zeigt ein Beispiel. P und E stehen in einem linearen Zusammenhang (oberer Teil der Graphik). Eine einfache Interpretation hierfür wäre, dass der Prädiktor das Ergebnis direkt beeinflusst. Fügt man jedoch den Mediator M hinzu, ergibt sich ein anderes Bild (unterer Teil der Graphik). Bei einer linearen Regression mit P und M als unabhängiger Variable verliert der Prädiktor seinen signifikanten Einfluss. Der Effekt des Prädiktors auf das Ergebnis ist lediglich ein indirekter über den Mediator M. Grundsätzlich ist der Einfluss des Mediators auf das Ergebnis entscheidend – da jedoch auch Prädiktor und Mediator in einer Beziehung zueinander stehen, scheint es ohne Berücksichtigung des Mediators so, als würde der Prädiktor das Ergebnis vorhersagen. Im Folgenden werden die aus Kapitel 5.9 bekannten Korrelationen mit Mediationsanalysen untersucht und so indirekte Effekte aufgedeckt.

### 5.10.1.1. Indirekter Effekt der Noten

Von der Abiturnote ist bekannt, dass sie den Studienerfolg im Allgemeinen gut vorhersagt (s.h. z.B. Trapmann et al., 2007). In Kapitel 5.9 wurde sie deshalb als Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen untersucht und es zeigte sich ein mittlerer Zusammenhang ( $r = .28$ ). Die Annahme, dass die Abiturnote die Leistung beim Problemlösen direkt beeinflusst, ist jedoch nicht sinnvoll – vielmehr kann vermutet werden, dass die Note die Schulleistung im Allgemeinen widerspiegelt und somit im Speziellen die Leistung und das Fachwissen in Physik.

Abbildung 5.17 zeigt die Ergebnisse der Mediationsanalyse. Ohne das Fachwissen in Mechanik ist die Abiturnote ein guter Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen ( $b = 0.61, p = .002, R^2 = .08$ ). Bei Aufnahme des Fachwissens Mechanik wird dieser Zusammenhang soweit abgeschwächt, dass er nicht mehr signifikant ist ( $b_{zAbi} = 0.34, p = .115, b_{FWMech} = 0.25, p = .000, R^2 = .24$ ). Der indirekte Effekt der Abiturnote über das

## 5. Auswertung

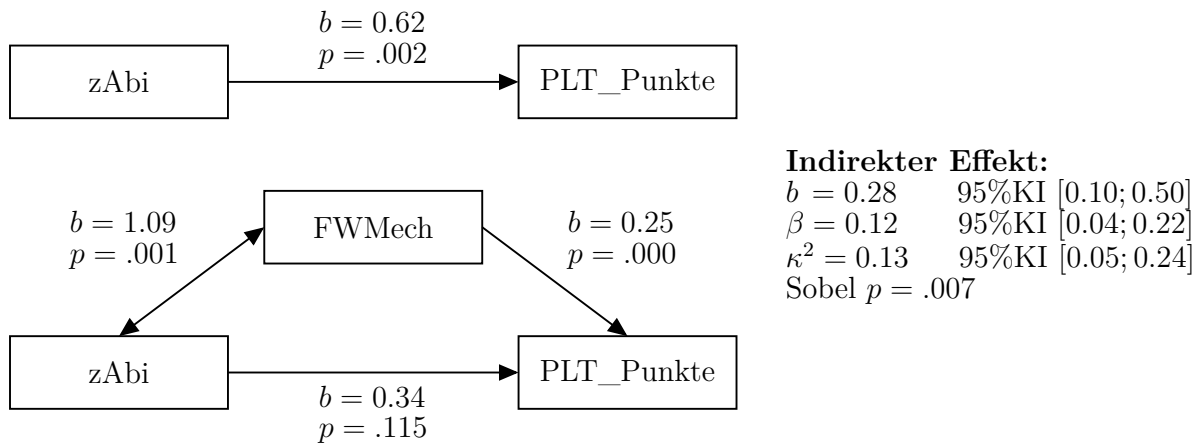


Abbildung 5.17.: Indirekter Effekt der Abiturnote über das Fachwissen Mechanik

Fachwissen ist signifikant ( $\beta = 0.12$ , 95%KI [0.04; 0.22]) bei mittlerem Effekt ( $\kappa^2 = 0.13$ , 95%KI [0.05; 0.22]).<sup>2</sup>

Für eine lineare Regression des Erfolgs beim Problemlösen kann auf die Einbeziehung der Abiturnote verzichtet werden, da deren Einfluss in Gegenwart des Fachwissens Mechanik nicht mehr bedeutsam ist.

Ebenso wie die Abiturnote kann auch die letzte Note in Physik auf ihren indirekten Einfluss untersucht werden (s.h. Abbildung 5.18).

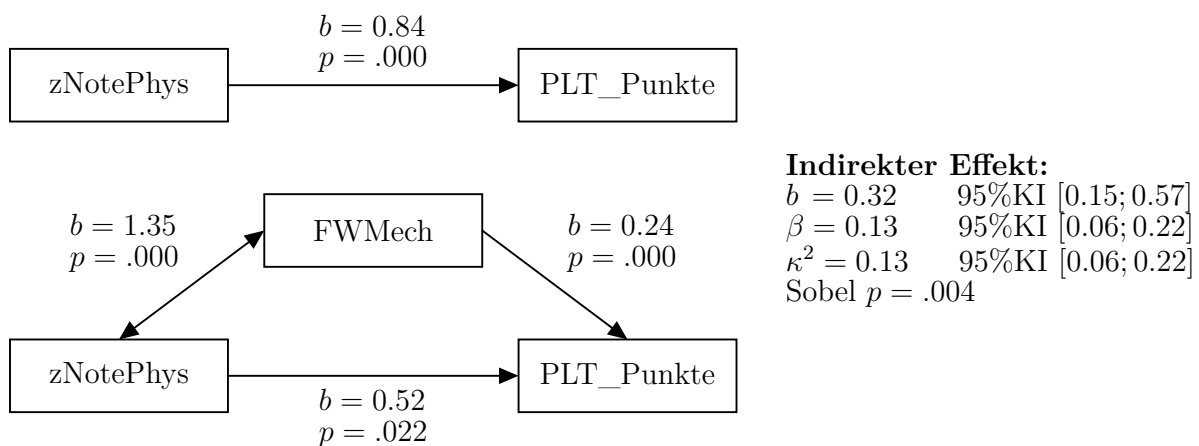


Abbildung 5.18.: Indirekter Effekt der letzten Note in Physik über das Fachwissen Mechanik

Auch die letzte Note in Physik ist alleine betrachtet ein guter Prädiktor

<sup>2</sup>Für eine bessere Vergleichbarkeit der verschiedenen Effekte werden die standardisierten Regressionskoeffizienten angegeben, deren Gültigkeit durch Bootstrap Konfidenzintervalle abgesichert sind. Als Effektstärke wird  $\kappa^2$  verwendet, das ähnlich wie das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  interpretiert werden kann.

## 5.10. Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen durch lineare Regression

für den Erfolg beim Problemlösen ( $b = 0.84$ ,  $p = .000$ ,  $R^2 = .11$ ). Wird das Fachwissen in Mechanik in die Regression mit aufgenommen, wird der Zusammenhang zwischen der letzten Note in Physik und dem Erfolg beim Problemlösen abgeschwächt ( $b_{zNotePhys} = 0.52$ ,  $p = .022$ ,  $b_{FWMech} = 0.24$ ,  $p = .000$ ,  $R^2 = .25$ ). Die Abschwächung und damit der indirekte Effekt ist signifikant ( $\beta = 0.13$ , 95%KI [0.06; 0.22]) bei mittlerem Effekt ( $\kappa^2 = 0.13$ , 95%KI [0.06; 0.22]).

Im Gegensatz zur Abiturnote wird der Einfluss der letzten Note in Physik nicht vollständig über das Fachwissen in Mechanik erklärt (Zusammenhang bleibt signifikant). Daraus ergibt sich die Vermutung, dass die letzte Note in Physik noch über andere Variablen indirekt wirkt. Von den in der Untersuchung erfassten (und wie sich in Kapitel 5.10.1.2 zeigt relevanten) Variablen wird das Selbstkonzept näher untersucht. Eine gute Note (und somit vorangegangene gute Leistungen) verstärken ein positives Selbstkonzept (s.h. Kapitel 2.7.3).

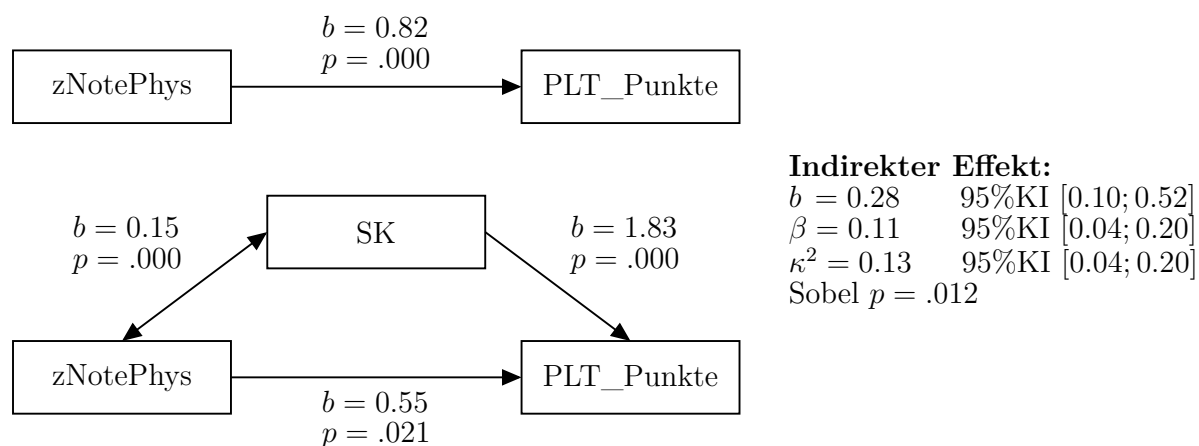


Abbildung 5.19.: Indirekter Effekt der letzten Note in Physik über das Selbstkonzept

Wird das Selbstkonzept als Prädiktor in die Regression des Erfolgs beim Problemlösen aufgenommen, wird der Zusammenhang zwischen der letzten Note in Physik und dem Erfolg beim Problemlösen, wie erwartet, abgeschwächt

( $b_{zNotePhys} = 0.55$ ,  $p = .021$ ,  $b_{SK} = 1.83$ ,  $p = .000$ ,  $R^2 = .22$ ). Die Abschwächung und damit der indirekte Effekt ist signifikant ( $\beta = 0.11$ , 95%KI [0.04; 0.20]) bei mittlerem Effekt ( $\kappa^2 = 0.11$ , 95%KI [0.04; 0.19]),

## 5. Auswertung

wenn auch etwas schwächer als bei der Mediation über das Fachwissen in Mechanik.

Die letzte Note in Physik wirkt indirekt sowohl über das Fachwissen in Mechanik, als auch über das Selbstkonzept. Es ist, wie später in Kapitel 5.10.2 auch durchgeführt, davon auszugehen, dass bei einer linearen Regression, in die sowohl das Fachwissen in Mechanik, als auch das Selbstkonzept aufgenommen werden, die letzte Note in Physik ihre Bedeutung verliert und als Regressionskoeffizient nicht mehr signifikant ist.

### 5.10.1.2. Indirekter Effekt des Selbstkonzepts

In Kapitel 2.7.3 wurde aus der Theorie angenommen, dass das Selbstkonzept einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat, dass dieser Einfluss jedoch schwächer ist als der des Fachwissens. Beim direkten Einfluss zeigt das Selbstkonzept einen ähnlich großen Effekt wie das Fachwissen ( $r = .42$ ). Dieser Effekt wird jedoch dadurch abgeschwächt, dass das Selbstkonzept auch einen Einfluss auf das Fachwissen in Mechanik bzw. umgekehrt das Fachwissen einen Einfluss auf das Selbstkonzept hat.

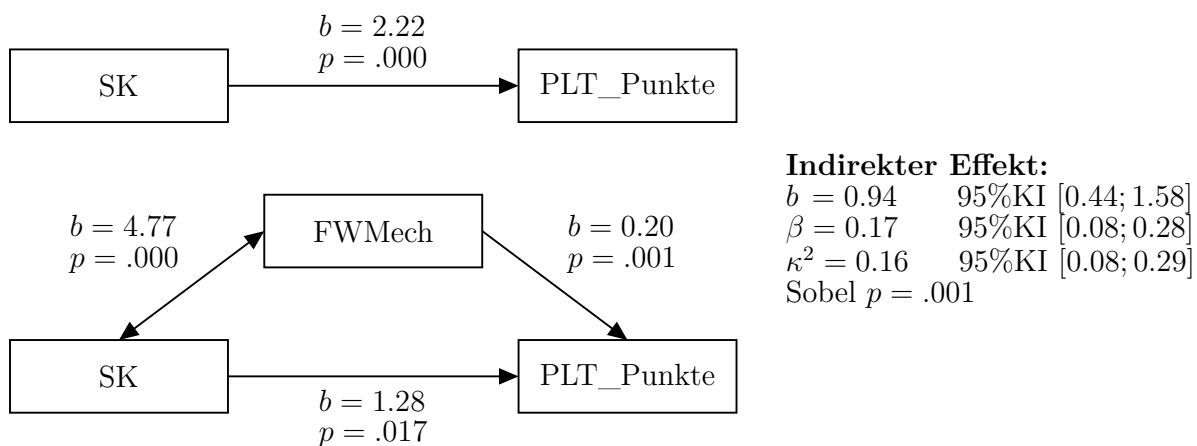


Abbildung 5.20.: Indirekter Effekt des Selbstkonzepts über das Fachwissen Mechanik

Wird das Fachwissen in Mechanik als Prädiktor in die Regression des Erfolgs beim Problemlösen aufgenommen, wird der Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept und dem Erfolg beim Problemlösen abgeschwächt ( $b_{SK} = 4.77$ ,  $p = .017$ ,  $b_{FWMech} = 0.20$ ,  $p = .001$ ,  $R^2 = .24$ ). Die Abschwä-

chung und damit der indirekte Effekt ist signifikant ( $\beta = 0.17$ , 95%KI [0.08; 0.28]) bei mittlerem Effekt ( $\kappa^2 = 0.16$ , 95%KI [0.08; 0.29]).

Das Selbstkonzept bleibt als Prädiktor auch unter der Einbeziehung des Fachwissens Mechanik bedeutsam für die Vorhersage des Erfolgs beim Problemlösen, weshalb auf das Selbstkonzept im Rahmen der linearen Regression in Kapitel 5.10.2 zurückgegriffen wird.

### 5.10.1.3. Indirekter Effekt der Erfahrung

Nach den Ergebnissen der Expertiseforschung und der Forschung zum Problemlösen (s.h. Kapitel 1.3.3 bzw. Kapitel 2.7.2) stellt die Erfahrung eine wesentliche Voraussetzung für das erfolgreiche Lösen von Problemen dar. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird ein Teil der Erfahrung über die Länge der Studiendauer, die Studienrichtung und die Belegung von Physik in der Schule erfasst. Durch die Beschränkung auf eine zeitliche Dimension ist es plausibel, dass der so gemessene Kennwert der Erfahrung nicht nur in Beziehung zum Erfolg beim Problemlösen steht ( $r = .29$ ), sondern auch zum Fachwissen in Physik – wer sich länger mit Physik beschäftigt hat, weiß auch mehr. Führt man mit der Erfahrung und dem Fachwissen in Physik eine Mediationsanalyse (s.h. Abbildung 5.21) durch, wird dieser Effekt sichtbar.

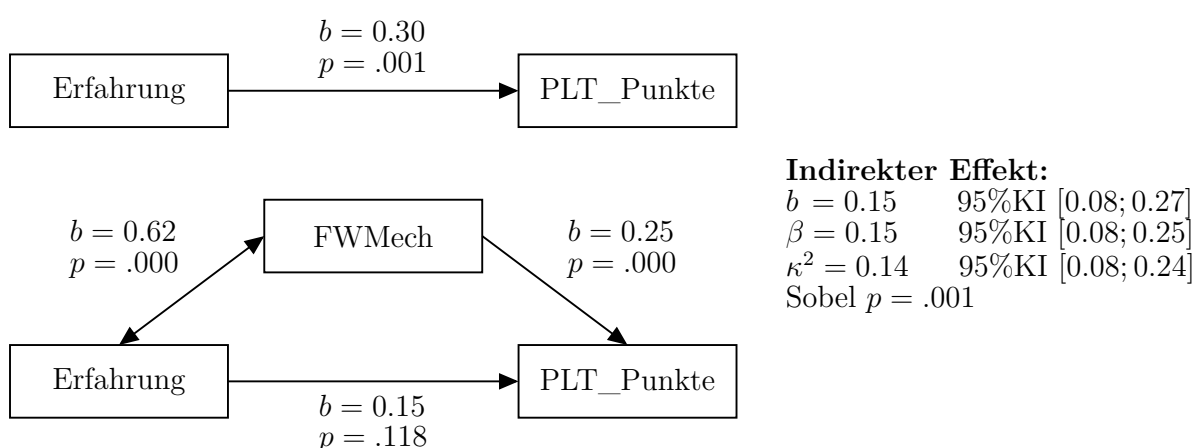


Abbildung 5.21.: Indirekter Effekt der Erfahrung über das Fachwissen Mechanik

Wird das Fachwissen in Mechanik als Prädiktor in die Regression des

## 5. Auswertung

Erfolgs beim Problemlösen aufgenommen, wird der Zusammenhang zwischen dem Selbstkonzept und dem Erfolg beim Problemlösen soweit abgeschwächt, dass er nicht mehr signifikant ist ( $b_{Erfahrung} = 0.15$ ,  $p = .118$ ,  $b_{FWMech} = 0.25$ ,  $p = .000$ ,  $R^2 = .23$ ). Die Abschwächung und damit der indirekte Effekt ist signifikant ( $\beta = 0.15$ , 95%KI [0.08; 0.25]) bei mittlerem Effekt ( $\kappa^2 = 0.14$ , 95%KI [0.08; 0.24]).

Die Erfahrung wird im Rahmen der linearen Regression in Kapitel 5.10.2 nicht als Prädiktor verwendet, da sie vollständig über das Fachwissen in Mechanik erklärt werden kann.

### 5.10.1.4. Indirekter Effekt des Fachwissens Mathematik

Das Fachwissen in Mathematik korreliert hoch mit dem Fachwissen in Mechanik ( $r = .69$ ). Aus diesem Grund wird untersucht, ob der Prädiktor abzüglich des indirekten Effekts noch einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat (s.h. Abbildung 5.22).

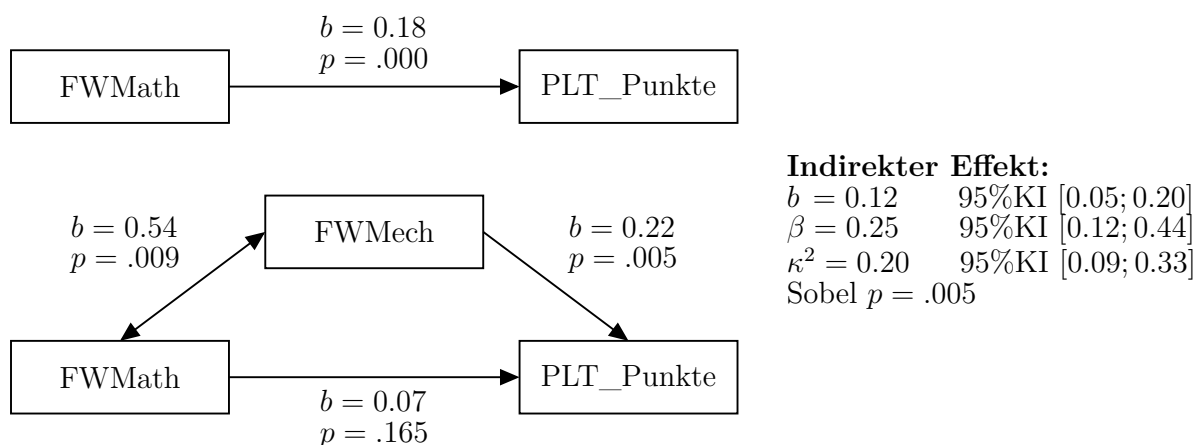


Abbildung 5.22.: Indirekter Effekt des Fachwissens in Mathematik über das Fachwissen Mechanik

Wird das Fachwissen in Mechanik als Prädiktor in die Regression des Erfolgs beim Problemlösen aufgenommen, wird der Zusammenhang zwischen dem Fachwissen in Mathematik und dem Erfolg beim Problemlösen soweit abgeschwächt, dass er nicht mehr signifikant ist ( $b_{FWMath} = 0.07$ ,  $p = .165$ ,  $b_{FWMech} = 0.22$ ,  $p = .005$ ,  $R^2 = .23$ ). Die Abschwächung und

damit der indirekte Effekt ist signifikant ( $\beta = 0.25$ , 95%KI [0.12; 0.44]) bei mittlerem Effekt ( $\kappa^2 = 0.20$ , 95%KI [0.09; 0.33]).

Wie bereits in Kapitel 5.8.2 vermutet, ist auch die Bedeutung des Fachwissens in Mathematik indirekten Effekten über das Fachwissen in Mechanik unterworfen. Der Einfluss der Kenntnisse in Mathematik ist unter Gegenwart des Fachwissens in Mechanik nicht mehr signifikant und deshalb wird er nicht als Prädiktor für die lineare Regression in Kapitel 5.10.2 verwendet.

### 5.10.1.5. Zusammenfassung der indirekten Effekte

In den Kapiteln 5.10.1.1 bis 5.10.1.4 wurden die direkten Beziehungen der einzelnen Prädiktorvariablen zum Erfolg beim Problemlösen (s.h. Kapitel 5.9) mit Hilfe von Mediationsanalysen näher untersucht.

Es zeigte sich, dass alle erhobenen Variablen indirekt über das Fachwissen in Mechanik wirken (Mediation über das Fachwissen). Das bedeutet, sobald das Fachwissen Mechanik in eine Regression miteinbezogen wird, verlieren die untersuchten Prädiktoren an Einfluss. Es konnte so gezeigt werden, dass die Beziehungen vorwiegend indirekt über das Fachwissen in Mechanik bestehen. Tabelle 5.15 fasst die Ergebnisse zusammen.

| Prädiktor | direkter Effekt |      | indirekter Effekt    |                      |                      |
|-----------|-----------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|
|           | $b$             | $p$  | $b$                  | $\beta$              | $\kappa^2$           |
| zAbi      | 0.34            | .115 | 0.28<br>[0.10; 0.50] | 0.12<br>[0.04; 0.22] | 0.13<br>[0.05; 0.24] |
| zNotePhys | 0.52            | .022 | 0.32<br>[0.15; 0.57] | 0.13<br>[0.06; 0.22] | 0.13<br>[0.06; 0.22] |
| SK        | 1.28            | .017 | 0.94<br>[0.44; 1.58] | 0.17<br>[0.08; 0.28] | 0.16<br>[0.08; 0.29] |
| Erfahrung | 0.15            | .118 | 0.15<br>[0.08; 0.27] | 0.15<br>[0.08; 0.25] | 0.14<br>[0.08; 0.24] |
| FWMath    | 0.07            | .165 | 0.12<br>[0.05; 0.20] | 0.25<br>[0.12; 0.44] | 0.2<br>[0.09; 0.33]  |

Tabelle 5.15.: Überblick der indirekten Effekte über das Fachwissen Mechanik auf die erreichte Punktzahl beim Problemlösetest



## 5. Auswertung

Sowohl bei der Abiturnote als auch bei der Erfahrung beim Problemlösen und beim Fachwissen in Mathematik zeigt sich, dass die Variablen nur indirekt über das Fachwissen in Mechanik wirken und in der Gegenwart des Fachwissens Mechanik ihren signifikanten Einfluss auf die erreichte Punktzahl beim Problemlösen verlieren. Das Selbstkonzept und die letzte Note in Physik behalten einen „eigenen“ Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen. Untersucht man zusätzlich die Beziehung zwischen der letzten Note in Physik und dem Selbstkonzept näher, so stellt man fest, dass die letzte Note in Physik auch über das Selbstkonzept indirekt wirkt – der Effekt der letzten Note in Physik wird also über das Fachwissen in Mechanik und das Selbstkonzept abgeschwächt.

Die Ergebnisse der Mediationsanalyse unterstreichen die Bedeutung des domänenspezifischen Fachwissens über die anderen Prädiktoren, was sich bereits in den Kapitel 5.7 und 5.8 abgezeichnet hat. Im folgenden Kapitel 5.10.2 wird ausgehend von den Erkenntnissen der Mediationsanalysen eine lineare Regression mit dem Fachwissen Mechanik und dem Selbstkonzept als unabhängige Variablen durchgeführt. Kapitel 5.10.3 fasst die indirekten und direkten Effekte auf den Erfolg beim Problemlösen in einem Modell zusammen und diskutiert die in Kapitel 3.2 aufgestellten Hypothesen zur Forschungsfrage 2.

### 5.10.2. Direkte Effekte auf den Erfolg beim Problemlösen

Wie im vorangegangenen Kapitel 5.10.1 dargelegt, wird der Erfolg beim Problemlösen lediglich von zwei Variablen, dem Fachwissen in Mechanik und dem Selbstkonzept, direkt beeinflusst. Zur Absicherung des Zusammenhangs wird mit diesen beiden Größen als unabhängige Variablen eine lineare Regression auf die erreichten Punkte beim Problemlösetest als abhängige Variable durchgeführt<sup>3</sup>.

Aus theoretischen Überlegungen (Kapitel 2.7), den Korrelationen (Kapitel 5.9) und den Berechnungen der indirekten Effekte (Kapitel 5.10.1) kann geschlussfolgert werden, dass das Fachwissen in Mechanik ein wichtiger Prädiktor für den Erfolg beim Problemlösen ist. Um zu prüfen, ob der Einschluss des Selbstkonzepts in die Regression zu einer signifikanten Verbesserung des Modells führt, wurden zwei hierarchisch aufeinander aufbauende Regressionen berechnet. Die Modellparameter finden sich in Tabelle 5.16.

Modell 1 enthält das Fachwissen in Mechanik als einzigen Prädiktor. Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  gibt an, welcher Anteil der Gesamtvarianz durch das Modell erklärt wird.  $R^2 = .21$  bedeutet, dass 21% der Varianz erklärt werden, was bei  $f = 0.27$  einem mittleren Effekt entspricht. Der Regressionskoeffizient  $b$  des Fachwissens Mechanik ist 0.27 mit einem Bootstrap Konfidenzintervall, das keinen Vorzeichenwechsel vollzieht – der Koeffizient ist von 0 verschieden und somit signifikant. Der Koeffizient bedeutet anschaulich, dass das Modell bei einem um einen Punkt erhöhten Wert im Fachwissenstest Mechanik einen um 0.27 Punkte erhöhten Wert beim Problemlösetest vorhersagt.

Durch die Aufnahmen des Selbstkonzepts in Modell 2 erhöht sich  $R^2$  um 0.04 auf .25 (also 25% erklärte Varianz), was mit  $F(1, 125) = 6.6$  eine signifikante Erhöhung ist ( $p = .012$ ). Das Modell wird durch die Aufnahme des Selbstkonzepts tatsächlich besser. Die Effektstärke  $f$  beträgt 0.33, was einem mittleren bis großem Effekt entspricht. Die Regressions-

---

<sup>3</sup>Prinzipiell wurde diese Regression bereits in Kapitel 5.10.1.2 Abbildung 5.20 gerechnet. An jener Stelle wurden jedoch die Grundannahmen zur Regression nicht genau geprüft, was im Rahmen des aktuellen Kapitels geschehen wird.

## 5. Auswertung

| Modell 1                                |                            | <i>b</i>         | <i>SE b</i> | $\beta$ | <i>p</i> |
|-----------------------------------------|----------------------------|------------------|-------------|---------|----------|
|                                         | <b>Konstante</b>           | 2.58             | 0.42        |         | .001     |
|                                         | 95% KI                     | [1.77;<br>3.41]  |             |         |          |
|                                         | <b>Fachwissen Mechanik</b> | 0.27             | 0.05        | 0.45    | .001     |
|                                         | 95% KI                     | [0.18;<br>0.37]  |             |         |          |
| $R^2 = .21; F(1, 126) = 32.4; p = .000$ |                            |                  |             |         |          |
| Modell 2                                |                            | <i>b</i>         | <i>SE b</i> | $\beta$ | <i>p</i> |
|                                         | <b>Konstante</b>           | -0.56            | 1.30        |         | .661     |
|                                         | 95% KI                     | [-2.99;<br>2.03] |             |         |          |
|                                         | <b>Fachwissen Mechanik</b> | 0.20             | 0.05        | 0.33    | .001     |
|                                         | 95% KI                     | [0.09;<br>0.31]  |             |         |          |
|                                         | <b>Selbstkonzept</b>       | 1.28             | 0.51        | 0.23    | .017     |
|                                         | 95% KI                     | [0.23;<br>2.23]  |             |         |          |
| $R^2 = .25; F(1, 125) = 20.2; p = .000$ |                            |                  |             |         |          |

$N = 128$

Tabelle 5.16.: Lineare Regression der erreichten Punkte beim Problemlösetest

koeffizienten sind  $b_{FWMech} = 0.20$  und  $b_{SK} = 1.28$  und signifikant von 0 verschieden (Bootstrap Konfidenzintervall vollzieht keinen Vorzeichenwechsel). Anschaulich erhöht sich die Punktzahl beim Problemlösetest um 0.20, wenn ein Punkt mehr beim Fachwissen erreicht wird und um 1.28, wenn das Selbstkonzept um 1 höher ist. Zum Vergleich des Einflusses der beiden Variablen werden die standardisierten Regressionskoeffizienten  $\beta$  verglichen.  $\beta_{FWMech}$  ist 0.33 und somit etwas höher als  $\beta_{SK}$  mit 0.23; der Einfluss des Fachwissens ist größer als der des Selbstkonzepts.

Modell 2 entspricht den Anforderungen an Daten zur linearen Regression. Es liegen keine Multikollinearität (VIF-Werte der Koeffizienten sind 1.38) oder Autokorrelation der Residuen vor (Durbin-Watson-Statistik beträgt 1.993, ideal wäre 2) und eine optische Prüfung bestätigt die Homoskedastizität und Normalverteilung der Residuen. Die Cook-Distanz aller Probanden ist kleiner als 1, was einen zu großen Einfluss einzelner Fälle ausschließt. Zur robusten Berechnung wurden die Bootstrap-Konfidenzintervalle der Koeffizienten in Tabelle 5.16 angegeben.

Im nächsten Kapitel werden die Ergebnisse der indirekten und direkten Einflüsse in einem zusammenfassenden Modell dargestellt und in Bezug zu der in Kapitel 3.2 dargestellten Forschungsfrage 2 und zu den dazugehörigen Hypothesen gesetzt.

### 5.10.3. Zusammenfassendes Modell unter Berücksichtigung der Hypothesen zu Forschungsfrage 2

In der folgenden Zusammenfassung werden die durch Regressionsanalysen identifizierten indirekten und direkten Effekte zusammengefasst und in Bezug gesetzt zu Teilen der Hypothesen der Forschungsfrage 2.

**(H2b)** Es wird erwartet, dass das *Fachwissen in Physik* und die *Erfahrung* mit dem Problemlösen einen großen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben (Kapitel 2.7.1.1; Kapitel 2.7.2).

Bei den Auswertungen der Kapitel 5.7, 5.8 und 5.9 wurde ermittelt, dass alle untersuchten Prädiktoren einen mehr oder weniger großen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben. Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Effekte über Mediationsanalysen zeichnet sich jedoch, wie auch in Kapitel 5.8 ab, dass vor allem das Fachwissen in Mechanik den Erfolg beim Problemlösen direkt beeinflusst, was den ersten Teil der Hypothese H2b bestätigt. Wie bereits aus vorangegangener Forschung zu erwarten, ist das vorhandene, domänenspezifische Wissen maßgeblich für eine gute Leistung beim Problemlösen verantwortlich.

Auch von der Erfahrung wird in Hypothese H2b ein großer direkter Einfluss erwartet, was jedoch durch die Regressionsanalysen nicht bestätigt werden kann. Es zeigt sich, dass unter der Gegenwart des Fachwissens Mechanik die erhobene Erfahrung ihren signifikanten Einfluss verliert. Ein Zusammenhang zwischen Erfahrung und dem Erfolg beim Problemlösen besteht nur indirekt über das Fachwissen: Personen, die über mehr Erfahrung verfügen (d.h. die sich im Rahmen des erhobenen Kennwertes länger/intensiver mit Physik beschäftigt haben), verfügen über ein größeres Fachwissen in Mechanik und können aufgrund des Fachwissens Probleme besser lösen.

**(H2c)** Es wird erwartet, dass auch das *Fachwissen in Mathematik* einen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat (Kapitel 2.7.1.2).

Das Fachwissen in Mathematik hat, alleine betrachtet, einen Einfluss auf

## 5.10. Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen durch lineare Regression

den Erfolg beim Problemlösen. Es zeigte sich aber auch (Kapitel 5.9), dass beide Fachwissensarten hoch miteinander korrelieren, weshalb über eine Mediationsanalyse der indirekte Effekt des Fachwissens Mathematik über das Fachwissen Physik berechnet wurde. Die Berechnungen ergeben, dass das Fachwissen Mathematik in Gegenwart des Fachwissens Mechanik seinen direkten Einfluss verliert und lediglich indirekt über das Fachwissen in Mechanik wirkt. Personen, die über ein größeres Fachwissen in Mechanik verfügen und Probleme dadurch besser lösen können, haben auch ein größeres Fachwissen in Mathematik. Bei Hypothese H2c kann nicht bestätigt werden, dass das Fachwissen in Mathematik einen direkten Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat.

**(H2d)** Es wird erwartet, dass weitere personenbezogene Faktoren, wie das *Selbstkonzept* und die *Beliebtheit* verschiedener physikalischer Tätigkeiten einen (geringeren) Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen haben (Kapitel 2.7.3; Kapitel 2.7.4).

Im Rahmen der Regressionsanalysen wurde lediglich das physik- bzw. problemlösebezogene Selbstkonzept betrachtet. Es zeigte sich, dass das Selbstkonzept als einzige der untersuchten Größen seinen Einfluss behält, wenn auch das Fachwissen in Mechanik berücksichtigt wird. Nichtsdestotrotz kann ein Teil des Einflusses des Selbstkonzepts über das Fachwissen in Mechanik erklärt werden: Personen, die ein größeres Fachwissen besitzen, erreichen bessere Leistungen in Physik, was sich positiv auf das Selbstkonzept auswirkt. Hypothese H2d kann, was das Selbstkonzept betrifft, bestätigt werden.

**(H2e)** Es wird erwartet, dass ein Modell gefunden werden kann, das den Zusammenhang zwischen den aufgeführten Einflussfaktoren und dem Erfolg beim Problemlösen darstellt.

Ausgehend von den Mediationsanalysen konnten das Fachwissen in Mechanik und das physik- und problemlösebezogene Selbstkonzept als relevante Prädiktoren für den Erfolg beim Problemlösen identifiziert werden. Mit beiden Größen wurde eine hierarchische lineare Regression durchgeführt,

## 5. Auswertung

die bestätigt, dass sowohl das Fachwissen in Mechanik als auch das Selbstkonzept einen signifikanten Einfluss besitzen. Der Einfluss des Fachwissens ist mit  $\beta = 0.33$  größer als der des Selbstkonzepts mit  $\beta = 0.23$ . Es kann über Modellvergleiche festgehalten werden, dass der Einbezug des Selbstkonzepts zu einer signifikanten Verbesserung des Modells führt; es werden 25% der vorhandenen Varianz erklärt, was einem mittleren bis großem Effekt entspricht.

Fasst man die Ergebnisse zu den direkten und indirekten Einflüssen auf den Erfolg beim Problemlösen zusammen, ergibt sich Abbildung 5.23. Die direkten Einflüsse (durchgezogene Pfeile) des Fachwissens Mechanik und des Selbstkonzepts gehen aus der linearen Regression (Kapitel 5.10.2) hervor. Die dargestellten indirekten Effekte (gestrichelte Doppelpfeile) der übrigen Prädiktoren ergeben sich aus den Mediationsanalysen (Kapitel 5.10.1) und verdeutlichen den korrelativen Zusammenhang, der zwischen den Variablen und dem Erfolg beim Problemlösen besteht (Kapitel 5.9).

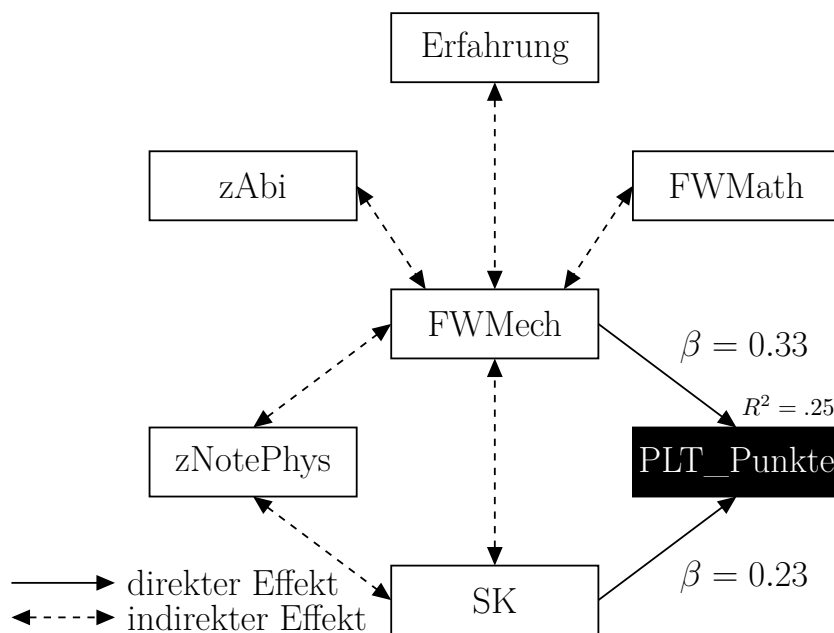


Abbildung 5.23.: Direkte und indirekte Einflüsse auf den Erfolg beim Problemlösen

Im nächsten Kapitel werden die quantitativen Auswertungen durch qualitative Betrachtungen ergänzt, um „gute“ bzw. „schlechte“ Problemlöser weiter zu charakterisieren.

## 5.11. Qualitative Untersuchungen

In den vorangegangenen Kapiteln wurde untersucht, wie sich unterschiedlich erfolgreiche Problemlöser in quantitativer Hinsicht unterscheiden (z.B. unterschiedlich umfangreiches Fachwissen). Im Rahmen der nächsten beiden Unterkapitel wird auf qualitative Aspekte zum Problemlösen eingegangen. Es wird zunächst, im Kontext der dritten Forschungsfrage, untersucht, welche typischen Fehler bei der Lösung eines Problems auftreten, und wie die Fehlertypen mit dem Erfolg beim Problemlösen zusammenhängen. Ergänzt wird die qualitative Untersuchung durch einen Vergleich der grundlegenden Argumentationsansätze beim Nachvollziehen einer ausgearbeiteten Lösung zwischen Personen auf verschiedenen Stufen der Problemlösefähigkeit.

### 5.11.1. Typische Fehler

Wie in Kapitel 3.3 dargelegt, fokussiert die dritte Forschungsfrage auf qualitative Aspekte zum Problemlösen. Ziel ist es, explorativ zu erheben, welche Fehler typischerweise beim Problemlösen auftreten und ob sich erfolgreiche und weniger erfolgreiche Problemlöser nicht nur in der Häufigkeit, sondern auch in der Art ihrer Fehler unterscheiden.

Um die Fehlerarten zu bestimmen, wurde bei der Bewertung der Lösung eines Problems (s.h. Kapitel 4.3.1.3) nicht nur ermittelt, ob ein Lösungsschritt richtig oder falsch ist, sondern es wurde mitkodiert, welche Art von Fehler vorliegt. Tabelle 5.17 zeigt, welche Arten von Fehlern gefunden werden konnten.

Die vorkommenden Typen von Fehlern sind im Rahmen der Physikdidaktik nur wenig erforscht, sodass als theoretische Grundlage nur eine Quelle, der Übersichtsartikel von Müller (2003), herangezogen werden kann (s.h. Kapitel 3.3). Die dort genannten Fehler, die aus Untersuchungen der ingenieurspsychologischen Forschung zusammenfasst wurden, sind einerseits „Planungsfehler“ (z.B. Anwendung ungeeigneter physikalischer Konzepte), andererseits „Ausführungsfehler“ (z.B. Rechen- oder Flüchtigkeitsfehler), was sich gut mit den in der hier vorgestellten Untersuchung



## 5. Auswertung

|                          | Fehler                       | Häufigkeit | Beispiel                                                                                      |
|--------------------------|------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Planungsfehler</b>    | falscher Ansatz              | 145        | Verwendung eines gleichförmigen Ansatzes bei einer beschleunigten Bewegung.                   |
| <b>Ausführungsfehler</b> | Fehler in verwendeter Formel | 9          | $E_{kin} = m \cdot v$ als Formel für die Kinetische Energie                                   |
|                          | Rechenfehler                 | 13         | Zahlendreher oder z.B.<br>$\sqrt{500} = 25$                                                   |
|                          | Fehler bei der Umformung     | 11         | $\sqrt{2gh_1 + 2gh_2} =$<br>$\sqrt{2gh_1} + \sqrt{2gh_2}$                                     |
|                          | Einheitenfehler              | 3          | $v = 22 \frac{m}{s^2}$                                                                        |
|                          | unvollständige Bearbeitung   | 54         | Lösung wurde korrekt durchgeführt, bis sie aus nicht feststellbaren Gründen abgebrochen wird. |

Tabelle 5.17.: Erhobene Fehlerarten bei der Lösung eines Problems

gefundenen Fehlern deckt. Fehler, die mit „falscher Ansatz“ bezeichnet werden, sind den „Planungsfehlern“ zuzuordnen. Fehler bei Formeln und bei Umformungen, Rechen- und Einheitenfehler zählen zu „Ausführungsfehlern“. Ergänzt werden die beiden Fehlertypen durch „unvollständiges Bearbeiten“, wenn eine Lösung korrekt begonnen, aber aus nicht feststellbaren Gründen abgebrochen wurde.

Neben der Erhebung der Fehlerarten wurde untersucht, wie sich die Häufigkeit der Fehlertypen in den verschiedenen Stufen der Problemlösefähigkeit unterscheidet. Hierzu wurde in Abbildung 5.24 aufgetragen, wie die kodierten Fehler innerhalb einer Stufe der Problemlösefähigkeit auf „Planungsfehler“, „Ausführungsfehler“ und „unvollständige Bearbeitung“ verteilt sind (z.B. 71% der kodierbaren Fehler in Stufe 1 der Problemlösefähigkeit sind auf Planungsfehler zurückzuführen). Anzumerken bleibt, dass die absolute Anzahl der Fehler in den Stufen der Problemlösefähigkeit unterschiedlich groß ist – wie zu erwarten war, machen Personen auf Stufe 1 mehr Fehler als Personen auf Stufe 3.

Es zeigt sich, dass die relativen Häufigkeiten der Fehlertypen in den Stu-

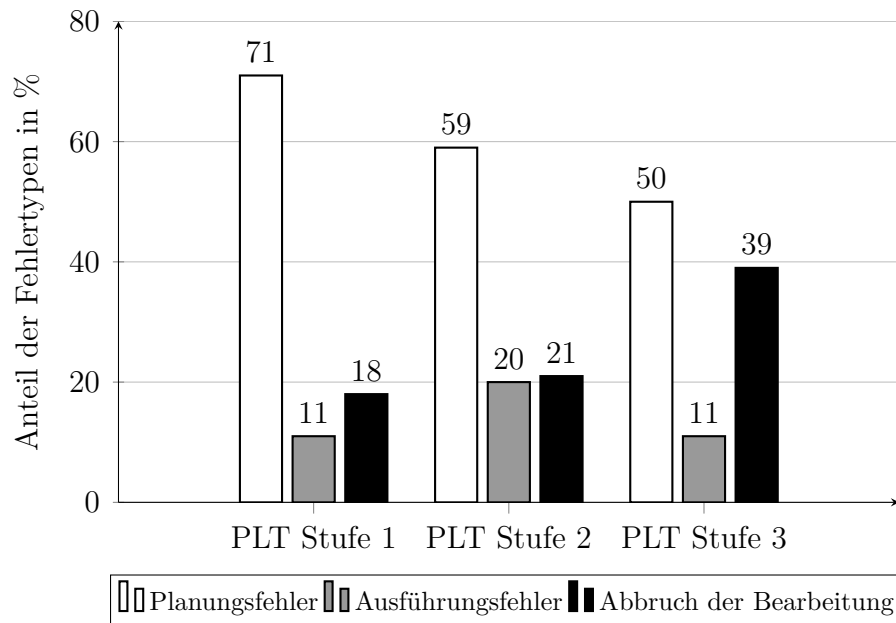


Abbildung 5.24.: Vergleich der Häufigkeit der Fehlertypen in den Stufen der Problemlösefähigkeit

fen der Problemlösefähigkeit unterschiedlich groß sind. In Einklang mit den Aussagen von Müller (2003) kann beobachtet werden, dass Personen mit niedriger Problemlösefähigkeit („Novizen“) häufiger Planungsfehler unterlaufen als Personen mit hoher Problemlösefähigkeit („Experten“). Der Anteil der Ausführungsfehler ist über die drei Gruppen nahezu identisch. Auffällig ist, dass mit zunehmender Problemlösefähigkeit mehr unvollständige Lösungen gezeigt werden.

Ausgehend von den ersten Betrachtungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit erscheint eine weitere Untersuchung der auftretenden Fehlertypen als eine sinnvolle qualitative Ergänzung zur Analyse des Erfolgs beim Problemlösen.

### 5.11.2. Argumentationsansätze

In Kapitel 2.7.5 wurde dargelegt, welche qualitativen Unterschiede zwischen Experten und Novizen beim Problemlösen aus der Forschung zur Expertise bekannt sind. Ein besonderes Unterscheidungsmerkmal hierbei ist, dass weniger erfolgreiche Problemlöser (Novizen) der Mathematik im Allgemeinen und Formeln im Speziellen eine besondere Bedeutung zukommen lassen. Sie orientieren sich bei der Lösung eines Problems nicht an grundlegenden physikalischen Konzepten, wie erfolgreiche Problemlöser (Experten), sondern versuchen – überspitzt ausgedrückt – zu den gegebenen Größen passende Formeln so miteinander zu verknüpfen, dass nur die gesuchte Größe übrig bleibt. Welche Argumentationsansätze von Studierenden unterschiedlicher Stufen der Problemlösefähigkeit verwendet werden, wird im Folgenden ausgehend vom Nachvollziehen ausgearbeiteter Lösungen untersucht.

Im Rahmen des Problemlösetests wurde beim „Nachvollziehen“ eine ausgearbeitete Lösung zu einem Problem vorgegeben und die Studierenden sollten diese Lösung erklären (s.h. Kapitel 4.3.1.3). Bei der Auswertung wurde nicht nur erhoben, ob die Erklärung richtig oder falsch ist, sondern unabhängig von der Bepunktung kodiert, welche Art der Argumentation zur Erklärung verwendet wurde. Grundsätzlich sollte untersucht werden, ob eher „mathematische“ oder „physikalische“ Erklärungsansätze verwendet werden. Die Erhebung erfolgte aufgrund von drei „Leitfragen“, die mit ihren Ergebnissen nacheinander vorgestellt werden.

Der Fokus der ersten beiden Leitfragen lag auf den vorkommenden Formeln. Zunächst wurde entschieden, ob die Struktur der Formeln aus physikalischer Sicht erklärt wurde. So kann z.B. die Formel für die Geschwindigkeit einer gleichmäßig abbremsenden Bewegung  $v(t) = v_0 - a \cdot t$  als Superposition der konstanten Geschwindigkeit  $v_0$  und dem entgegenwirkend (deswegen „–“) der beschleunigten Bewegung  $a \cdot t$  erklärt werden (s.h. auch Tabelle 2.10 Kapitel 2.5.3). Abbildung 5.25 zeigt hierfür ein Beispiel.

In Abbildung 5.26 wurde nach den Stufen der Problemlösefähigkeit getrennt die relative Häufigkeit aufgetragen, mit der die Struktur von For-

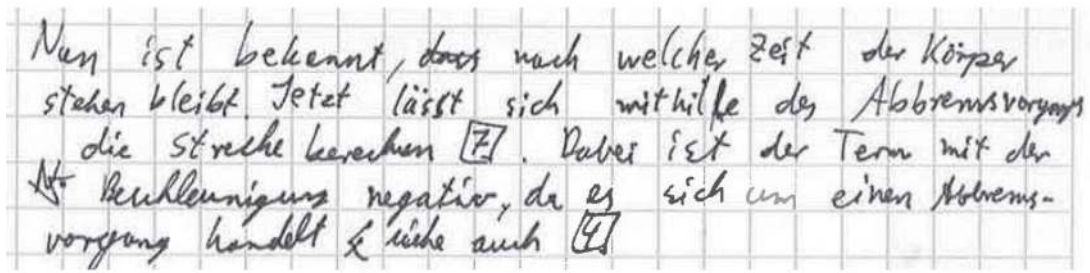


Abbildung 5.25.: Erklärung der Struktur von Formeln beim Nachvollziehen des Problems „Anstoßen eines Körpers“

meln aus physikalischer Sicht erklärt wird. Es zeigt sich deutlich, dass Personen aus Stufe 1 der Problemlösefähigkeit häufig die Struktur von Formeln aus physikalischer Sicht nicht erklären (63%). Bei einer höheren Problemlösefähigkeit wird häufiger auf die zugrundeliegende Physik bei der Erklärung von Formeln hingewiesen (29% bzw. 39%).

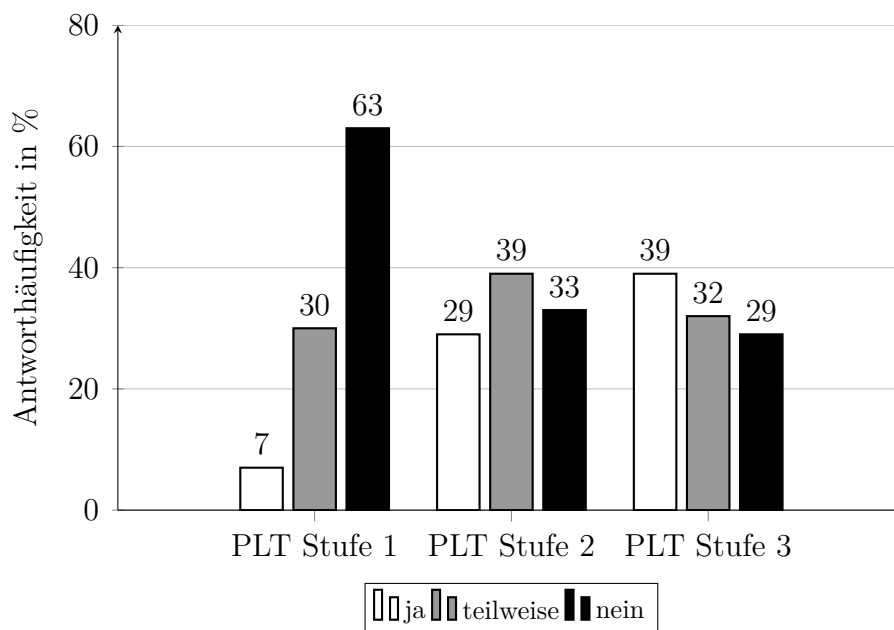


Abbildung 5.26.: Wurde die Struktur von Formeln aus physikalischer Sicht erklärt?

Ergänzt wird die Betrachtung von Formeln mit der komplementären Leitfrage, ob die auftretenden Formeln nur über „Formelwissen“ erklärt werden, z.B. „ $v(t) = v_0 - a \cdot t$  ist die Formel für die Geschwindigkeit beim Abbremsen“. Abbildung 5.27 zeigt ein Beispiel aus den erhobenen Daten.

Die Verteilung deckt sich mit den Ergebnissen der vorangegangenen Be-

## 5. Auswertung



Abbildung 5.27.: Erklärung über Formelwissen beim Nachvollziehen des Problems „Anstoßen eines Körpers“

trachtung (s.h. Abbildung 5.28). Personen auf Stufe 1 der Problemlösefähigkeit erklären zu über zwei Dritteln (68%) vorkommende Formeln über „Formelwissen“, bei Personen mit hoher Problemlösefähigkeit auf Stufe 3 ist dies weniger ausgeprägt (31%).

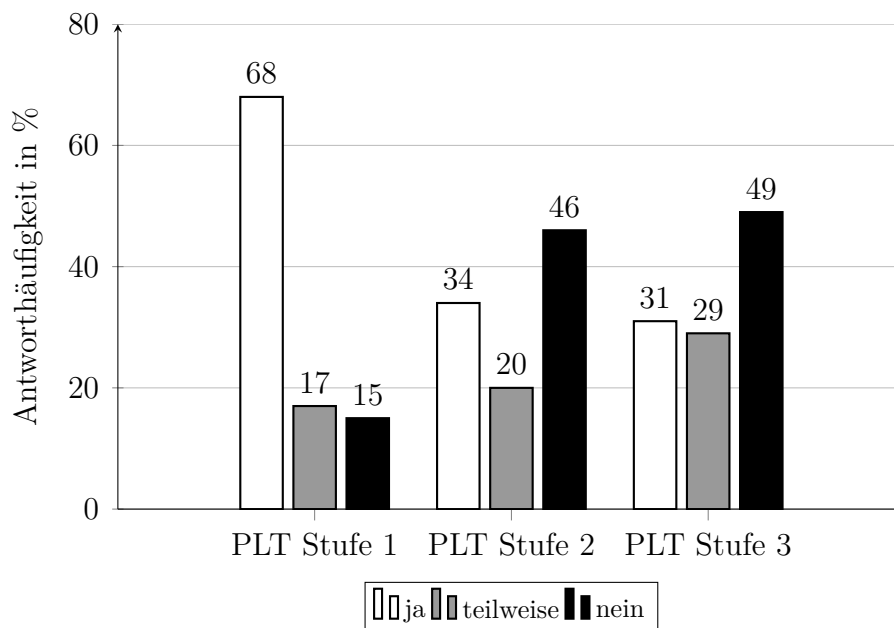
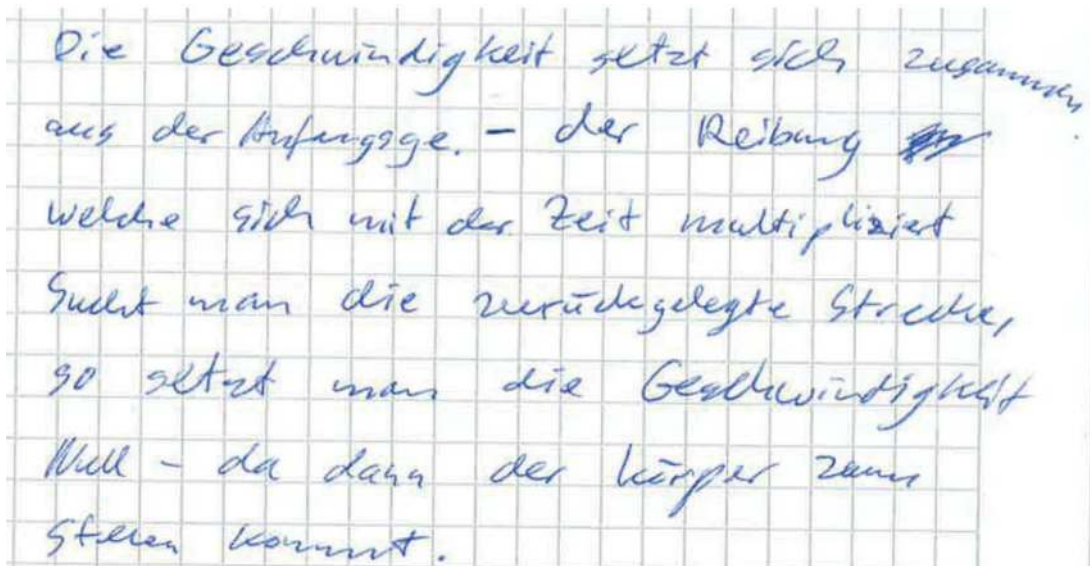


Abbildung 5.28.: Wurde über „Formelwissen“ erklärt?

Über die Formeln hinaus wurde grundsätzlich geprüft, inwiefern die Erklärung auf einer „physikalischen Ebene“, unter Rückbezug auf grundlegende Konzepte bzw. die konkrete physikalische Situation erfolgt. Abbildung 5.29 zeigt ein Beispiel aus den erhobenen Daten, das sich auf die Superposition von Bewegungen bezieht.

Auch bei dieser Betrachtung (s.h. Abbildung 5.30) zeigt sich wie er-



Die Geschwindigkeit setzt sich zusammen  
aus der Anfangsgg. - der Reibung ~~gg.~~  
welche sich mit der Zeit multipliziert  
Sucht man die zurückgelegte Strecke,  
so setzt man die Geschwindigkeit  
Null - da dann der Körper zum  
Stillen kommt.

Abbildung 5.29.: Erklärung über physikalische Konzepte beim Nachvollziehen des Problems „Anstoßen eines Körpers“

wartet, dass erfolgreiche Problemlöser (Stufe 3) häufiger mit den zugrunde liegenden physikalischen Konzepten argumentieren (57%), wohingegen dies bei Personen der Stufe 1 der Problemlösefähigkeit kaum zu beobachten ist (8%).

Zusammenfassend zeigt sich, dass, wie aus den theoretischen Hintergründen zum Vergleich von Experten und Novizen zu erwarten war, weniger erfolgreiche Problemlöser Formeln und Mathematik in den Vordergrund stellen und vor allem über „Formelwissen“ argumentieren, wenn sie eine vorgegebene Ausarbeitung eines Problems nachvollziehen sollen. Im Gegensatz dazu können erfolgreiche Problemlöser die Struktur von Formeln aus physikalischer Sicht erklären und verwenden grundlegende physikalische Prinzipien zur Erklärung von ausgearbeiteten Lösungen.

## 5. Auswertung

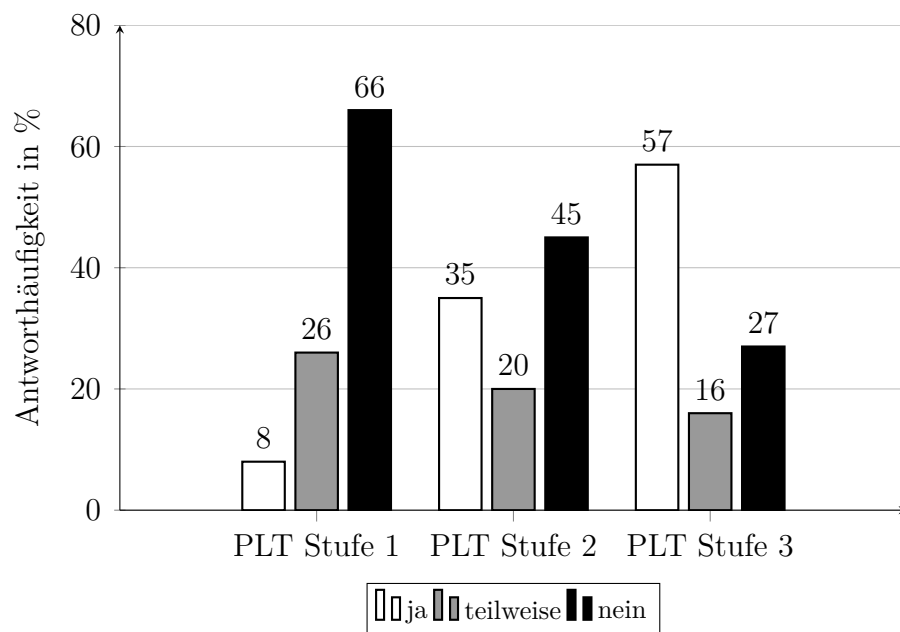


Abbildung 5.30.: Wurde auf einer „physikalischen Ebene“ erklärt?

## 5.12. Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Zusammenfassung werden die wesentliche Ergebnisse der Auswertung zusammengefasst und die Bedeutung für die hier vorgestellte Arbeit aufgezeigt.

Die mit den in Kapitel 4 vorgestellten Instrumenten erhobenen Daten wurden zunächst so analysiert, dass für die Problemlösefähigkeit, das Fachwissen in Mechanik und Mathematik, das Selbstkonzept und die Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten jeweils *Stufen bzw. Klassen* von Personen identifiziert werden konnten, die ähnliche Eigenschaften besitzen. Im Falle der Leistungstests wurde, basierend auf den berechneten Rasch-Modellen, das Schwierigkeitsprofil der Items gebildet und aus statistischen (z.B. große Sprünge in der Itemschwierigkeit) und inhaltlichen Überlegungen (z.B. vergleichbarer Inhalt von Items) jeweils eine Einteilung in drei Stufen vorgenommen.

Auszugsweise werden die *Stufen der Problemlösefähigkeit* im Rahmen der Zusammenfassung vorgestellt. Studierende auf den unterschiedlichen Stufen charakterisieren sich wie folgt: Stufe 1: Die Bearbeitenden können Ansätze von Problemen im Bereich „Energie“ erarbeiten. Stufe 2: Die Bearbeitenden können über die Ansätze hinaus Probleme im Bereich „Energie“ vollständig bearbeiten und im Bereich „Kinematik“ Ansätze finden. Stufe 3: Die Bearbeitenden können darüber hinaus Probleme aus dem Bereich „Kinematik“ vollständig bearbeiten. Die Einteilung der Stufen anhand des Bereichs der Items entkräftet die Hypothese H1a, nach der erwartet wird, dass die Schwierigkeit der Items des Problemlösetests durch die jeweilige Phase des Problemlösens bestimmt wird. Der Bereich des Items (Energie oder Kinematik) bestimmt die Schwierigkeit eines Items, was sich auch bei der Bearbeitung des Tests zum Fachwissen Mechanik zeigte.

In Rückgriff auf die gefundenen Stufen beim Problemlösen und die erhobenen Prädiktorvariablen werden Studierende mit unterschiedlicher Problemlösefähigkeit wie folgt *charakterisiert*: Es zeigt sich, wie in den Hypothesen zu Forschungsfrage 2 erwartet, dass erfolgreiche Problemlöser aus Stufe 3 in allen erhobenen Prädiktoren annähernd gleichermaßen über-



## 5. Auswertung

durchschnittliche Werte erreichen. Bei den Personen aus Stufe 2 kann ein ähnliches Bild beobachtet werden. Die Studierenden erreichen Ergebnisse, die etwas unter dem Mittelwert der gesamten Stichprobe liegen. Die grundsätzliche, in den weiteren Analysen dargelegte, Bedeutung des Fachwissen über die anderen Variablen hinaus zeigt sich in den Ergebnissen der Studierenden aus Stufe 1, die Probleme nur ansatzweise lösen können. Die Studierenden besitzen, wie aus den vorangegangenen Stufen zu erwarten war, gleichermaßen geringere Werte bei der Abiturnote, der Erfahrung, dem Selbstkonzept und dem Fachwissen in Mathematik. Auffällig ist, dass ein Einbruch des Fachwissens Mechanik zu beobachten ist - Personen in Stufe 1 der Problemlösefähigkeit haben ein weit unterdurchschnittliches Fachwissen.

Um die Beziehungen zwischen den Prädiktoren und dem Erfolg beim Problemlösen näher zu untersuchen, wurden zunächst ausgehend von den gefundenen Stufen bzw. Klassen die Zuordnung der Kategorien zueinander mit Hilfe von *Kreuztabellen* verglichen. Es zeigte sich, wie in Hypothese H2a erwartet, dass die Zuordnung zu den verschiedenen Stufen der Problemlösefähigkeit und den andern Stufen bzw. Klassen nicht unabhängig zueinander sind und somit eine Beziehung zwischen dem Erfolg beim Problemlösen und den untersuchten Einflussfaktoren besteht, bei kleinem bis mittlerem Effekt.

Die Ursache des Effekts konnte durch weitere Untersuchungen eingegrenzt werden. So zeichnet sich ab, dass vor allem die Höhe des Fachwissens in Mechanik entscheidend für die Zuteilung zu einer Stufe der Problemlösefähigkeit ist – Personen mit viel Fachwissen können häufiger gut Probleme lösen als Personen mit wenig Fachwissen und umgekehrt (Hypothese H2b). Auch wenn sich die Beziehungen zwischen den verschiedenen Stufen bzw. Klassen auch bei den anderen erhobenen Variablen zeigen, kann durch die Analysen vermutet werden, dass es sich um indirekte Effekte über das Fachwissen in Mechanik handelt. Insgesamt können die Hypothesen H2a bis H2d in ihrer Grundtendenz bestätigt werden. Jedoch muss durch weitergehende Analysen die direkte bzw. indirekte Wirkung der Einflussfaktoren näher untersucht werden.

Zur Untersuchung der direkten und indirekten Einflüsse werden zunächst die *Korrelationen* der einzelnen Prädiktoren mit dem Erfolg beim Problemlösen berechnet. Es zeigt sich, dass alle erhobenen Variablen (separat betrachtet) mittel bis hoch mit der erreichten Punktzahl im Problemlösetest korrelieren, was den Erwartungen der Hypothesen H2a bis H2d entspricht. Berechnet man die Korrelationen zwischen den Prädiktoren (z.B. zwischen dem Fachwissen Mechanik und dem Fachwissen Mathematik), erhält man ebenfalls hohe Korrelationen, was für die aus den Kreuztabellen vermuteten indirekten Effekt spricht. Mit Hilfe von Mediationsanalysen werden die indirekten Effekte weiter untersucht, um so für ein abschließendes Modell (Hypothese H2e) diejenigen Variablen auswählen zu können, die den Erfolg beim Problemlösen direkt beeinflussen.

Es zeigte sich, dass alle erhobenen Variablen indirekt über das Fachwissen in Mechanik wirken (*Mediation* über das Fachwissens). Das bedeutet, sobald das Fachwissen Mechanik in eine Regression miteinbezogen wird, verlieren die untersuchten Prädiktoren ihren signifikanten Einfluss auf die erreichte Punktzahl beim Problemlösetest. Lediglich das physik- und problemlösebezogene Selbstkonzept kann unter Einbeziehung des Fachwissens Mechanik den Erfolg beim Problemlösen weiterhin bedeutsam vorhersagen.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Mediationsanalysen wird zur Vorbereitung eines abschließenden Modells eine *lineare Regression* mit dem Fachwissen Mechanik und dem Selbstkonzept durchgeführt. Die Ergebnisse der Regression lassen den Schluss zu, dass das Fachwissen Mechanik und das Selbstkonzept als unabhängige Variablen den Erfolg beim Problemlösen bedeutsam vorhersagen, bei mittlerem Effekt ( $R^2 = .25$ ). Des Weiteren kann statistisch abgesichert werden, dass der Einbezug des Selbstkonzepts zu einer signifikanten Verbesserung des Modells im Vergleich zur isolierten Betrachtung des Fachwissens Mechanik führt. In Bezug auf die Hypothesen H2b und H2d kann durch die standardisierten Regressionskoeffizienten bestätigt werden, dass das Fachwissen Mechanik ( $\beta = 0.33$ ) einen größeren Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat als das physik- und problemlösebezogene Selbstkonzept ( $\beta = 0.23$ ). Über die Zusammenfassung der direkten und indirekten Effekte auf den Erfolg beim Problemlösen kann

## 5. Auswertung

im Rahmen der Hypothese H2e ein Modell zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen aufgestellt werden (s.h. Abbildung 5.23).

Über die vorgestellten quantitativen Unterschiede hinaus, zeigt sich, dass sich Studierende in unterschiedlichen Stufen der Problemlösefähigkeit auch *in qualitativer Hinsicht* voneinander unterscheiden. Bei einer Untersuchung der auftretenden *Fehlertypen* wird einerseits deutlich, dass die aus der Theorie bekannten Fehler (Planungsfehler und Ausführungsfehler) auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu beobachten sind und andererseits, dass die theoretisch zu erwartenden Unterschiede in der Häufigkeit der Fehlerarten in verschiedenen Ausprägungen der Problemlösefähigkeit bestätigt werden. Es kann festgestellt werden, dass Personen in niedrigen Stufen der Problemlösefähigkeit häufiger Planungsfehler unterlaufen, als Personen in hohen Stufen.

Abgeschlossen werden die qualitativen Betrachtungen durch einen *Vergleich der Argumentationsansätze* beim Nachvollziehen ausgearbeiteter Lösungen. Es zeigt sich, wie aus den theoretischen Hintergründen zum Vergleich von Experten und Novizen zu erwarten war, dass weniger erfolgreiche Problemlöser Formeln und Mathematik in den Vordergrund stellen und vor allem über „Formelwissen“ argumentieren, wenn sie eine vorgegebene Ausarbeitung eines Problems nachvollziehen sollen. Im Gegensatz dazu können erfolgreiche Problemlöser die Struktur von Formeln aus physikalischer Sicht erklären und verwenden grundlegende physikalische Prinzipien zur Erklärung von ausgearbeiteten Lösungen.

Das nächste Kapitel fasst die Ergebnisse der kompletten Arbeit zusammen, reflektiert diese und gibt einen Ausblick auf daran anschließende Forschungsfelder.

## **Teil IV.**

# **Zusammenfassung**



## **Zusammenfassung und Ausblick**

Ausgehend von der Beobachtung, dass Problemlösen im schulischen bzw. universitären Kontext eine wichtige Rolle einnimmt, Studierende aber zum Teil Probleme aus dem Fachbereich Physik nicht adäquat lösen können, ergab sich das grundsätzliche Ziel der vorliegenden Arbeit. Es sollten Unterschiede zwischen „guten“ und „schlechten“ Problemlösern aufgedeckt werden, um darzustellen, welche Faktoren den Erfolg beim Problemlösen beeinflussen und wie groß der jeweilige Einfluss ist.

Die Untersuchung der grundsätzlichen Fragestellung erfolgt auf dem Hintergrund der Expertiseforschung und der Forschung zum Problemlösen. Im Folgenden werden zunächst die wesentlichen Inhalte der zugrundeliegenden Theorien und die sich daraus ergebenden Forschungsfragen zusammengefasst. Anschließend wird die empirische Untersuchung mit ihren Ergebnissen vorgestellt und diskutiert.

## **Theoretische Einbettung**

### **Expertiseforschung**

Ihre grundsätzliche Einbettung findet die Arbeit in der Expertiseforschung, die sich allgemein mit der Untersuchung herausragender menschlicher Leistungen und ihrem Zustandekommen beschäftigt (vgl. Kapitel 1). Experten werden über gute Leistungen in einem Gebiet charakterisiert, was sich im erfolgreichen Lösen domänenspezifischer Probleme zeigt. Aus diesem Grund können Teile der Erkenntnisse der Expertiseforschung auf das Problemlösen übertragen werden. Insbesondere die Erkenntnisse über die Entstehung und Entwicklung von Expertise geben Aufschluss über relevante Einflussfaktoren für den Erfolg beim Problemlösen. Neben der gesammelten Erfahrung und dem Selbstkonzept kann vor allem das umfangreiche

Fachwissen als verantwortlich für die Leistung von Experten und damit für den Erfolg beim Problemlösen identifiziert werden.

Des Weiteren wird auch aus methodischer Sicht auf Arbeiten der Expertiseforschung zurückgegriffen. Der verwendete Experten-Novizen-Vergleich kontrastiert Leistungen von „guten“ und „schlechten“ Problemlösern und zeigt so die Unterschiede zwischen Experten und Novizen hinsichtlich anderer Variablen (z.B. Fachwissen) auf.

Im Rahmen der Expertiseforschung werden Probleme verwendet, um den Expertisegrad einer Person zu bestimmen. Die Auffassung darüber, was genau ein „Problem“ darstellt, ist in der Forschungslandschaft jedoch uneinheitlich. Im folgenden Abschnitt wird dargelegt, was im Rahmen der vorliegenden Arbeit unter einem Problem verstanden wird.

## **Was ist ein Problem?**

Die Uneinigkeit darüber, wie der Begriff „Problem“ zu definieren ist (vgl. Kapitel 2.1), zeigt sich sowohl in der Expertiseforschung als auch im traditionsreichen eigenständigen Forschungsfeld zum Problemlösen.

Zur Eingrenzung des Begriffs „Problem“ wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf die Definition von Smith (1991a) zurückgegriffen. Demnach ist jedes Item, das das Analysieren und Schlussfolgern (unter dem Vorhandensein von Verständnis der entsprechenden Domäne) beinhaltet, ein Problem. Es wird nicht zwischen „Problem“ und „Aufgabe“ unterschieden. Die Definition ist dadurch gekennzeichnet, dass angegeben wird, was ein Problem *nicht* ist. Es werden so Items ausgeschlossen, die das bloße Erinnern oder Reproduzieren beinhalten (z.B. Einsetzaufgaben) oder ohne Verständnis in einer Domäne gelöst werden können (z.B. Rätsel oder Logikaufgaben, bei denen alle Angaben im Begleittext stehen).

Mit dem Ziel, eine Einbettung in den schulischen bzw. universitären Kontext zu gewährleisten, bietet es sich an, Probleme aus Lehrbüchern der Physik zu verwenden, was bei Untersuchungen zum Problemlösen und in der Expertiseforschung ein verbreitetes Vorgehen ist (s.h. Kapitel 2.2). Zur weiteren Eingrenzung wurde innerhalb der Physik der Teilbereich der Mechanik für die Probleme gewählt. Um den Anforderungen an ein Problem

gerecht zu werden, wurden nur solche Probleme ausgewählt, deren Lösung die Kenntnis über eine Vielzahl von physikalischen Wissenselementen sowie deren Beziehung zueinander erfordern. Solche Probleme werden als „wissenszentrierte Probleme“ bezeichnet (vgl. Kapitel 2.2).

## **Der Problemlöseprozess**

Um die Bearbeitung von (wissenszentrierten) Problemen genauer untersuchen zu können, muss auf ein geeignetes Modell des Problemlöseprozesses zurückgegriffen werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Modelle vorgestellt (Dewey, 2002 (1. Auflage 1910); Pólya, 1985 (1. Auflage 1971); Newell & Simon, 1972; Larkin et al., 1980b; Heller & Reif, 1984; Friege, 2001). Die Modelle und Beschreibungen haben gemeinsam, dass der Problemlöseprozess in verschiedene Phasen unterteilt wird, die aufeinander aufbauen und unterschiedliche Anforderungen an den Bearbeitenden stellen. In Hinblick auf die Gesamtfragestellung der Arbeit wurde das Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (2001) als Basismodell ausgewählt. Das Modell verzahnt die Ergebnisse der Expertiseforschung (z.B. die Bedeutung des Fachwissens) mit der Forschung zum Problemlösen („Kondensat“ verschiedener Modelle), ist speziell auf die gewählten wissenszentrierten Probleme zugeschnitten und als domänenspezifisches Modell in besonderem Maße geeignet, die aufgeworfene Fragestellung empirisch zu untersuchen.

Das deskriptive Modell nach Friege (2001) gliedert den Problemlöseprozess in vier aufeinander aufbauende Phasen:

(1) *Problemrepräsentation*: Der erste Schritt zur Lösung besteht darin, dass Probleme aus der „Alltagssituation“ bzw. aus den Angaben der Problemstellung in die physikalische Sprache übersetzt werden. Hierbei werden die wesentlichen Inhalte einer Situation erkannt, passende physikalische Fachtermini verwendet, Symbole eingeführt und Idealisierungen angenommen. Eine Skizze, die die Inhalte der physikalischen Situation darstellt, wird angefertigt.

(2) *Auswahl / Erarbeitung eines Lösungswegs*: Nachdem eine Repräsentation gefunden wurde, wird ein geeigneter Lösungsweg gesucht. Dies ge-



schiebt in Rückgriff auf bereits bekannte Problemschemata. Verfügt der Bearbeitende über ein geeignetes Problemschema, kann es auf das aktuelle Problem übertragen werden; ist keines bekannt, muss, ausgehend von der Repräsentation, anhand von Wissen über relevante physikalische Fakten und Beziehungen zwischen Wissenselementen ein neues Problemschema erarbeitet werden. Es werden auch quantitative Überlegungen, z.B. in Form von Formeln miteinbezogen.

(3) *Erarbeitung einer Lösung*: Nachdem mit der Repräsentation und dem Lösungsweg die wesentlichen Grundsteine zur Lösung gelegt wurden, wird diese im Folgenden erarbeitet. Wird während der Lösung festgestellt, dass Repräsentation oder Lösungsweg doch nicht geeignet sind, müssen sie nachträglich angepasst werden. Im Vordergrund steht bei der Lösung, wie die physikalischen Inhalte (z.B. Proportionalität oder Superposition von Bewegungen) mathematisch dargestellt und manipuliert werden können.

(4) *Evaluation*: Nachdem eine Lösung ermittelt wurde, gehört zum vollständigen Problemlöseprozess, der Versuch, die Richtigkeit der Lösung zu bestätigen. In Lösungsprotokollen von Schülern wird eine Evaluation der erarbeiteten Lösungen selten gezeigt (vgl. Friege, 2001). Aus diesem Grund wurde die Phase im Rahmen der vorgestellten Arbeit durch das Nachvollziehen von ausgearbeiteten Problemen ersetzt. Hierbei handelt es sich strenggenommen um keine Facette des Problemlöseprozesses, jedoch ist davon auszugehen, dass die Fähigkeit zum Erklären bereits ausgearbeiteter Probleme elementar für die Problemlösefähigkeit als solche ist – nur so können Problemschemata und Beispielprobleme gebildet werden.

## **Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen**

Durch die Verbindung der Erkenntnisse der Expertiseforschung einerseits und der zum Problemlösen andererseits können verschiedene Faktoren identifiziert werden, deren Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen quantitativ untersucht werden soll. Es wurden diejenigen Faktoren berücksichtigt, von denen aus der Literatur ein großer Einfluss bekannt ist, die zudem stabil sind (z.B. im Gegensatz zur Tagesform) und sich mit einem Papier-und-Bleistift-Test gut erfassen lassen. Hierbei handelt es sich um das *Fachwis-*

*sen in Mechanik*, das *Fachwissen in Mathematik*, die Erfahrung mit dem Bearbeiten von Problemen, das *problemlösebezogene Selbstkonzept* und das Interesse in Form der *Beliebtheit von physikalischen Tätigkeiten*. Es ist anzunehmen, dass eine höhere Ausprägung der genannten Faktoren mit einem größeren Erfolg beim Problemlösen einhergeht.

## **Zusammenfassung der Forschungsfragen**

Aus den theoretischen Grundlagen wurden drei Forschungsfragen und Hypothesen formuliert, die das grundsätzliche Ziel der Arbeit – die Untersuchung des Erfolgs beim Problemlösen – ausschärfen. Die Forschungsfragen beziehen sich (F1) auf die *differenzierte Beschreibung* der Fähigkeit zum Problemlösen in der Physik, (F2) die *quantitative Untersuchung* der oben genannten (personenbezogenen) Einflussfaktoren auf den Erfolg beim Problemlösen und (F3) eine *qualitative Untersuchung* typischer Fehler.

Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen des Erfolgs beim Problemlösen werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt – einerseits bei der Beleuchtung der verwendeten Instrumente und andererseits bei der Fokussierung der Ergebnisse auf die grundsätzlichen Fragestellungen der vorliegenden Arbeit: Was unterscheidet „gute“ von „schlechten“ Problemlösern und welche Faktoren beeinflussen den Erfolg beim Problemlösen?

## Messinstrumente und Methoden

Zur Beantwortung der Frage, was den Erfolg beim Problemlösen beeinflusst, wurden sowohl die Leistung von Studierenden beim Problemlösen als auch die Ausprägung der verschiedenen Einflussfaktoren erhoben. Die verwendeten Testinstrumente wurden speziell für die vorliegende Untersuchung konstruiert und getestet.

### Problemlösetest

Bei der Konstruktion eines geeigneten Instruments zur Bestimmung der Problemlösefähigkeit wird die Schwierigkeit aufgegriffen, dass in vielen Untersuchungen (z.B. Friege, 2001; PISA) „komplette Probleme“<sup>4</sup> den Ausgangspunkt zur näheren Betrachtung der Problemlösefähigkeit darstellen. Jedoch sind, wie weiter oben dargelegt, vom Problemlöser in den verschiedenen Phasen jeweils verschiedene Anforderungen zu erfüllen. Daher erschien es sinnvoll, das Testformat so auszurichten, dass die unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Phasen des Problemlösens unabhängig voneinander untersucht werden. Dadurch kann sichergestellt werden, dass von allen Probanden alle Schritte des Problemlösens beobachtet werden können – ein Nicht-Bearbeiten einer Repräsentation führt dann nicht zwangsläufig zur Nichtfeststellung einer Lösung. Die Problemlösefähigkeit ergibt sich schließlich daraus, wie gut die verschiedenen Phasen des Problemlösens in der Gesamtheit bearbeitet werden.

Bei der Konstruktion des Papier-und-Bleistift-Tests zum Problemlösen wurde darauf geachtet, die zur Bearbeitung einer Phase des Problemlösens benötigten vorangegangenen Phasen vorzugeben. Soll beispielsweise eine Lösung durchgeführt werden, sind Repräsentation und Lösungsweg angegeben. Die Probleme stammen aus den Bereichen „Energie“ und „Kinematik“ im Rahmen der Mechanik.

Da es sich bei dem verwendeten Problemlösetest um einen Leistungstest handelt, bei dem anzunehmen ist, dass das gezeigten Antwortverhal-

---

<sup>4</sup>Hiermit ist gemeint, dass den Probanden ein oder mehrere Probleme vorgegeben werden, die jeweils vollständig bis zur Lösung bzw. Evaluation zu bearbeiten sind. Die vollständige richtige Bearbeitung stellt demnach ein Maß für die Problemlösefähigkeit dar.

ten durch eine (oder mehrere) latente Variable erklärt werden kann, wurden die Daten mit einem probabilistischen Modell – dem Rasch-Modell – ausgewertet. Für den vorgestellten Problemlösetest wurde zur Auswertung ein eindimensionales Rasch-Modell mit Partial-Credit gewählt. Nach den gängigen Kriterien (vgl. z.B. Adams & Wu, 2002) ist der Problemlösetest Rasch-homogen. Die Eindimensionalität der so gemessenen Fähigkeit zum Problemlösen wurde durch Modellvergleiche bestätigt.

Um erfolgreichere mit weniger erfolgreichen Problemlösern vergleichen zu können (Experten-Novizen-Vergleich), wurden aus dem Rasch-Modell drei Stufen der Problemlösefähigkeit identifiziert, die sich in quantitativer („Probleme immer besser lösen können“) und in qualitativer Hinsicht („andere Arten von Problemen lösen können“) voneinander unterscheiden. Die Probanden verteilen sich relativ gleichmäßig auf die gefundenen Stufen. In Tabelle 5.18 sind die drei Stufen der Problemlösefähigkeit charakterisiert.

| <b>Die Bearbeitenden können...</b> |                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Stufe 1:</b>                    | ... Ansätze von Problemen im Bereich „Energie“ finden.<br>(1.5/8.0 Punkten, 28% der Stichprobe)                                                                       |
| <b>Stufe 2:</b>                    | ... über die Ansätze hinaus Probleme im Bereich<br>„Energie“ vollständig lösen und im Bereich<br>„Kinematik“ Ansätze finden.<br>(4.0/8.0 Punkten, 41% der Stichprobe) |
| <b>Stufe 3:</b>                    | ... des Weiteren Probleme aus dem Bereich<br>„Kinematik“ vollständig lösen.<br>(6.7/8.0 Punkten, 31% der Stichprobe)                                                  |

Tabelle 5.18.: Beschreibung der Stufen der Problemlösefähigkeit

Es zeigte sich, dass insbesondere der Problembereich (Energie oder Kinematik) einen großen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Lösung hat – die verwendeten Probleme aus dem Bereich „Energie“ sind für Studierende einfacher zu bearbeiten als Probleme aus dem Bereich „Kinematik“.

## **Skalen zum Selbstkonzept und der Beliebtheit von Tätigkeiten**

Um das Selbstkonzept der Probanden zu erheben, wurden insgesamt sieben Skalen entwickelt, die sowohl das allgemeine Selbstkonzept der Probanden in Physik und Mathematik erheben, als auch das Selbstkonzept in Bezug auf die einzelnen Phasen des Problemlösens erfassen. Grundsätzlich ist das Selbstkonzept der Studierenden positiv, auch wenn sich Abstufungen zwischen den einzelnen Phasen des Problemlösens finden lassen – bei der Erarbeitung eines Lösungswegs sind sich die Studierenden weniger sicher als bei der Durchführung einer Lösung. Ausgehend von dem Antwortverhalten über alle Skalen hinweg, konnten die Studierenden mit Hilfe einer Latenten Klassenanalyse einer von drei Klassen des Selbstkonzepts zugeordnet werden: hohes Selbstkonzept (23 % der Stichprobe), mittleres Selbstkonzept (47 %) und niedriges Selbstkonzept (30 %).

Das erhobene Interesse in Form der Beliebtheit von Tätigkeiten bezieht sich auf typische Handlungen in der Physik (z.B. Experimente planen, Gleichungen interpretieren, Größen berechnen). Es konnten aus den Items drei Skalen gebildet werden, die sich gut mit den Oberbegriffen „Praktiker“, „Theoretiker“ und „Rechner“ umschreiben lassen – am beliebtesten waren bei den Studierenden die praktischen Tätigkeiten. Eine Latente Klassenanalyse ließ den Schluss zu, dass die Studierenden einer der drei folgenden Klassen der Beliebtheit zugeordnet werden können: „theoretische und rechnerische Tätigkeiten sind beliebt“ (29 % der Stichprobe), „praktische Tätigkeiten sind beliebt“ (47 %) und „physikalische Tätigkeiten sind unbeliebt“ (24 %).

## **Fachwissenstests**

Aus der Theorie war anzunehmen, dass das Fachwissen einen großen Einfluss auf den Erfolg beim Problemlösen hat. Es wurde sowohl das grundlegende Fachwissen in Mechanik als auch in Mathematik erhoben. Die jeweils dichotomen Items konnten mit Hilfe von Rasch-Analysen zu Rasch-homogenen Modellen zusammengefasst werden. Ausgehend von den berechneten Itemschwierigkeiten wurden für die beiden Fachwissenstests je

drei Stufen des Fachwissens ermittelt – jede Person wurde über ihren Personenwert einer der drei Stufen zugeordnet.

Die Stufen im Fachwissen Mechanik decken sich insofern mit dem Problemlösetest, als bestätigt wird, dass die Items zur Energie für die Studierenden einfacher zu lösen waren, als die Items zur Kinematik. Nichtsdestotrotz sind ca. 40% der Probanden der höchsten Stufe im Fachwissen Mechanik zuzuordnen.

Die Stufen im Fachwissen Mathematik orientieren sich daran, ob die Studierenden Wissen lediglich reproduzieren oder es auch anwenden können. Es bleibt anzumerken, dass sich der verwendete Test für die vorliegende Stichprobe im Nachhinein als zu leicht erwies – fast zwei Drittel der Probanden erreichten die höchste Stufe im Fachwissen Mathematik.

## **Empirische Ergebnisse**

Mit den erhobenen Daten wurden zur Beantwortung der einzelnen Forschungsfragen verschiedene quantitative und qualitative Auswertungen durchgeführt. In den folgenden Abschnitten wird basierend auf der Beschreibung der Stichprobe der Fokus auf die Klärung der grundsätzlichen Ziele der vorliegenden Arbeit gelegt: Was unterscheidet „gute“ von „schlechten“ Problemlösern und welche Faktoren beeinflussen den Erfolg beim Problemlösen?

### **Beschreibung der Stichprobe**

Die Hauptstudie wurde insgesamt mit 279 Studierenden durchgeführt. 187 (67%) Studierende bearbeiteten nur den Problemlösetest, z.B. im Rahmen eines Seminars und erhielten für die Skalen und die Fachwissenstests Zugang zu einem Onlinefragebogen (s.h. Kapitel 4.1), der von 39 Personen (21%) auch bearbeitet wurde. Insgesamt haben somit 131 (47%) beide Fragebogenteile ausgefüllt. Mögliche Befürchtungen, ein Ausfüllen außerhalb von Seminaren könnte die Ergebnisse verfälschen, haben sich nicht erfüllt. Ein  $t$ -Test zeigte keine signifikanten Unterschiede oder Effekte in den Er-

gebnissen der einzelnen Testinstrumente zwischen den Teilstichproben (s.h. Anhang Tabelle A.1).

### **Kennzeichen „guter“ und „schlechter“ Problemlöser**

Ausgehend von den drei gefundenen Stufen der Problemlösefähigkeit, können die Ergebnisse in den einzelnen Teilbereichen der Untersuchung miteinander verglichen werden. Abbildung 5.31 zeigt ein Diagramm, das die Ausprägung der erhobenen Einflussfaktoren in den Stufen des Problemlösens darstellt. Für die Höhe des Fachwissens in Mechanik und des Fachwissens in Mathematik wird jeweils die erreichte Punktzahl in den Rasch-homogenen Tests verwendet. Der Kennwert für die Erfahrung beim Problemlösen setzt sich zusammen aus dem Fachsemester (Grundstudium oder Hauptstudium), der Studienrichtung (Physik als Nebenfach oder Hauptfach), der Häufigkeit, mit der Übungsaufgaben bearbeitet werden und der Tatsache, ob Physik bis zum Abitur belegt wurde. Als Ausprägung des Selbstkonzepts wird der durchschnittliche Wert über alle erhobenen Skalen ermittelt. Ergänzt werden die Einflussfaktoren um die umgepolte Abiturnote, da davon auszugehen ist, dass nicht nur der allgemeine Studienerfolg, sondern auch die Fähigkeit zum Problemlösen mit der Abiturnote zusammenhängt. Zur besseren Vergleichbarkeit der unterschiedlich skalierten Instrumente wird jeweils auf die  $z$ -transformierten Werte zurückgegriffen.

Ergänzend zu den erreichten Mittelwerten bei den vermuteten Einflussfaktoren wurden qualitativ typische Fehler erhoben, die beim Problemlösen unterlaufen. Wie in Kapitel 3.3 dargestellt, sind vorkommende Fehlertypen in der Physikdidaktik wenig erforscht. Es wird in der Einteilung auf Müller (2003) zurückgegriffen, der sich auf Untersuchungen der ingenieurspsychologischen Forschung bezieht. In der Theorie werden einerseits „Planungsfehler“ (z.B. Anwendung ungeeigneter physikalischer Konzepte), andererseits „Ausführungsfehler“ (z.B. Rechen- oder Flüchtigkeitsfehler) beschrieben, was sich gut mit den in der hier vorgestellten Untersuchung gefundenen Fehlern deckt. Fehler, die mit „falscher Ansatz“ bezeichnet werden können, sind den „Planungsfehlern“ zuzuordnen. Fehler bei Formeln und bei

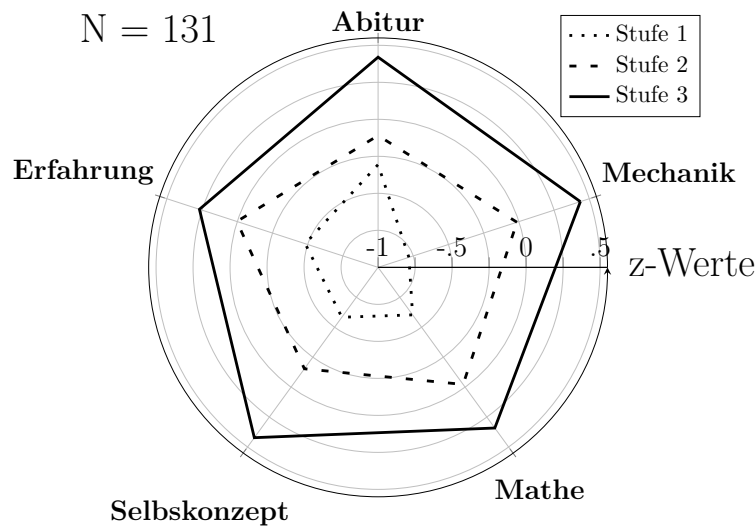


Abbildung 5.31.: Vergleich der  $z$ -transformierten Mittelwerte der Prädiktoren in den Stufen der Problemlösefähigkeit

Umformungen, Rechen- und Einheitenfehler zählen zu „Ausführungsfehlern“.

Die unterschiedlichen Häufigkeiten der gemachten Fehlertypen ergänzen den Vergleich der Probanden auf den unterschiedlichen Stufen der Problemlösefähigkeit. Zusammengefasst können die Eigenschaften „guter“ und „schlechter“ Problemlöser wie folgt gegeneinander abgegrenzt werden.

Gute, das heißt erfolgreiche Problemlöser (Stufe 3 der Problemlösefähigkeit) erreichen in allen erhobenen Prädiktorvariablen überdurchschnittliche Werte – sie verfügen über mehr Fachwissen in Mechanik und Mathematik, besitzen ein höheres Selbstkonzept, haben bessere Abiturnoten und weisen eine größere Erfahrung beim Lösen von Problemen auf. Auch in qualitativer Hinsicht zeichnen sich gute Problemlöser gegenüber schlechteren aus – sie machen im Allgemeinen weniger Fehler beim Problemlösen und neigen eher zu Ausführungsfehlern („Flüchtigkeitsfehlern“) als zu Fehlern in der Planung des Problemlöseprozesses. Bei der Erklärung von ausgearbeiteten Lösungen argumentieren erfolgreiche Problemlöser auf einer „physikalischen Ebene“: Sie können die Struktur und Bedeutung von Formeln erklären und verwenden grundlegende physikalische Prinzipien als Leitlinien für das Nachvollziehen von Lösungen.

Schlechte Problemlöser (Stufe 1 der Problemlösefähigkeit) zeigen in den



vergleichenen Variablen durchweg geringere Ausprägungen als Probanden aus der darüberliegenden Stufe. Insbesondere im Fachwissen Mechanik schneiden diese Personen wesentlich schlechter ab. Bei der qualitativen Untersuchung des Problemlöseprozesses zeigt es sich, dass schlechte Problemlöser zum einen mehr Fehler machen und dass ihnen zum anderen häufiger Fehler bei der Planung zur Lösung des Problems unterlaufen als guten Problemlösern. Beim Nachvollziehen von ausgearbeiteten Lösungen orientieren sich schlechte Problemlöser häufig an „Formelwissen“ und liefern nur selten physikalische Begründungen für Lösungsschritte.

Die Unterschiede zwischen guten und schlechten Problemlösern stehen im Einklang mit den Erwartungen aus den theoretischen Überlegungen. Aus dem Vergleich von guten/schlechten Problemlösern und ihren Eigenschaften wird vor allem die Bedeutung des Fachwissens in Mechanik deutlich. Durch die Analysen im Rahmen der Aufstellung eines quantitativen Modells zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen wird dieser Einfluss weiter unterstrichen.

## Modell zur Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen

Es konnten zwischen allen Einflussfaktoren (Fachwissen Mechanik, Fachwissen Mathematik, Selbstkonzept, Abiturnote, Erfahrung) und den erreichten Punkten beim Problemlösetest direkte Korrelationen gefunden werden. Durch vorangegangene Untersuchungen, unter anderem dem Vergleich der verschiedenen Stufen- und Klassenzugehörigkeiten mit Kreuztabellen, zeichnete sich jedoch ab, dass vor allem das Fachwissen in Mechanik verantwortlich für den Erfolg beim Problemlösen ist.

Um diesen Effekt quantitativ abzusichern, wurden Mediationsanalysen durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass alle untersuchten Variablen nur indirekt über das Fachwissen Mechanik wirken – wird das Fachwissen Mechanik in eine Analyse mit einbezogen, so verlieren die anderen Prädiktoren ihren signifikanten Einfluss. Lediglich das physik- und problemlösebezogene Selbstkonzept kann unter Einbeziehung des Fachwissens Mechanik den Erfolg beim Problemlösen weiterhin bedeutsam vorhersagen.

Ausgehend von den Ergebnissen der Mediationsanalyse wurde abschließend eine Lineare Regression mit dem Fachwissen Mechanik und dem Selbstkonzept durchgeführt. Die Ergebnisse der Regression machen deutlich, dass das Fachwissen Mechanik und das Selbstkonzept als unabhängige Variablen den Erfolg beim Problemlösen bedeutsam vorhersagen (mittlerer Effekt). Der Einfluss des Selbstkonzepts ist für das gefundene Modell bedeutsam, auch wenn er kleiner als der Einfluss des Fachwissens Mechanik ist. Die Einbeziehung des Selbstkonzepts beschreibt signifikant besser den Erfolg beim Problemlösen als ein Modell, das nur das Fachwissen Mechanik berücksichtigt.

Abbildung 5.32 zeigt eine Zusammenfassung der direkten und indirekten Effekte auf den Erfolg beim Problemlösen.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass vor allem das Fachwissen in Mechanik den Erfolg beim Problemlösen beeinflusst. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit vorangegangenen Forschungsergebnissen und ergänzt sie durch quantitative Untersuchungen.

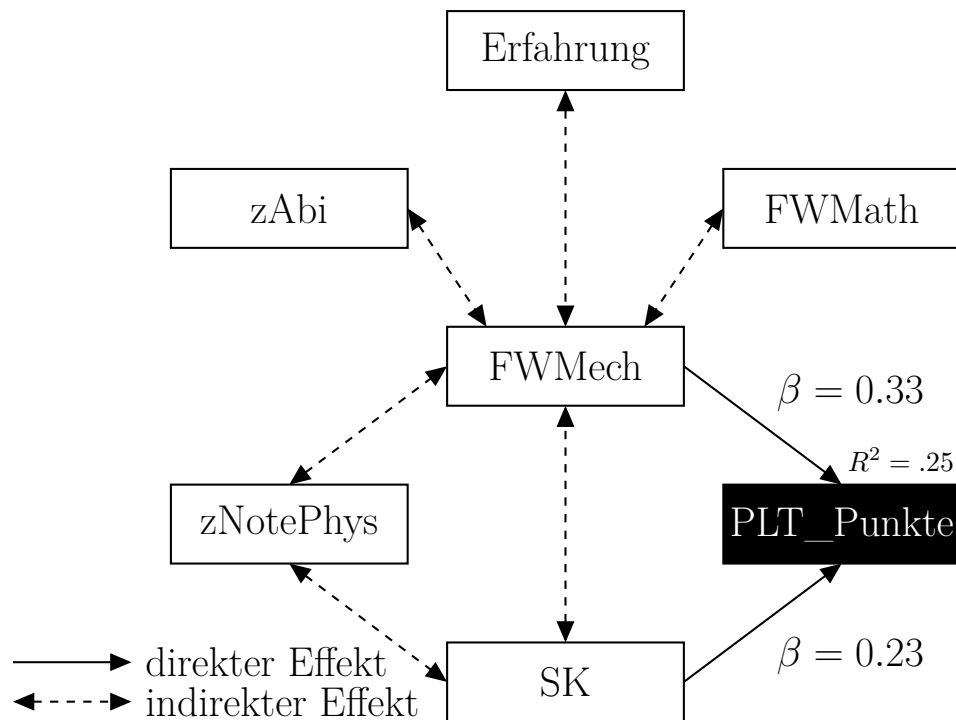


Abbildung 5.32.: Direkte und indirekte Einflüsse auf den Erfolg beim Problemlösen

## Reflexion und Ausblick

Die vorliegende Arbeit konnte bestätigen, was durch vorangegangene Untersuchungen aus der Expertiseforschung und auch im Rahmen der physikdidaktischen Forschung bekannt war: Das Fachwissen in Physik beeinflusst maßgeblich den Erfolg beim Problemlösen. Der Zusammenhang konnte durch eine detaillierte Erhebung und Auswertung empirisch abgesichert werden. Es wurde gezeigt, dass der Einfluss anderer Faktoren (z.B. Fachwissen in Mathematik, Abiturnote oder Erfahrung) lediglich indirekt über das Fachwissen in Physik wirkt.

Als selbstständiger, wenn auch etwas schwächerer Prädiktor konnte zusätzlich das physik- und problemlösebezogene Selbstkonzept identifiziert werden, das zu einer signifikant besseren Erklärung des Erfolgs beim Problemlösen beiträgt. Ein höheres Selbstkonzept – also die höhere Selbsteinschätzung einer Person über ihre Fähigkeiten – unterstützt das erfolgreiche Lösen von Problemen. Das umfassende Selbstkonzept einer Person ist recht stabil und kann nur schwer geändert werden. In der vorliegenden Arbeit

wurde jedoch gezeigt, dass das domänenspezifische (in Bezug auf Physik) und situationsgebundene Selbstkonzept (in Bezug auf das Problemlösen) das erfolgreiche Bearbeiten von Problemen unterstützen. Die beiden genannten Ebenen des Selbstkonzepts sind leichter beeinfluss- und änderbar (vgl. Kapitel 2.7.3). Neben einer Vergrößerung des Fachwissens ist die gezielte Förderung eines positiven Selbstkonzepts eine denkbare Möglichkeit erfolgreiches Problemlösen zu unterstützen. Weitere Forschungen müssen überprüfen, welche Effekte ein direktes Training des Selbstkonzepts auf das Lösen von Problemen hat.

Als weiteres interessantes Ergebnis ist die unterschiedliche Schwierigkeit von Items zum Problemlösen aus verschiedenen Bereichen der Mechanik (Energie vs. Kinematik) zu nennen. Zu Beginn der Untersuchung wurde von einem in etwa gleichen Schwierigkeitsgrad der Items, bzw. von einer etwas höheren Schwierigkeit der Probleme zur Energieerhaltung ausgegangen. Bei der Auswertung der Ergebnisse des Problemlösetest zeigte sich jedoch, dass die Items zur Energie besser gelöst werden konnten als die Items zur Kinematik. Eine Möglichkeit zur Erklärung des Ergebnisses wäre, dass lediglich die Wahl der Probleme zu einem Unterschied in den Schwierigkeiten geführt hat. Dem widersprechen die Ergebnisse aus dem Fachwissenstest Mechanik, auch hier wurden die Items zur Kinematik weniger erfolgreich bearbeitet als Items zum Bereich der Energie. Um stichhaltig zu klären, wie die Schwierigkeit von Problemen mit den unterschiedlichen Bereichen zusammenhängt, sind weitere Untersuchungen mit mehr Items und gezielter Variation des Bereichs nötig.

Trotz der gewonnen Erkenntnisse ist im Rückblick an der einen oder anderen Stelle der empirischen Untersuchung Optimierungspotenzial zu erkennen. So stellte sich im Nachhinein heraus, dass die Wahl der Items für den Problemlösetest aus verschiedenen Teilgebieten der Mechanik nicht vollständig optimal war. Die Beeinflussung der Schwierigkeit eines Items über den Bereich (Energie vs. Kinematik) ist zwar ein interessantes Ergebnis, führt jedoch möglicherweise zu einer Überdeckung anderer Effekte, wie z.B. unterschiedlicher Schwierigkeiten der Phasen beim Problemlösen.

Des Weiteren liegt durch die teilweise Verwendung eines Onlinefragebo-

gens nicht für alle Probanden ein vollständiger Datensatz mit allen Variablen vor. Jedoch konnte die Untersuchung nur so auch an Standorten durchgeführt werden, die lediglich 45 Minuten Testzeit zur Verfügung hatten – was eine angemessene Stichprobengröße für die Rasch-Skalierung des Problemlösetests ermöglichte.

Für nachfolgende Untersuchungen sollte angestrebt werden, die Erfahrung beim Problemlösen differenzierter zu betrachten, auch wenn eine Annäherung über leicht zu messende Größen, z.B. das Fachsemester, im Rahmen der vorliegenden Studie zunächst angemessen war.

Die vorliegende Arbeit kann als Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen dienen. Die entwickelten Instrumente, insbesondere der Problemlösetest, haben sich bewährt und können, in entsprechend angepasster Form, für weitere Studien verwendet werden. Beispielsweise wäre es für weitere Forschungen interessant, die zeitliche Entwicklung der Problemlösefähigkeit zu erheben und in Bezug zu der hinzugewonnenen Erfahrung und dem Fachwissen zu setzen.

Da das Problemlösen im schulischen und universitären Kontext einen wichtigen Platz einnimmt, wäre es angemessen zu untersuchen, wie erfolgreiches Problemlösen zielführend gefördert werden kann. Die vorliegenden Ergebnisse sprechen dafür, dass vor allem das nötige Fachwissen vorhanden sein muss. Aber auch das problemlösebezogene Selbstkonzept spielt, wie die vorliegende Arbeit zeigt, beim erfolgreichen Problemlösen eine Rolle. Zusätzlich ist zu vermuten, dass auch das Wissen über das Problemlösen (z.B. über den Ablauf der Phasen, die Lösungsstrategien usw.) und die (detaillierter erhobene) Erfahrung zu einer guten Problemlösefähigkeit von Studierenden beitragen.

Das traditionsreiche Forschungsgebiet zum Problemlösen bietet, wie kurz angerissen, weiterhin zahlreiche Bereiche an, in denen die physikdidaktische Forschung tätig werden kann. Die vorliegende Arbeit hat nur einen kleinen Aspekt näher beleuchtet und konnte durch die empirische Untersuchung zu einem fundierteren Wissen über die Einflussfaktoren des erfolgreichen Problemlösens beitragen.

**Teil V.**

**Anhang**



## A. Statistische Dokumentationen

### A.1. Beschreibung der Stichprobe

|                   |              | <i>M</i> | <i>SD</i> | $\Delta$ | <i>t</i> | <i>df</i> | <i>p</i> | 95% KI     | <i>d</i> |
|-------------------|--------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|------------|----------|
| FW Mathe          | online       | 15.91    | 4.25      | 0.43     | 0.42     | 118       | .676     | -1.61 2.47 | -0.08    |
|                   | nicht online | 15.48    | 5.45      |          |          |           |          |            |          |
| FW Physik         | online       | 11.71    | 4.50      | 1.36     | 1.40     | 118       | .165     | -0.57 3.29 | -0.27    |
|                   | nicht online | 10.35    | 4.98      |          |          |           |          |            |          |
| SK Physik         | online       | 2.87     | 0.62      | 0.02     | 0.17     | 118       | .862     | -0.19 0.23 | -0.04    |
|                   | nicht online | 2.85     | 0.49      |          |          |           |          |            |          |
| SK Mathe          | online       | 3.03     | 0.60      | 0.11     | 0.95     | 118       | .342     | -0.12 0.33 | -0.20    |
|                   | nicht online | 2.93     | 0.54      |          |          |           |          |            |          |
| SK PL allgemein   | online       | 2.71     | 0.50      | 0.04     | 0.36     | 118       | .716     | -0.16 0.23 | -0.07    |
|                   | nicht online | 2.68     | 0.49      |          |          |           |          |            |          |
| SK Repräsentation | online       | 2.74     | 0.65      | -0.05    | -0.44    | 118       | .661     | -0.25 0.16 | 0.10     |
|                   | nicht online | 2.79     | 0.46      |          |          |           |          |            |          |
| SK Lösungsweg     | online       | 2.62     | 0.57      | 0.02     | 0.19     | 118       | .849     | -0.19 0.23 | -0.04    |
|                   | nicht online | 2.60     | 0.51      |          |          |           |          |            |          |
| SK Lösungsweg     | online       | 3.25     | 0.48      | 0.11     | 1.16     | 118       | .250     | -0.08 0.30 | -0.23    |
|                   | nicht online | 3.14     | 0.46      |          |          |           |          |            |          |
| SK Nachvollziehen | online       | 3.19     | 0.54      | 0.07     | 0.59     | 118       | .558     | -0.15 0.28 | -0.12    |
|                   | nicht online | 3.12     | 0.56      |          |          |           |          |            |          |
| Theoretiker       | online       | 2.70     | 0.63      | 0.02     | 0.17     | 126       | .867     | -0.19 0.23 | -0.03    |
|                   | nicht online | 2.68     | 0.52      |          |          |           |          |            |          |
| Rechner           | online       | 2.93     | 0.50      | 0.07     | 0.84     | 126       | .402     | -0.10 0.24 | -0.17    |
|                   | nicht online | 2.86     | 0.42      |          |          |           |          |            |          |
| Praktiker         | online       | 3.09     | 0.51      | -0.12    | -1.10    | 126       | .274     | -0.35 0.10 | 0.20     |
|                   | nicht online | 3.21     | 0.62      |          |          |           |          |            |          |

Tabelle A.1.: Mittelwertsvergleiche online vs. nicht online ausgefüllt



## A.2. Bewertungsschema des Problemlösetests

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kodierung Repräsentation</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Lückentext:</i> Richtiger Begriff in Lücke → 1<br>Falscher Begriff in Lücke → 0 + Inhalt der Lücke                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <i>Skizze:</i><br>Skizze stellt Situation angemessen dar → 1<br>Keine angemessene Darstellung → 0 + Kodierung des Fehlers<br>(falsche Situation dargestellt; nicht alle relevanten Größen angegeben)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Kodierung Lösungsweg</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <i>Wissenselemente:</i> Richtige Beschreibung in Worten → 1<br>Falsche Beschreibung in Worten → 0 + Kodierung des Fehlers<br>(falscher Begriff. unvollständig. „Formel in Worten“) richtig → 1;<br>falsch → 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>Ansatz:</i> Kodierung nach 1 und 0 ob angekreuzt oder nicht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Kodierung Lösung</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Einzelner Lösungsschritt richtig → 1<br>Einzelner Lösungsschritt falsch → 0 + Kodierung des Fehlers<br>(Falscher Ansatz. Fehler in verwendeter Formel. Fehler bei der Umformung. Einheitenfehler. Rechenfehler. Unvollständig)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Kodierung Nachvollziehen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Beantwortung der Fragen mit „ja“ (2). „teilweise“ (1). „nein“ (0)<br><i>Lösung wurde fachlich korrekt erklärt?</i><br><i>Struktur von Formeln wird aus physikalischer Sicht erklärt?</i> (z.B. Superposition von Bewegungen als einander entgegenwirkende Termteile)<br><i>Es wurde überwiegend mit Formelwissen argumentiert?</i> (z.B. das ist die gegebene Formel für beschleunigte Bewegungen)<br><i>Es wurde auf mathem. Ebene argumentiert?</i> (z.B. etwas wird 0 gesetzt)<br><i>Es wurde auf physikalischer Ebene argumentiert?</i> (z.B. der Körper kommt zur Ruhe. weshalb die Geschwindigkeit gleich 0 sein muss) |
| <i>Abbruchpunkte:</i> Zusätzliche Erhebung eventueller Abbruchpunkte in Form des nicht mehr gezeigten Schritts der Lösung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Tabelle A.2.: Kodierungsschema PLT (Hauptstudie)

## A.3. Skalen zum Selbstkonzept

### A.3.1. Items der Skalen zum Selbstkonzept

Ein (-) bedeutet, dass es sich um ein „umgekehrtes“ Item handelt. Durchgestrichene Items wurden nach der Überprüfung (s.h. Kapitel 4.3.2.2) aus der Skala entfernt.

|         |                                                                 |
|---------|-----------------------------------------------------------------|
| physk.1 | Ich komme mit den Anforderungen des Physikstudiums gut zurecht. |
| physk.2 | Ich komme mit Physik als Studienfach gut zurecht.               |
| physk.3 | Ich bin für Physik begabt.                                      |
| physk.4 | Physik liegt mir nicht besonders. (-)                           |
| physk.5 | Ich bringe gute Leistungen in Physik.                           |

Tabelle A.3.: Skala domänenspezifisches Selbstkonzept: Physik

|         |                                                                                |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------|
| matsk.1 | Ich komme mit den mathematischen Anforderungen des Physikstudiums gut zurecht. |
| matsk.2 | Ich komme mit der Mathematik in physikalischen Betrachtungen gut zurecht.      |
| matsk.3 | Ich bin für Mathe begabt.                                                      |
| matsk.4 | Mathematisieren in Physik liegt mir nicht besonders. (-)                       |
| matsk.5 | Ich bringe gute Leistungen bei Mathematikanteilen in Physik.                   |

Tabelle A.4.: Skala domänenspezifisches Selbstkonzept: Mathematik

|         |                                                                             |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------|
| aplsk.1 | Ich kann physikalische Probleme und Aufgaben gut lösen.                     |
| aplsk.2 | Ich kann die im Physikstudium vorkommenden Probleme und Aufgaben gut lösen. |
| aplsk.3 | Ich halte meine problemlösebezogenen Fähigkeiten für ausgeprägt.            |
| aplsk.4 | Ich komme mit Inhalten der Mechanik gut zurecht.                            |
| aplsk.5 | Das Lösen von Problemen aus der Mechanik fällt mir leicht.                  |

Tabelle A.5.: Skala situationsspezifisches Selbstkonzept: Problemlösen allgemein

### A.3.2. Reliabilitätsanalysen

|          |                                                                                                                     |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| replsk.1 | Ich kann gut Repräsentationen (z.B. Skizzen, physikalische Beschreibungen etc.) für physikalische Probleme finden.  |
| replsk.2 | Ich kann physikalische Probleme angemessen beschreiben.                                                             |
| replsk.3 | Ich kann physikalische Fachtermini angemessen verwenden.                                                            |
| replsk.4 | Ich kann den physikalischen Inhalt von Problemen erkennen.                                                          |
| replsk.5 | Ich kann erkennen, welches physikalische Konzept (z.B. Energieerhaltung) für ein Problem angemessen ist.            |
| replsk.6 | Auch in unbekannten Beispielen gelingt es mir, den physikalischen Inhalt eines Problems zu erkennen.                |
| replsk.7 | Es bereitet mir Schwierigkeiten, mit meinem Wissen ein unbekanntes Problem adäquat physikalisch zu beschreiben. (-) |
| replsk.8 | Ob ich den Inhalt eines Problems erkenne, hängt sehr von der jeweiligen Situation ab. (-)                           |

Tabelle A.6.: Skala situationsspezifisches Selbstkonzept: Repräsentation

|          |                                                                                                                                   |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| lwplsk.1 | Ich kann einen Lösungsweg selbstständig erarbeiten.                                                                               |
| lwplsk.2 | Ich brauche wenigstens eine vorgegebene Skizze für ein Problem, um daraus einen Lösungsweg zu erarbeiten. (-)                     |
| lwplsk.3 | Ich brauche wenigstens eine vorgegebene physikalische Beschreibung für ein Problem, um daraus einen Lösungsweg zu erarbeiten. (-) |
| lwplsk.4 | Ich kann auf eine Auswahl an Lösungswegen zurückgreifen, die auf verschiedene Situationen anwendbar sind.                         |
| lwplsk.5 | Ich kann aus den physikalischen Konzepten, die bei einem Problem zum Tragen kommen, einen angemessenen Lösungsweg erarbeiten.     |
| lwplsk.6 | Auch bei neuen Problemen kann ich mir einen Lösungsweg erarbeiten.                                                                |
| lwplsk.7 | In neuen Situationen kann ich mich darauf verlassen, dass ich auf Erfahrungen mit anderen Problemen zurückgreifen kann.           |
| lwplsk.8 | Um einen richtigen Lösungsweg auszuwählen/ zu finden, muss man manchmal einfach Glück haben. (-)                                  |

Tabelle A.7.: Skala situationsspezifisches Selbstkonzept: Lösungsweg

|          |                                                                                                                      |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| löplsk.1 | Wenn ich den Lösungsweg kenne, kann ich die eigentliche Lösung gut durchführen.                                      |
| löplsk.2 | Ohne eine genaue Vorgabe der Lösungsschritte kann ich ein physikalisches Problem nicht lösen. (-)                    |
| löplsk.3 | Die Vorgabe von Lösungsschritten hilft mir, ein physikalisches Problem zu lösen.                                     |
| löplsk.4 | Ich kann mit mathematischen Anforderungen beim Lösen eines Problems gut umgehen.                                     |
| löplsk.5 | Auch mathematische Inhalte hindern mich nicht daran, ein physikalisches Problem zu lösen.                            |
| löplsk.6 | Wenn ich beim Lösen von physikalischen Aufgaben auf Schwierigkeiten stoße, dann sind diese mathematischer Natur. (-) |
| löplsk.7 | Wenn ich weiß, wie ich vorzugehen habe, kann ich auch schwierige Probleme lösen.                                     |
| löplsk.8 | Wenn ich den Lösungsweg eines Problems kenne, bereitet mir die eigentliche Lösung keine Schwierigkeiten.             |
| löplsk.9 | Ohne eine schrittweise Anleitung kann ich ein unbekanntes physikalisches Problem nicht lösen. (-)                    |

Tabelle A.8.: Skala situationsspezifisches Selbstkonzept: Lösung

|          |                                                                                                                          |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| nvplsk.1 | Ist mir eine Lösung zu einem Problem vorgegeben, kann ich anderen diese Lösung des Problem erklären.                     |
| nvplsk.2 | Ich kann ausgearbeitete Lösungen gut nachvollziehen.                                                                     |
| nvplsk.3 | Ich kann bei ausgearbeiteten Lösungen erkennen, welche physikalischen Konzepte hinter einzelnen Lösungsschritten stehen. |
| nvplsk.4 | Ich kann den physikalischen Inhalt mathematischer Gleichungen und Umformungen erkennen.                                  |
| nvplsk.5 | Ich kann auch Lösungen zu schwierigen Problemen nachvollziehen.                                                          |
| nvplsk.6 | Wenn ich die ausgearbeitete Lösung zu einem schwierigen Problem vorliegen habe, kann ich die Lösung nachvollziehen.      |

Tabelle A.9.: Skala situationsspezifisches Selbstkonzept: Nachvollziehen

|         | Skalenmittelwert,<br>wenn Item<br>weggelassen | Skalenvarianz,<br>wenn Item<br>weggelassen | Korrigierte<br>Item-Skala-<br>Korrelation | Cronbachs<br>Alpha, wenn<br>Item<br>weggelassen |
|---------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| physk.1 | 11.41                                         | 4.83                                       | .74                                       | .77                                             |
| physk.2 | 11.27                                         | 4.45                                       | .72                                       | .77                                             |
| physk.3 | 11.60                                         | 4.80                                       | .64                                       | .79                                             |
| physk.4 | 11.06                                         | 5.02                                       | .45                                       | .85                                             |
| physk.5 | 11.55                                         | 4.93                                       | .63                                       | .79                                             |

$N = 133$ ; Cronbachs  $\alpha = .83$

Tabelle A.10.: Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Physik

## A. Statistische Dokumentationen

|         | Skalenmittelwert,<br>wenn Item<br>weggelassen | Skalenvarianz,<br>wenn Item<br>weggelassen | Korrigierte<br>Item-Skala-<br>Korrelation | Cronbachs<br>Alpha, wenn<br>Item<br>weggelassen |
|---------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| matsk.1 | 11.68                                         | 4.95                                       | 0.82                                      | 0.77                                            |
| matsk.2 | 11.61                                         | 5.36                                       | 0.74                                      | 0.80                                            |
| matsk.3 | 11.71                                         | 5.10                                       | 0.64                                      | 0.82                                            |
| matsk.4 | 11.71                                         | 5.65                                       | 0.41                                      | 0.89                                            |
| matsk.5 | 11.78                                         | 4.85                                       | 0.75                                      | 0.79                                            |

$N = 129$ ; Cronbachs  $\alpha = .85$

Tabelle A.11.: Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Mathematik

|         | Skalenmittelwert,<br>wenn Item<br>weggelassen | Skalenvarianz,<br>wenn Item<br>weggelassen | Korrigierte<br>Item-Skala-<br>Korrelation | Cronbachs<br>Alpha, wenn<br>Item<br>weggelassen |
|---------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| aplsk.1 | 10.85                                         | 4.50                                       | .71                                       | .78                                             |
| aplsk.2 | 10.94                                         | 4.64                                       | .60                                       | .81                                             |
| aplsk.3 | 10.93                                         | 4.51                                       | .56                                       | .82                                             |
| aplsk.4 | 10.77                                         | 4.10                                       | .70                                       | .78                                             |
| aplsk.5 | 11.00                                         | 4.46                                       | .60                                       | .81                                             |

$N = 124$ ; Cronbachs  $\alpha = .83$

Tabelle A.12.: Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen allgemein

|          | Skalenmittelwert,<br>wenn Item<br>weggelassen | Skalenvarianz,<br>wenn Item<br>weggelassen | Korrigierte<br>Item-Skala-<br>Korrelation | Cronbachs<br>Alpha, wenn<br>Item<br>weggelassen |
|----------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| replsk.1 | 13.85                                         | 7.66                                       | .53                                       | .85                                             |
| replsk.2 | 13.79                                         | 7.16                                       | .72                                       | .82                                             |
| replsk.3 | 13.98                                         | 7.05                                       | .65                                       | .83                                             |
| replsk.4 | 13.79                                         | 6.99                                       | .74                                       | .82                                             |
| replsk.5 | 13.84                                         | 7.08                                       | .62                                       | .84                                             |
| replsk.6 | 14.17                                         | 7.22                                       | .63                                       | .84                                             |

$N = 120$ ; Cronbachs  $\alpha = .86$

Tabelle A.13.: Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Repräsentation

|          | Skalenmittelwert,<br>wenn Item<br>weggelassen | Skalenvarianz,<br>wenn Item<br>weggelassen | Korrigierte<br>Item-Skala-<br>Korrelation | Cronbachs<br>Alpha, wenn<br>Item<br>weggelassen |
|----------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| lwplsk.1 | 15.69                                         | 9.66                                       | .76                                       | .81                                             |
| lwplsk.2 | 15.88                                         | 10.51                                      | .47                                       | .86                                             |
| lwplsk.3 | 15.92                                         | 10.66                                      | .53                                       | .84                                             |
| lwplsk.4 | 15.77                                         | 10.65                                      | .51                                       | .85                                             |
| lwplsk.5 | 15.65                                         | 10.50                                      | .65                                       | .83                                             |
| lwplsk.6 | 15.84                                         | 9.88                                       | .72                                       | .82                                             |
| lwplsk.7 | 15.87                                         | 9.64                                       | .69                                       | .82                                             |

$N = 119$ ; Cronbachs  $\alpha = .86$

Tabelle A.14.: Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Lösungsweg

|          | Skalenmittelwert,<br>wenn Item<br>weggelassen | Skalenvarianz,<br>wenn Item<br>weggelassen | Korrigierte<br>Item-Skala-<br>Korrelation | Cronbachs<br>Alpha, wenn<br>Item<br>weggelassen |
|----------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| löplsk.1 | 18.79                                         | 8.82                                       | .43                                       | .68                                             |
| löplsk.2 | 19.30                                         | 7.93                                       | .48                                       | .66                                             |
| löplsk.5 | 19.34                                         | 7.16                                       | .56                                       | .64                                             |
| löplsk.6 | 19.34                                         | 7.68                                       | .37                                       | .70                                             |
| löplsk.7 | 18.97                                         | 9.15                                       | .32                                       | .70                                             |
| löplsk.8 | 18.86                                         | 8.94                                       | .39                                       | .69                                             |
| löplsk.9 | 19.29                                         | 7.84                                       | .45                                       | .67                                             |

$N = 121$ ; Cronbachs  $\alpha = .71$

Tabelle A.15.: Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Lösung

|          | Skalenmittelwert,<br>wenn Item<br>weggelassen | Skalenvarianz,<br>wenn Item<br>weggelassen | Korrigierte<br>Item-Skala-<br>Korrelation | Cronbachs<br>Alpha, wenn<br>Item<br>weggelassen |
|----------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| nvplsk.1 | 15.61                                         | 8.22                                       | .62                                       | .86                                             |
| nvplsk.2 | 15.57                                         | 8.08                                       | .73                                       | .84                                             |
| nvplsk.3 | 15.76                                         | 7.65                                       | .77                                       | .84                                             |
| nvplsk.4 | 15.76                                         | 8.23                                       | .53                                       | .88                                             |
| nvplsk.5 | 15.94                                         | 7.74                                       | .72                                       | .85                                             |
| nvplsk.6 | 15.76                                         | 7.97                                       | .72                                       | .85                                             |

$N = 124$ ; Cronbachs  $\alpha = .87$

Tabelle A.16.: Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Nachvollziehen

### A.3.3. Faktorenanalysen

|                                                                                                                                            | Entwicklung von<br>Lösungswegen | Rückgriff auf<br>Lösungswege |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| lwplsk.1 Ich kann einen Lösungsweg selbstständig erarbeiten.                                                                               | <b>.777</b>                     | .369                         |
| lwplsk.2 Ich brauche wenigstens eine vorgegebene Skizze für ein Problem, um daraus einen Lösungsweg zu erarbeiten. (-)                     | .148                            | <b>.876</b>                  |
| lwplsk.3 Ich brauche wenigstens eine vorgegebene physikalische Beschreibung für ein Problem, um daraus einen Lösungsweg zu erarbeiten. (-) | .217                            | <b>.860</b>                  |
| lwplsk.4 Ich kann auf eine Auswahl an Lösungswegen zurückgreifen, die auf verschiedene Situationen anwendbar sind.                         | <b>.765</b>                     | -.014                        |
| lwplsk.5 Ich kann aus den physikalischen Konzepten, die bei einem Problem zum Tragen kommen, einen angemessenen Lösungsweg erarbeiten.     | <b>.795</b>                     | .159                         |
| lwplsk.6 Auch bei neuen Problemen kann ich mir einen Lösungsweg erarbeiten.                                                                | <b>.767</b>                     | .330                         |
| lwplsk.7 In neuen Situationen kann ich mich darauf verlassen, dass ich auf Erfahrungen mit anderen Problemen zurückgreifen kann.           | <b>.801</b>                     | .231                         |

KMO: .83

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse

Rotierte Faktorenladungen; Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung

Tabelle A.17.: Faktorenanalyse der Skala zum Selbstkonzept Lösungsweg

|                                                                                                                               | Vorgaben    | Wissen<br>über<br>Vorgehen | Mathematik  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| löplsk.1 Wenn ich den Lösungsweg kenne, kann ich die eigentliche Lösung gut durchführen.                                      | .079        | <b>.745</b>                | .229        |
| löplsk.2 Ohne eine genaue Vorgabe der Lösungsschritte kann ich ein physikalisches Problem nicht lösen. (-)                    | <b>.920</b> | .068                       | .146        |
| löplsk.5 Auch mathematische Inhalte hindern mich nicht daran, ein physikalisches Problem zu lösen.                            | .237        | .252                       | <b>.777</b> |
| löplsk.6 Wenn ich beim Lösen von physikalischen Aufgaben auf Schwierigkeiten stoße, dann sind diese mathematischer Natur. (-) | .044        | .044                       | <b>.895</b> |
| löplsk.7 Wenn ich weiß, wie ich vorzugehen habe, kann ich auch schwierige Probleme lösen.                                     | .262        | <b>.716</b>                | -.140       |
| löplsk.8 Wenn ich den Lösungsweg eines Problems kenne, bereitet mir die eigentliche Lösung keine Schwierigkeiten.             | -.102       | <b>.813</b>                | .266        |
| löplsk.9 Ohne eine schrittweise Anleitung, kann ich ein unbekanntes physikalisches Problem nicht lösen. (-)                   | <b>.912</b> | .100                       | .102        |

KMO: .64

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse

Rotierte Faktorenladungen; Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung

Tabelle A.18.: Faktorenanalyse der Skala zum Selbstkonzept Lösung



|               | Repräsen-<br>tation | Nachvoll-<br>ziehen | Lösungs-<br>weg | Lösung      |
|---------------|---------------------|---------------------|-----------------|-------------|
| replsk.1      | <b>.623</b>         | .037                | .031            | .294        |
| replsk.2      | <b>.726</b>         | .254                | .099            | -.002       |
| replsk.3      | <b>.652</b>         | .320                | .103            | -.117       |
| replsk.4      | <b>.687</b>         | .306                | .198            | -.012       |
| replsk.5      | <b>.717</b>         | -.026               | .234            | .059        |
| replsk.6      | <b>.703</b>         | .178                | .240            | -.099       |
| lwplsk.1      | <b>.749</b>         | .119                | .321            | .146        |
| lwplsk.2      | .196                | .096                | <b>.767</b>     | .162        |
| lwplsk.3      | .239                | .106                | <b>.765</b>     | -.020       |
| lwplsk.4      | <b>.615</b>         | .273                | .088            | -.118       |
| lwplsk.5      | <b>.680</b>         | .326                | .173            | .070        |
| lwplsk.6      | <b>.719</b>         | .198                | .294            | .099        |
| lwplsk.7      | <b>.758</b>         | .129                | .136            | .132        |
| löplsk.1      | .278                | <b>.526</b>         | -.199           | .388        |
| löplsk.2      | <b>.423</b>         | .211                | <b>.724</b>     | .139        |
| löplsk.5      | .099                | .235                | .237            | <b>.711</b> |
| löplsk.6      | -.239               | -.008               | .231            | <b>.827</b> |
| löplsk.7      | .283                | .327                | -.095           | .209        |
| löplsk.8      | .062                | <b>.550</b>         | -.239           | <b>.439</b> |
| löplsk.9      | <b>.450</b>         | .183                | <b>.607</b>     | .178        |
| nvplsk.1      | .162                | <b>.777</b>         | .164            | .058        |
| nvplsk.2      | .145                | <b>.792</b>         | .266            | .085        |
| nvplsk.3      | .447                | <b>.733</b>         | .146            | .030        |
| nvplsk.4      | .343                | <b>.415</b>         | .010            | <b>.525</b> |
| nvplsk.5      | .343                | <b>.658</b>         | .216            | .174        |
| nvplsk.6      | .102                | <b>.827</b>         | .202            | .055        |
| % der Varianz | 25.0                | 17.1                | 11.2            | 8.1         |

KMO: .89

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse

Rotierte Faktorenladungen; Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung

Tabelle A.19.: Faktorenanalyse der Skalen zum Selbstkonzept der Phasen des Problemlösens

## A.4. Fachwissenstests

| Item     | $Q$ -Index | $z_Q$   | $p$ (einseitig) |
|----------|------------|---------|-----------------|
| ARITH_01 | 0.1365     | 0.0062  | 0.498           |
| ARITH_04 | 0.1866     | 0.7553  | 0.225           |
| GEO_06   | 0.1501     | 0.2090  | 0.417           |
| GEO_07   | 0.1588     | 0.3414  | 0.366           |
| GEO_09   | 0.2017     | 0.9752  | 0.165           |
| GEO_10   | 0.1794     | 0.6261  | 0.266           |
| FKT_14   | 0.0146     | -0.6287 | 0.735           |
| FKT_15   | 0.2256     | 1.4092  | 0.079           |
| FKT_16   | 0.1612     | 0.4682  | 0.320           |
| FKT_17   | 0.1838     | 0.6685  | 0.252           |
| VEK_19   | 0.1278     | -0.0943 | 0.538           |
| VEK_20   | 0.1180     | -0.2602 | 0.603           |
| VEK_21   | 0.1890     | 0.7699  | 0.221           |
| VEK_25   | 0.1016     | -0.6315 | 0.736           |
| VEK_26   | 0.0461     | -1.5451 | 0.939           |
| DIFF_27  | 0.0905     | -0.6899 | 0.755           |
| DIFF_28  | 0.0863     | -0.8874 | 0.813           |
| DIFF_30  | 0.0666     | -1.2414 | 0.893           |
| DIFF_31  | 0.1108     | -0.4289 | 0.666           |
| DIFF_32  | 0.1507     | 0.1830  | 0.427           |
| Item     | $Q$ -Index | $z_Q$   | $p$ (einseitig) |
| mech05   | 0.125      | 0.467   | .320            |
| mech06   | 0.108      | 0.140   | .445            |
| mech08   | 0.125      | 0.284   | .388            |
| mech09   | 0.066      | -0.371  | .645            |
| mech10   | 0.121      | 0.416   | .339            |
| mech11   | 0.151      | 1.024   | .153            |
| mech12   | 0.122      | 0.372   | .355            |
| mech13   | 0.166      | 1.386   | .083            |
| mech14   | 0.077      | -0.615  | .731            |
| mech15   | 0.044      | -1.311  | .905            |
| mech16   | 0.062      | -1.138  | .872            |
| mech17   | 0.069      | -0.750  | .774            |
| mech18   | 0.106      | 0.067   | .473            |

Tabelle A.20.: Itemfit Fachwissen Mathematik und Mechanik



## **B. Instrumente**

## Sprung an ein Seil



Ein Student der Masse 75 kg läuft mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s, greift an das Ende eines an einem Baum befestigten, 2,5 m langen Seils und schwingt sich hinaus über einen See. Er lässt das Seil los, wenn er so weit wie möglich über dem See ist.  
Wie groß ist der Winkel zur senkrechten Ausgangsposition des Seils, wenn er das Seil loslässt?

### Problemrepräsentation finden



Ergänzen Sie den Lückentext mit Hilfe folgender Begriffe:

(Mehrfachnennungen möglich, Deklination entsprechend der Lücken)

|                                   |                     |             |              |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|--------------|
| Lageenergie $E_{\text{pot}}$      | Masse $m$           | maximal     | 0            |
| Spannenergie $E_{\text{spa}}$     | Geschwindigkeit $v$ | minimal     | die Hälfte   |
| Bewegungsenergie $E_{\text{kin}}$ | Beschleunigung $a$  | vollständig | das Doppelte |
| Schwungergie $E_{\text{schw}}$    | Höhe $h$            | teilweise   | 5            |



Die \_\_\_\_\_, die der Student durch seine \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ hat, wird beim Schwingen mit dem Seil \_\_\_\_\_ in \_\_\_\_\_ umgewandelt, bis die \_\_\_\_\_ des Studenten \_\_\_\_\_ beträgt und er bei der \_\_\_\_\_ angekommen ist. Hierbei schließt das Seil mit seiner Ausgangsposition einen Winkel  $\alpha$  ein.



Fertigen Sie eine Skizze an, die diese Situation veranschaulicht.

(Gute Skizzen zeigen den physikalischen Sachverhalt, sind beschriftet und sauber gezeichnet.)



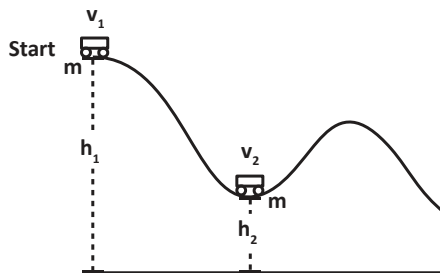
## Die Achterbahn



Bei einer Achterbahn wird ein Wagen der Masse 1000 kg auf eine Höhe von 40 m über dem Boden gezogen und beginnt seine Fahrt danach aus der Ruhe. Er bewegt sich ohne zusätzlichen Antrieb auf der Strecke. Welche maximale Geschwindigkeit kann der Wagen in einer Höhe von 15 m über dem Boden haben?

### Problemrepräsentation

Die Lageenergie, die der Wagen am Anfang der Strecke auf Grund seiner Höhe besitzt, wird beim Übergang nach unten teilweise in Bewegungsenergie umgewandelt.



$h_1$ : Höhe zum Start des Wagens (40 m)  
 $v_1$ : Geschwindigkeit zum Start des Wagens (0 m/s)  
 $h_2$ : Höhe zum gesuchten Zeitpunkt (15m)  
 $v_2$ : gesuchte Geschwindigkeit  
 $m$ : Masse des Wagens (1000 kg)

### Erarbeitung eines Lösungsansatzes



Erklären Sie die für die Lösung des Problems relevanten Konzepte bzw. Begriffe.

Schreiben Sie hierzu 2 – 3 Sätze, die Sie gegebenenfalls mit Formeln ergänzen. Keine Rechnung!



Lageenergie:

Bewegungsenergie:

Energieerhaltung:



Wählen Sie einen zum Problem passenden Ansatz und die dazu benötigten Formeln aus.



- |                                                                                                                      |                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Die Lageenergie 1 ist gleich der Bewegungsenergie 2, da Energieerhaltung gilt.              | <input type="checkbox"/> $E_{\text{pot},1} = E_{\text{kin},2}$      |
| <input type="checkbox"/> Die Differenz der Lageenergien ist gleich der Bewegungsenergie 2, da Energieerhaltung gilt. | <input type="checkbox"/> $E_{\text{kin}} = m \cdot v$               |
| <input type="checkbox"/> Die Lageenergie 2 ist proportional zur Bewegungsenergie 2, da Energieerhaltung gilt.        | <input type="checkbox"/> $\Delta E_{\text{pot}} = E_{\text{kin},2}$ |
| <input type="checkbox"/> $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$                                                        |                                                                     |
| <input type="checkbox"/> $E_{\text{pot},2} \sim E_{\text{kin},2}$                                                    |                                                                     |
| <input type="checkbox"/> $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$                                            |                                                                     |

## Die gelbe Ampel



Bei der Planung von Ampeln muss das gelbe Licht lange genug leuchten, damit ein Fahrer anhalten oder weiter- und dabei über die ganze Kreuzung fahren kann.

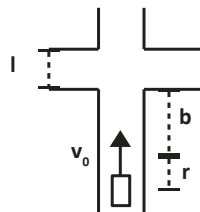
Wie lange sollte ein gelbes Licht leuchten?

Breite der Straße: 14,4 m; Geschwindigkeit des Autos: 50 km/h ; Verzögerung des Autos: 4 m/s<sup>2</sup>;

Reaktionszeit: 1 s

### Problemrepräsentation

Das gelbe Licht muss so lange leuchten, dass ein Auto, das kürzer als sein Bremsweg von der Ampel entfernt ist, noch über die Ampel fahren kann. Die minimale Zeit für das gelbe Licht setzt sich zusammen aus: Reaktionszeit, Zeit für das Zurücklegen des eigentlichen Bremsweges mit der Anfangsgeschwindigkeit, Zeit für das Zurücklegen der Breite der Straße mit der Anfangsgeschwindigkeit.



$v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit des Autos ( $v_0 = 50$  km/h)

$a$ : Verzögerung des Autos ( $a = 4$  m/s<sup>2</sup>)

$l$ : Breite der Straße ( $l = 14,4$  m)

$b$ : Bremsweg des Autos

$t_b$ : Bremszeit

$r$ : Reaktionsweg

$t_r$ : Reaktionszeit (1 s)

### Erarbeitung eines Lösungsansatzes

Physikalisches Wissen, das zum Lösen des Problems benötigt wird:

- Gleichförmige Bewegung (allgemein):  $s(t) = v \cdot t + s_0$
- Beschleunigte Bewegung (allgemein):  $s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$      $v(t) = v_0 + a \cdot t$
- Superposition von Bewegungen: Der gleichförmigen Bewegung der Anfangsgeschwindigkeit wirkt die Verzögerung entgegen.



Erarbeiten Sie anhand der vorgegebenen Lösungsschritte die Lösung des Problems.



Bremszeit des Autos aus gegebener Geschwindigkeit und Verzögerung berechnen:  $t_b$

Bremsweg des Autos aus der Geschwindigkeit  $v_0$  berechnen:  $b$

...weiter geht's auf der nächsten Seite.

Zeit für das gleichförmige Zurücklegen des Bremsweges mit der gegebenen Anfangsgeschwindigkeit berechnen:  $t_1$

Zeit für das gleichförmige Zurücklegen der Breite der Straße mit gegebener Anfangsgeschwindigkeit berechnen:  $t_2$

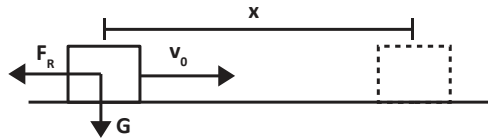
Zeit für das gelbe Licht aus den einzelnen Zeiten berechnen:  $t_{\text{gelb}}$



## Anstoßen eines Körpers



Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.



x: Strecke bis zur Ruhe  
 $v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit  
 G: Gewichtskraft  
 $F_R$ : Reibung



Im Folgenden finden Sie eine ausgearbeitete Lösung dieses Problems.

Stellen Sie sich vor, Sie wollten diese Lösung einem Kommilitonen (z.B. aus einem niedrigerem Semester) erklären. Notieren Sie bitte in Stichworten, was Sie ihr/ihm zu den einzelnen Lösungsschritten sagen würden. Verbalisieren Sie hierbei nicht nur die mathematischen Formeln, sondern gehen Sie auch auf die physikalischen Hintergründe ein.

(Die Zeilen sind zum leichteren Zuordnen durchnummeriert.)



1  $F_R \sim G$   
 2  $\Rightarrow F_R = \alpha \cdot G$

3  $a_R = \alpha \cdot g$

4  $v(t) = v_0 - a_R \cdot t$

5  $v(t_0) = 0 = v_0 - a_R \cdot t_0$

6  $t_0 = \frac{v_0}{a_R}$

7  $s(t) = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a_R \cdot t^2$

8  $s(t_0) = x = \frac{v_0^2}{a_R} - \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2}{a_R}$

9  $x = \frac{v_0^2}{2 \cdot \alpha \cdot g}$

## Sprung an ein Seil



Ein Student der Masse 75 kg läuft mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s, greift an das Ende eines an einem Baum befestigten, 2,5 m langen Seils und schwingt sich hinaus über einen See. Er lässt das Seil los, wenn er so weit wie möglich über dem See ist.  
Wie groß ist der Winkel zur senkrechten Ausgangsposition des Seils, wenn er das Seil loslässt?

### Problemrepräsentation finden



Ergänzen Sie den Lückentext mit Hilfe folgender Begriffe:

(Mehrfachnennungen möglich, Deklination entsprechend der Lücken)

|                                   |                     |             |              |
|-----------------------------------|---------------------|-------------|--------------|
| Lageenergie $E_{\text{pot}}$      | Masse $m$           | maximal     | 0            |
| Spannenergie $E_{\text{spa}}$     | Geschwindigkeit $v$ | minimal     | die Hälfte   |
| Bewegungsenergie $E_{\text{kin}}$ | Beschleunigung $a$  | vollständig | das Doppelte |
| Schwungergie $E_{\text{schw}}$    | Höhe $h$            | teilweise   | 5            |



Die \_\_\_\_\_, die der Student durch seine \_\_\_\_\_ und  
\_\_\_\_\_ hat, wird beim Schwingen mit dem Seil \_\_\_\_\_ in  
\_\_\_\_\_ umgewandelt, bis die \_\_\_\_\_ des Studenten  
\_\_\_\_\_ beträgt und er bei der \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ angekommen ist. Hierbei schließt das Seil mit seiner Ausgangsposition einen Winkel  $\alpha$  ein.



Fertigen Sie eine Skizze an, die diese Situation veranschaulicht.

(Gute Skizzen zeigen den physikalischen Sachverhalt, sind beschriftet und sauber gezeichnet.)



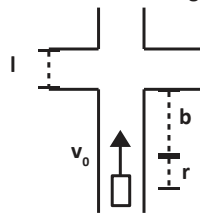
## Die gelbe Ampel



Bei der Planung von Ampeln muss das gelbe Licht lange genug leuchten, damit ein Fahrer anhalten oder weiter- und dabei über die ganze Kreuzung fahren kann. Wie lange sollte ein gelbes Licht leuchten?  
 Breite der Straße: 14,4 m; Geschwindigkeit des Autos: 50 km/h ; Verzögerung des Autos: 4 m/s<sup>2</sup>;  
 Reaktionszeit: 1 s

### Problemrepräsentation

Das gelbe Licht muss so lange leuchten, dass ein Auto, das kürzer als sein Bremsweg von der Ampel entfernt ist, noch über die Ampel fahren kann. Die minimale Zeit für das gelbe Licht ( $t_{\text{gelb}}$ ) setzt sich zusammen aus: Reaktionszeit, Zeit für das Zurücklegen des eigentlichen Bremsweges mit der Anfangsgeschwindigkeit, Zeit für das Zurücklegen der Breite der Straße mit der Anfangsgeschwindigkeit.



$v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit des Autos ( $v_0 = 50 \text{ km/h}$ )  
 $a$ : Verzögerung des Autos ( $a = 4 \text{ m/s}^2$ )  
 $l$ : Breite der Straße ( $l = 14,4 \text{ m}$ )  
 $b$ : Bremsweg des Autos  
 $t_b$ : Bremszeit  
 $r$ : Reaktionsweg  
 $t_r$ : Reaktionszeit ( $t_r = 1 \text{ s}$ )

### Erarbeitung eines Lösungsansatzes



Erklären Sie die für die Lösung des Problems relevanten Konzepte bzw. Begriffe.

Schreiben Sie hierzu 2 – 3 Sätze, die Sie gegebenenfalls mit Formeln ergänzen. Keine Rechnung!



Gleichförmige

Bewegung:

Beschleunigte

Bewegung:

Superposition von

Bewegungen:



Wählen Sie einen zum Problem passenden Ansatz und die dazu benötigten Formeln aus.



- ☐  $t_{\text{gelb}}$  ist gleich der Zeit, die das Auto beschleunigt zum Überqueren der Straße benötigt.
- ☐  $t_{\text{gelb}}$  setzt sich aus der Reaktionszeit und der Zeit zum gleichförmigen Überqueren von Bremsweg und Breite der Straße zusammen.
- ☐  $t_{\text{gelb}}$  setzt sich aus der Reaktionszeit, der Bremszeit und der Zeit zum gleichförmigen Überqueren der Straße zusammen.
- ☐  $t_{\text{gelb}} = t_r + t_b + l/v_0$
- ☐  $b = v_0 \cdot t_b$
- ☐  $t_{\text{gelb}} = (r + b + l)/v_0$
- ☐  $b = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_r^2$
- ☐  $t_{\text{gelb}} = \sqrt{2 \cdot (r + b + l) / a}$
- ☐  $b = v_0 \cdot t_b - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_b^2$

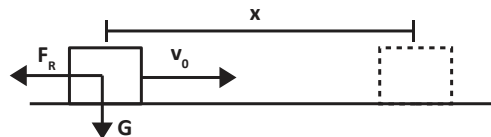
## Anstoßen eines Körpers



Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.

### Problemrepräsentation

Der Körper hat durch das Anstoßen eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit und bewegt sich über den Tisch. Hierbei erfährt der Körper Reibung, die den Körper abbremst, bis er zur Ruhe kommt.



x: Strecke bis zur Ruhe  
 $v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit  
 G: Gewichtskraft  
 $F_R$ : Reibung

### Erarbeitung eines Lösungsansatzes

Physikalisches Wissen, das zum Lösen des Problems benötigt wird:

- **Kraft:** Eine Kraft  $F$ , die auf einen Körper mit einer bestimmten Masse  $m$  wirkt, führt zu einer Beschleunigung  $a$  des Körpers.  $F = m \cdot a$
- **Reibung  $F_R$**  als Kraft, die der Bewegung entgegen gerichtet ist. Abhängig von den Materialien und der Gewichtskraft  $G$  des Körpers.  $G = m \cdot g$   $F_R = m \cdot a_R$   $F_R \sim G$
- **Gleichförmige Bewegung (allgemein):**  $s(t) = v \cdot t + s_0$
- **Beschleunigte Bewegung (allgemein):**  $s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$   $v(t) = a \cdot t + v_0$
- **Superposition von Bewegungen:** Der gleichförmigen Bewegung der Anfangsgeschwindigkeit wirkt die Reibung in Form einer negativ beschleunigten Bewegung entgegen.



Erarbeiten Sie anhand der vorgegebenen Lösungsschritte die Lösung des Problems.



Negative Beschleunigung auf Grund der Reibung bestimmen:  $a_R$

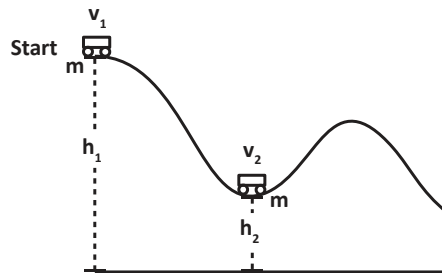
Die Zeit berechnen, die der Körper bis zur Ruhe benötigt:  $t_0$

Den Weg bestimmen, den der Körper bis zur Ruhe benötigt:  $x$

## Die Achterbahn



Bei einer Achterbahn wird ein Wagen der Masse 1000 kg auf eine Höhe von 40 m über dem Boden gezogen und beginnt seine Fahrt danach aus der Ruhe. Er bewegt sich ohne zusätzlichen Antrieb auf der Strecke. Welche maximale Geschwindigkeit kann der Wagen in einer Höhe von 15 m über dem Boden haben?



$h_1$ : Höhe zum Start des Wagens (40 m)  
 $v_1$ : Geschwindigkeit zum Start des Wagens (0 m/s)  
 $h_2$ : Höhe zum gesuchten Zeitpunkt (15m)  
 $v_2$ : gesuchte Geschwindigkeit  
 $m$ : Masse des Wagens (1000 kg)



Im Folgenden finden Sie eine ausgearbeitete Lösung dieses Problems.

Stellen Sie sich vor, Sie wollten diese Lösung einem Kommilitonen (z.B. aus einem niedrigerem Semester) erklären. Notieren Sie bitte in Stichworten, was Sie ihr/ihm zu den einzelnen Lösungsschritten sagen würden. Verbalisieren Sie hierbei nicht nur die mathematischen Formeln, sondern gehen Sie auch auf die physikalischen Hintergründe ein.

(Die Zeilen sind zum leichteren Zuordnen durchnummeriert.)



1  $E_{ges,1} = E_{pot,1} + E_{kin,1}$

2  $E_{ges,1} = m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2$

3  $E_{ges,1} = \underline{m \cdot g \cdot h_1}$

4  $E_{ges,2} = E_{pot,2} + E_{kin,2}$

5  $E_{ges,1} = E_{ges,2}$

6  $E_{kin,2} = E_{pot,1} - E_{pot,2}$

7  $E_{kin,2} = \underline{m \cdot g \cdot (h_1 - h_2)}$

8  $v_2 = \underline{\sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)}}$

## Anstoßen eines Körpers



Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.

### Problemrepräsentation finden



Ergänzen Sie den Lückentext mit Hilfe folgender Begriffe:

(Mehrfachnennungen möglich, Deklination entsprechend der Lücken)

reibungsfrei  
luftleer  
abhängig  
unabhängig  
entgegen  
unterstützen

Kraft  
Energie  
Impuls  
Gewichtskraft  
Oberfläche

gleichförmig  
beschleunigt  
gar nicht  
abbremsen  
beschleunigen  
zur Ruhe kommen



Der Körper hat durch das Anstoßen eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit und würde sich in einer \_\_\_\_\_ Umgebung \_\_\_\_\_ über den Tisch bewegen. Tatsächlich erfährt der Körper jedoch Reibung, welche in Form einer/r/s \_\_\_\_\_ der Bewegung des Körpers \_\_\_\_\_ wirkt und ihn \_\_\_\_\_, bis er \_\_\_\_\_ . Die Reibung ist \_\_\_\_\_ von der \_\_\_\_\_ des Körpers, jedoch \_\_\_\_\_ von der Größe seiner \_\_\_\_\_ .



Fertigen Sie eine Skizze an, die diese Situation veranschaulicht.

(Gute Skizzen zeigen den physikalischen Sachverhalt, sind beschriftet und sauber gezeichnet.)



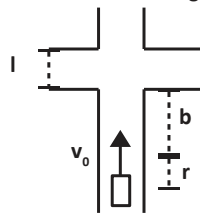
## Die gelbe Ampel



Bei der Planung von Ampeln muss das gelbe Licht lange genug leuchten, damit ein Fahrer anhalten oder weiter- und dabei über die ganze Kreuzung fahren kann. Wie lange sollte ein gelbes Licht leuchten?  
 Breite der Straße: 14,4 m; Geschwindigkeit des Autos: 50 km/h ; Verzögerung des Autos: 4 m/s<sup>2</sup>;  
 Reaktionszeit: 1 s

### Problemrepräsentation

Das gelbe Licht muss so lange leuchten, dass ein Auto, das kürzer als sein Bremsweg von der Ampel entfernt ist, noch über die Ampel fahren kann. Die minimale Zeit für das gelbe Licht ( $t_{\text{gelb}}$ ) setzt sich zusammen aus: Reaktionszeit, Zeit für das Zurücklegen des eigentlichen Bremsweges mit der Anfangsgeschwindigkeit, Zeit für das Zurücklegen der Breite der Straße mit der Anfangsgeschwindigkeit.



$v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit des Autos ( $v_0 = 50 \text{ km/h}$ )

$a$ : Verzögerung des Autos ( $a = 4 \text{ m/s}^2$ )

$l$ : Breite der Straße ( $l = 14,4 \text{ m}$ )

$b$ : Bremsweg des Autos

$t_b$ : Bremszeit

$r$ : Reaktionsweg

$t_r$ : Reaktionszeit ( $t_r = 1 \text{ s}$ )

### Erarbeitung eines Lösungsansatzes



Erklären Sie die für die Lösung des Problems relevanten Konzepte bzw. Begriffe.

Schreiben Sie hierzu 2 – 3 Sätze, die Sie gegebenenfalls mit Formeln ergänzen. Keine Rechnung!



Gleichförmige

Bewegung:

Beschleunigte

Bewegung:

Superposition von

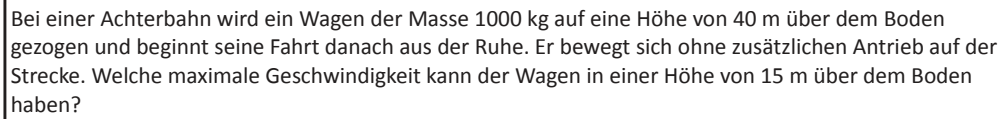
Bewegungen:



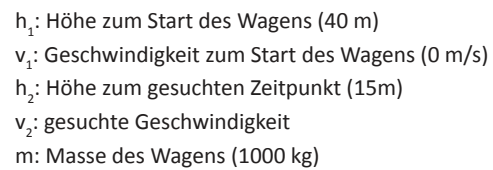
Wählen Sie einen zum Problem passenden Ansatz und die dazu benötigten Formeln aus.



- ☐  $t_{\text{gelb}}$  ist gleich der Zeit, die das Auto beschleunigt zum Überqueren der Straße benötigt.
- ☐  $t_{\text{gelb}}$  setzt sich aus der Reaktionszeit und der Zeit zum gleichförmigen Überqueren von Bremsweg und Breite der Straße zusammen.
- ☐  $t_{\text{gelb}}$  setzt sich aus der Reaktionszeit, der Bremszeit und der Zeit zum gleichförmigen Überqueren der Straße zusammen.
- ☐  $t_{\text{gelb}} = t_r + t_b + l/v_0$
- ☐  $b = v_0 \cdot t_b$
- ☐  $t_{\text{gelb}} = (r + b + l)/v_0$
- ☐  $b = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_r^2$
- ☐  $t_{\text{gelb}} = \sqrt{2 \cdot (r + b + l) / a}$
- ☐  $b = v_0 \cdot t_b - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_b^2$

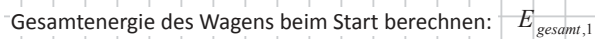


Die Lageenergie, die der Wagen am Anfang der Strecke auf Grund der gewissen Höhe besitzt, wird beim Übergang nach unten teilweise in Bewegungsenergie umgewandelt.



Physikalisches Wissen, das zum Lösen des Problems benötigt wird:

- Erarbeiten Sie anhand der vorgegebenen Lösungsschritte die Lösung des Problems.



Aus Energieerhaltung die Bewegungsenergie des Wagens in der gegebenen Höhe bestimmen:  $E_{kin,2}$

Geschwindigkeit des Wagens in der angegebenen Höhe bestimmen:  $v_2$

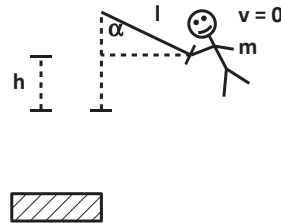
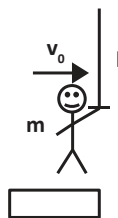


## Sprung an ein Seil



Ein Student der Masse 75 kg läuft mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s, greift ein an einem Baum herunterhängendes 2,5 m langes Seil und schwingt sich hinaus über einen See. Er lässt das Seil los, wenn seine Geschwindigkeit 0 beträgt.

Wie groß ist der Winkel zur senkrechten Ausgangsposition des Seils, wenn er das Seil loslässt?



$m$ : Masse des Studenten ( $m = 75 \text{ kg}$ )  
 $v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit ( $v_0 = 5 \text{ m/s}$ )  
 $l$ : Länge des Seils ( $l = 2,5 \text{ m}$ )  
 $h$ : Höhe der Auslenkung  
 $\alpha$ : Winkel zur Ausgangsposition des Seils



Im Folgenden finden Sie eine ausgearbeitete Lösung dieses Problems.

Stellen Sie sich vor, Sie wollten diese Lösung einem Kommilitonen (z.B. aus einem niedrigerem Semester) erklären. Notieren Sie bitte in Stichworten, was Sie ihr/ihm zu den einzelnen Lösungsschritten sagen würden. Verbalisieren Sie hierbei nicht nur die mathematischen Formeln, sondern gehen Sie auch auf die physikalischen Hintergründe ein.

(Die Zeilen sind zum leichteren Zuordnen durchnummeriert.)



1  $E_{\text{Kin}} = E_{\text{Pot}}$

2  $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = m \cdot g \cdot h$

3  $h = \frac{v_0^2}{2 \cdot g}$

4  $\frac{l-h}{l} = \cos \alpha$

5  $1 - \frac{h}{l} = \cos \alpha$

6  $1 - \frac{v_0^2}{2 \cdot g \cdot l} = \cos \alpha$

## Die gelbe Ampel



Bei der Planung von Ampeln muss das gelbe Licht lange genug leuchten, damit ein Fahrer anhalten oder weiter- und dabei über die ganze Kreuzung fahren kann.  
 Wie lange sollte ein gelbes Licht leuchten?  
 Breite der Straße: 14,4 m; Geschwindigkeit des Autos: 50 km/h ; Verzögerung des Autos: 4 m/s<sup>2</sup>;  
 Reaktionszeit: 1 s

### Problemrepräsentation finden



Ergänzen Sie den Lückentext mit Hilfe folgender Begriffe:

(Mehrfachnennungen möglich, Deklination entsprechend der Lücken)

|                     |                                  |                             |                           |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Reaktionsweg        | Reaktionszeit                    | verringerte Geschwindigkeit | kürzer                    |
| Bremsweg            | Zeit zum Überqueren der Kreuzung | erhöhte Geschwindigkeit     | länger                    |
| Breite der Kreuzung | Bremszeit                        | Anfangsgeschwindigkeit      | gleichförmig beschleunigt |



Das gelbe Licht muss so lange leuchten, dass ein Auto, das \_\_\_\_\_ als sein \_\_\_\_\_ von der Ampel entfernt ist, noch \_\_\_\_\_ über die Ampel fahren kann. Die minimale Zeit für das gelbe Licht setzt sich zusammen aus: \_\_\_\_\_, Zeit für das \_\_\_\_\_ Zurücklegen des eigentlichen Bremsweges mit \_\_\_\_\_, Zeit für das Überqueren der Kreuzung mit \_\_\_\_\_.



Fertigen Sie eine Skizze an, die diese Situation veranschaulicht.

(Gute Skizzen zeigen den physikalischen Sachverhalt, sind beschriftet und sauber gezeichnet.)



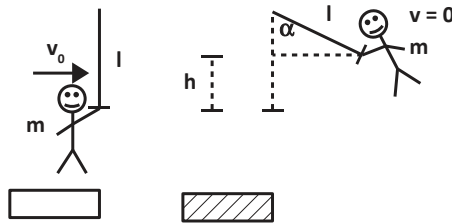
## Sprung an ein Seil



Ein Student der Masse 75 kg läuft mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s, greift ein an einem Baum herunterhängendes 2,5 m langes Seil und schwingt sich hinaus über einen See. Er lässt das Seil los, wenn seine Geschwindigkeit 0 beträgt. Wie groß ist der Winkel zur senkrechten Ausgangsposition des Seils, wenn er das Seil loslässt?

### Problemrepräsentation

Die Bewegungsenergie, die der Student durch seine Geschwindigkeit hat, wird beim Schwingen mit dem Seil vollständig in Lageenergie umgewandelt, bis die Geschwindigkeit des Studenten 0 beträgt und er bei einer maximalen Höhe  $h$  angekommen ist. Hierbei bildet das Seil mit seiner Ausgangsposition einen Winkel  $\alpha$ .



$m$ : Masse des Studenten ( $m = 75 \text{ kg}$ )  
 $v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit ( $v_0 = 5 \text{ m/s}$ )  
 $l$ : Länge des Seils ( $l = 2,5 \text{ m}$ )  
 $h$ : Höhe der Auslenkung  
 $\alpha$ : Winkel zur Ausgangsposition des Seils

### Erarbeitung eines Lösungsansatzes



Erklären Sie die für die Lösung des Problems relevanten Konzepte bzw. Begriffe.

Schreiben Sie hierzu 2 – 3 Sätze, die Sie gegebenenfalls mit Formeln ergänzen. Keine Rechnung!



Lageenergie:

Bewegungsenergie:

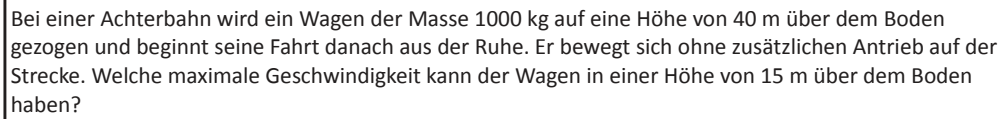
Energieerhaltung:



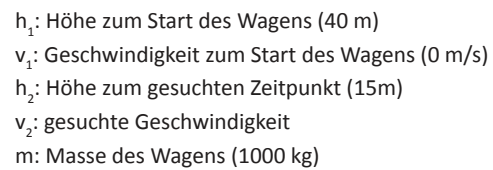
Wählen Sie einen zum Problem passenden Ansatz und die dazu benötigten Formeln aus.



- ☐ Die anfängliche Geschwindigkeit ist proportional zur Höhe, da Energieerhaltung gilt.
- ☐ Die anfängliche Bewegungsenergie ist gleich der Lageenergie, da Energieerhaltung gilt.
- ☐ Die anfängliche Geschwindigkeit ist umgekehrt proportional zum eingeschlossenen Winkel, da Energieerhaltung gilt.
- ☐  $E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot h^2$
- ☐  $E_{\text{kin}} = E_{\text{pot}}$
- ☐  $v_0 \sim h$
- ☐  $E_{\text{pot}} = G \cdot h$
- ☐  $\cos \alpha = h/v_0$
- ☐  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$

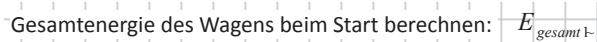
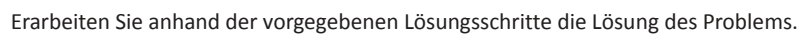


Die Lageenergie, die der Wagen am Anfang der Strecke auf Grund der gewissen Höhe besitzt, wird beim Übergang nach unten teilweise in Bewegungsenergie umgewandelt.



Physikalisches Wissen, das zum Lösen des Problems benötigt wird:

- **Bewegungsenergie:** Energie eines Körpers der Masse  $m$  und Geschwindigkeit  $v$   $E_{kin} = \frac{1}{2} m v^0$ .
- **Lageenergie:** Energie eines Körpers in einer Höhe  $h$  über dem Nullniveau  $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ .
- **Energieumwandlung:** Energieformen können verlustfrei ineinander umgewandelt werden.
- **Energieerhaltung:** In einem geschlossenen System bleibt die Gesamtenergie gleich.



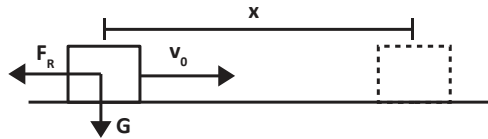
Aus Energieerhaltung die Bewegungsenergie des Wagens in der gegebenen Höhe bestimmen:  $E_{kin 0}$

Geschwindigkeit des Wagens in der angegebenen Höhe bestimmen:  $v_0$

## Anstoßen eines Körpers



Eine Person stößt einen Körper an, sodass er zunächst über den Tisch rutscht und dann liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.



$x$ : Strecke bis zur Ruhe  
 $v_0$ : Anfangsgeschwindigkeit  
 $G$ : Gewichtskraft  
 $F_R$ : Reibung



Im Folgenden finden Sie eine ausgearbeitete Lösung dieses Problems.

Stellen Sie sich vor, Sie wollten diese Lösung einem Kommilitonen (z.B. aus einem niedrigerem Semester) erklären. Notieren Sie bitte in Stichworten, was Sie ihr/ihm zu den einzelnen Lösungsschritten sagen würden. Verbalisieren Sie hierbei nicht nur die mathematischen Formeln, sondern gehen Sie auch auf die physikalischen Hintergründe ein.

(Die Zeilen sind zum leichteren Zuordnen durchnummeriert.)



1  $F_R \approx G$

2  $\Rightarrow F_R = \alpha \cdot G$

3  $a_R = \alpha \cdot g$

4  $v(t) = v_0 - a_R \cdot t$

5  $v(t) = 0 = v_0 - a_R \cdot t$

6  $t = \frac{v_0}{a_R}$

7  $s(t) = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a_R \cdot t^2$

8  $s(t) = x = \frac{v_0^2}{2 \cdot a_R} = \frac{v_0^2}{2 \cdot \alpha \cdot g}$

9  $x = \frac{v_0^2}{2 \cdot \alpha \cdot g}$

## Fachwissen Mathematik

Die folgenden Aufgaben beinhalten Fragen zum Basiswissen in Mathematik.

Die Aufgaben sind so gestaltet, dass Sie Ergebnisse kürzerer Berechnungen angeben oder zwischen mehreren Antwortmöglichkeiten auswählen. Sie haben bei jeder Frage die Möglichkeit anzugeben, dass Sie die Lösung nicht kennen.

Bitte verwenden Sie - außer einem Taschenrechner - **keine weiteren Hilfsmittel** (wie z.B. Formelsammlungen etc.). Dies würde den Test verfälschen.

1. Vereinfachen Sie so weit wie möglich.

$$\frac{x^8}{x^{-2}}$$

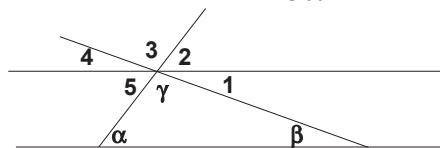
☐ weiß ich nicht

2. Lösen Sie die folgende Gleichung nach x auf.

$$x^2 + 2x - 8 = 0$$

☐ weiß ich nicht

3. Welche Winkel sind (wenn  $g \parallel h$ )...



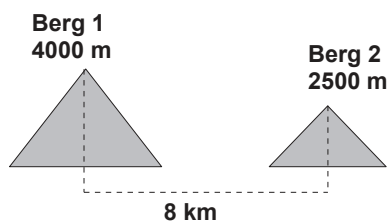
**g** ... gleich groß wie  $\alpha$ ? \_\_\_\_\_

☐ weiß ich nicht

**h** ... gleich groß wie  $\beta$ ? \_\_\_\_\_

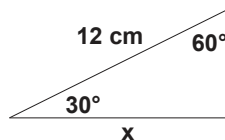
☐ weiß ich nicht

4. Berechnen Sie die Länge der Luftlinie zwischen den beiden Berggipfeln.



☐ weiß ich nicht

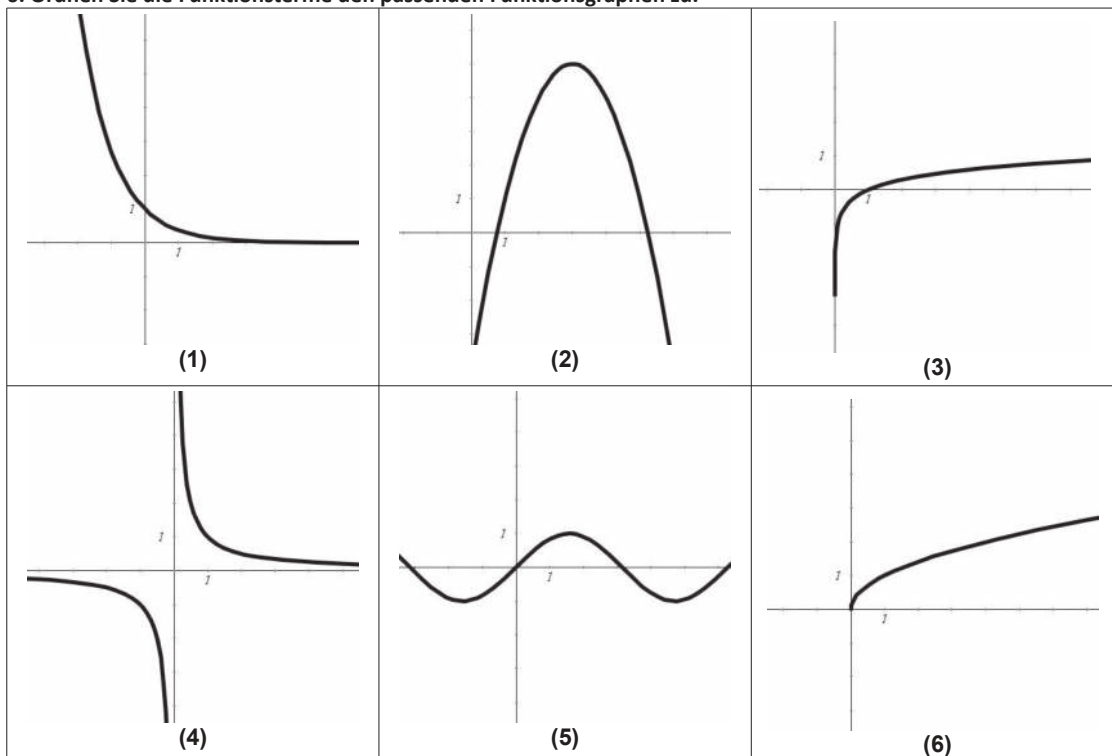
5. Berechnen Sie x.



☐ weiß ich nicht

|     | 0° | 30°                  | 45°                  | 60°                  | 90° |
|-----|----|----------------------|----------------------|----------------------|-----|
| sin | 0  | 0,5                  | $0,5 \cdot \sqrt{2}$ | $0,5 \cdot \sqrt{3}$ | 1   |
| cos | 1  | $0,5 \cdot \sqrt{3}$ | $0,5 \cdot \sqrt{2}$ | 0,5                  | 0   |
| tan | 0  | $1/\sqrt{3}$         | 1                    | $\sqrt{3}$           | --- |

6. Ordnen Sie die Funktionsterme den passenden Funktionsgraphen zu.



$$f(x) = \sin(x)$$

\_\_\_\_\_

☐ weiß ich nicht

$$f(x) = \sqrt{x}$$

\_\_\_\_\_

☐ weiß ich nicht

$$f(x) = \lg(x)$$

\_\_\_\_\_

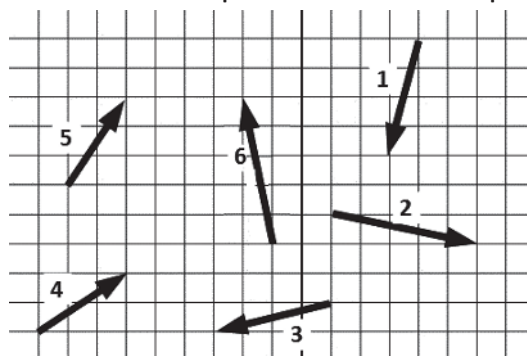
☐ weiß ich nicht

$$f(x) = e^{-x}$$

\_\_\_\_\_

☐ weiß ich nicht

7. Ordnen Sie der Komponentenschreibweise den passenden Vektor zu. (1 Kästchen entspricht 1 Längeneinheit)



$$\vec{a} = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \end{pmatrix}$$

\_\_\_\_\_

☐ weiß ich nicht

$$\vec{b} = \begin{pmatrix} -1 \\ 5 \end{pmatrix}$$

\_\_\_\_\_

☐ weiß ich nicht

$$\vec{c} = \begin{pmatrix} -4 \\ -1 \end{pmatrix}$$

\_\_\_\_\_

☐ weiß ich nicht

8. Addieren Sie folgende Vektoren.

$$\begin{pmatrix} 3 \\ 2 \\ -1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -2 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} =$$

---

☐ weiß ich nicht

$$\begin{pmatrix} 2 \\ -3 \\ 1 \end{pmatrix} + 3 \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ -4 \\ 3 \end{pmatrix} =$$

---

☐ weiß ich nicht

9. Bestimmen Sie den Betrag folgender Vektoren.

$$\left| \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \end{pmatrix} \right| =$$

---

☐ weiß ich nicht

$$\left| \begin{pmatrix} 3 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \right| =$$

---

☐ weiß ich nicht

10. Differenzieren Sie folgende Funktionen nach x.

$$f(x) = 3x^2 + 5x + 2$$

---

☐ weiß ich nicht

$$f(x) = 3e^x$$

---

☐ weiß ich nicht

$$f(x) = \cos(2x)$$

---

☐ weiß ich nicht

$$f(x) = \sin(x) \cdot 3x$$

---

☐ weiß ich nicht

11. Finden Sie eine Stammfunktion.

$$\int 15x^4 dx =$$

---

☐ weiß ich nicht





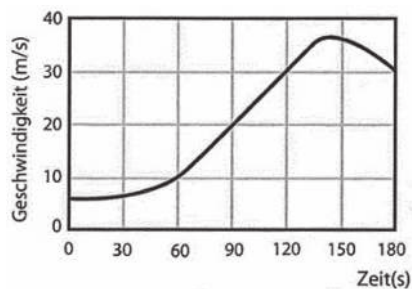
**5. Was versteht man in Physik unter dem Begriff "Trägheit"? Erklären Sie den Begriff in 4 bis 5 Sätzen.**

[illegible]

☐ weiß ich nicht

6. Der abgebildete Graph zeigt die Geschwindigkeit eines Körpers, aufgetragen über der Zeit.

Wie groß ist die Beschleunigung des Körpers zum Zeitpunkt  $t = 90 \text{ s}$ ?



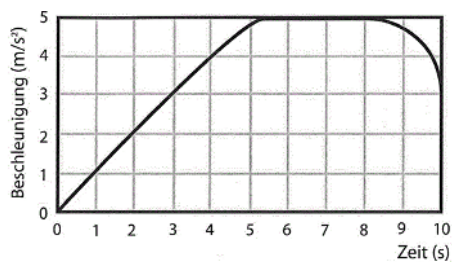
- ☐ 0,25 m/s<sup>2</sup>
- ☐ 0,33 m/s<sup>2</sup>
- ☐ 1 m/s<sup>2</sup>
- ☐ 9,81 m/s<sup>2</sup>
- ☐ 20 m/s<sup>2</sup>
- ☐ weiß ich nicht

**7. Ein LKW stößt frontal mit einem Kleinwagen zusammen. Für den Zeitraum des Zusammenstoßes gilt:**

- ☐ Der LKW übt eine größere Kraft auf den Kleinwagen aus, als der Kleinwagen auf den LKW.
- ☐ Der Kleinwagen übt eine größere Kraft auf den LKW aus, als der LKW auf den Kleinwagen.
- ☐ Die beiden Fahrzeuge üben keine Kräfte aufeinander aus.
- ☐ Der LKW übt eine Kraft auf den Kleinwagen aus, der Kleinwagen übt keine Kraft auf den LKW aus.
- ☐ Der LKW übt die gleiche Kraft auf den Kleinwagen aus, wie der Kleinwagen auf den LKW.
- ☐ weiß ich nicht

8. Ein anfänglich ruhendes Objekt bewegt sich entsprechend des unten abgebildeten Beschleunigungs-Zeit-Diagramms.

Mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich das Objekt nach den ersten drei Sekunden?



- ☐ 1 m/s
- ☐ 1,5 m/s
- ☐ 3 m/s
- ☐ 4,5 m/s
- ☐ 9,81 m/s
- ☐ weiß ich nicht

## B. Instrumente

### 9. Bestimmen Sie $v(t)$ aus $s(t)$ .

Gegeben ist  $s(t) = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

☐ weiß ich nicht

Gegeben ist  $s(t) = \frac{1}{2} \cdot h \cdot t^3$

☐ weiß ich nicht

### 10. Bestimmen Sie $v(t)$ aus $a(t)$ .

Gegeben ist  $a(t) = g$

☐ weiß ich nicht

Gegeben ist  $a(t) = h \cdot t$

☐ weiß ich nicht

### 11. Ein Junge wirft eine Stahlkugel senkrecht nach oben. Alle Effekte von Luftreibungskräften sollen außer Acht gelassen werden. Welche Kraft, bzw. welche Kräfte wirken auf die Kugel während der Flugphase, bevor sie auf den Boden trifft?

- ☐ Das Gewicht der Kugel vertikal nach unten, zusammen mit einer stetig abnehmenden nach oben gerichteten Kraft.
- ☐ Eine stetig abnehmende nach oben gerichtete Kraft für den Zeitraum nach dem Verlassen der Hand bis zum höchsten Punkt. Danach wirkt eine stetig zunehmende Gravitationskraft nach unten, wenn sich das Objekt der Erde nähert.
- ☐ Eine konstante nach unten gerichtete Gravitationskraft, zusammen mit einer nach oben gerichteten Kraft, die stetig abnimmt, bis die Kugel ihren höchsten Punkt erreicht. Danach wirkt nur die konstante nach unten gerichtete Gravitationskraft.
- ☐ Nur eine konstante nach unten gerichtete Gravitationskraft.
- ☐ Keine der genannten Kräfte.
- ☐ Die Kugel fällt einfach deshalb zur Erde zurück, weil das ihrem natürlichen Verhalten entspricht.
- ☐ weiß ich nicht

# Literaturverzeichnis

- Adams, R. J. & Wu, M. (2002). *PISA 2000 technical report*. OECD, Paris.
- Anderson, J. R. (1987). Skill acquisition: Compilation of weak-method problem situations. *Psychological Review*, 94(2):192–210.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84:191–215.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W.H. Freeman, New York.
- Blömeke, S., Kaiser, G., & Lehmann, R.(Hrsg.) (2008a). *Professionelle Kompetenz angehender Lehrerinnen und Lehrer: Wissen, Überzeugungen und Lerngelegenheiten deutscher Mathematikstudierender und -referendare ; erste Ergebnisse zur Wirksamkeit der Lehrerbildung*. Waxmann, Münster [u.a.].
- Blömeke, S., Seeber, S., Lehmann, R., Kasiser, G., Schwarz, B., Felbrich, A., & Müller, C. (2008b). Messung des fachbezogenen Wissens angehender Mathematiklehrkräfte. In Blömeke, S., Kaiser, G., & Lehmann, R.(Hrsg.), *Professionelle Kompetenz angehender Lehrerinnen und Lehrer*, S. 49–88. Waxmann, Münster [u.a.].
- Blum, W. (2006). Modellierungsaufgaben im Mathematikunterricht - Herausforderungen für Schüler und Lehrer. In Büchter, A.(Hrsg.), *Realitätsnaher Mathematikunterricht*, S. 8–23. div-Verlag Franzbecker, Hildesheim [u.a.].
- Blum, W. & Borromeo Ferri, R. (2009). Mathematical Modelling: Can I Be Taught And Learnt? *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1(1):45–58.
- Blum, W. & Leiß, D. (2003). Diagnose- und Interventionsformen für einen selbstständigkeitsorientierten Unterricht am Beispiel Mathematik - Vorstellung des Projekts DISUM. In Henn, H.-W.(Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2003*, S. 129–132. div-Verlag Franzbecker, Hildesheim.
- Böhm, U., Pospiech, G., Körndle, H., & Narciss, S. (2010). Beeinflusst mathematisches Vorwissen die physikalische Argumentation? In Höttecke, D.(Hrsg.), *Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik*, S. 260–262. LIT Verlag, Berlin.
- Brandenburger, M. & Mikelskis-Seifert, S. (2013). Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? In Bernholt, S.(Hrsg.), *Inquiry-based Learning - Forschendes Lernen.*, S. 761–763. IPN, Kiel.
- Brandenburger, M., Mikelskis-Seifert, S., & Labudde, P. (2014). Einfluss der Kenntnisse in Mathematik auf das Problemlösen in Physik. In Bernholt, S.(Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht*. IPN, Kiel.

- Brunner, M., Kunter, M., Krauss, S., Klusmann, U., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., Dubberke, T., Jordan, A., Löwen, K., & Tsai, Y.-M. (2006). Die professionelle Kompetenz von Mathematiklehrkräften: Konzeptualisierung, Erfassung und Bedeutung für den Unterricht: Eine Zwischenbilanz des COAKTIV Projekts. In Prenzel, M. & Allolio-Näcke, L.(Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule*, S. 54–82. Waxmann, Münster [u.a.].
- Büchter, A. & Leuders, T. (2007). *Mathematikaufgaben selbst entwickeln: Lernen fördern - Leistung überprüfen*. Cornelsen Scriptor, Berlin, 3. Auflage.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Houghton Mifflin, Boston.
- Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. In Siegler, R. S.(Hrsg.), *Children's thinking*, S. 73–96. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5:121–152.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Farr, M. J.(Hrsg.) (1988). *The nature of expertise*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Reese, E. (1982). Expertise in Problem Solving. In Sternberg, R. J.(Hrsg.), *Advances in the psychology of human intelligence*, S. 7–75. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Dee-Lucas, D. & Larkin, J. H. (1991). Equations in scientific proofs: effects on comprehension. *American Education Research Journal*, 28:661–682.
- deGroot, A. D. (1978). *Thought and choice in chess*, Band 4 von *Psychological Studies*. Mouton, The Hague [etc.], 2. Auflage.
- deGroot, A. D. (1986). Intuition in chess. *ICCA Journal*, 9:67–75.
- Detert, Y. (2010). *Mathematik für Ahnungslose: Eine Einstiegshilfe für Studierende*. Für Ahnungslose. Hirzel, Stuttgart, 2. Auflage.
- Dewey, J. (2002). *Wie wir denken*, Band 2 von *John-Dewey-Reihe*. Verlag Pestalozzianum, Zürich.
- Dickhäuser, O., Schöne, C., Spinath, B., & Stiensmeier-Pelster, J. (2002). Die Skalen zum akademischen Selbstkonzept. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 23(4):393–405.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Kohlhammer Standards Psychologie : Studententext : Teilgebiet Denkpsychologie. Kohlhammer, Stuttgart [u.a.], 1. Auflage.
- Dörner, D. (1981). Über die Schwierigkeiten menschlichen Umgangs mit Komplexität. *Psychologische Rundschau*, 32:163–179.
- Dreyfus, H. L. & Dreyfus, S. E. (1987). *Künstliche Intelligenz: Von den Grenzen der Denkmaschine und der Wert der Intuition*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg.

- Erven, J., Erven, M., & Hörwick, J. (2012). *Vorkurs Mathematik: Ein kompakter Leitfaden*. Oldenbourg, München, 5. Auflage.
- Field, A. P. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics: And sex and drugs and rock 'n' roll*. Sage, Los Angeles, 4. Auflage.
- Fischer, H. E. & Draxler, D. (2001). Aufgaben und naturwissenschaftlicher Unterricht. *MNU*, 54(7):388–393.
- Fischler, H. & Peuckert, J. (2000). *Concept mapping in fachdidaktischen Forschungsprojekten der Physik und Chemie*, Band 1 von *Studien zum Physiklernen*. Logos-Verlag, Berlin.
- Fleischer, J., Wirth, J., Rumann, S., & Leutner, D. (2010). Strukturen fächerübergreifender und fachlicher Problemlösekompetenz: Analyse von Aufgabenprofilen. In Klieme, E.(Hrsg.), *Kompetenzmodellierung*, Band 56 von *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 239–248. Beltz PVU, Weinheim [u.a.].
- Frensch, P. A. & Funke, J.(Hrsg.) (1995). *Complex problem solving: The European perspective*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*, Band 19 von *Studien zum Physiklernen*. Logos-Verlag, Berlin.
- Friege, G. & Lind, G. (2003). Allgemeine und fachspezifische Problemlösekompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9:63–74.
- Friege, G. & Lind, G. (2004). Leistungsmessung im Leistungskurs. *MNU*, 57(5):259–265.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Kohlhammer Standards Psychologie. Kohlhammer, Stuttgart, 1. Auflage.
- Giancoli, D. C. (2006). *Physik*. Ph physik. Pearson Studium, München [u.a], 3. Auflage.
- Glaser, R. (1986). On the nature of expertise. In Klix, F.(Hrsg.), *Human memory and cognitive capabilities*, Band 2, S. 915–928. North-Holland, Amsterdam [u.a.].
- Goldkuhle, P. (1993). *Modellbildung und Simulation im Physikunterricht: Einsatzmöglichkeiten computer-unterstützter Modellbildungssysteme*, Band / hrsg. vom Landesinstitut für Schule und Weiterbildung. [Beratungsstelle für Neue Technologien NRW][...] von *Lernen mit neuen Medien im Unterricht*. Soester Verlag-Kontor, Soest, 1. Auflage.
- Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2001). Mental, Physical, and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. *Science Education*, 86:106–121.
- Gruber, H. (1994). *Expertise: Modelle und empirische Untersuchungen*, Band 34 von *Beiträge zur psychologischen Forschung*. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- Gruber, H. (2010). Expertise. In Rost, D. H.(Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische Psychologie*, S. 183–189. Beltz PVU, Weinheim.

## Literaturverzeichnis

- Gruber, H. & Mandl, H. (1992). Begabung und Expertise. In Hany, E. A. & Nickel, H.(Hrsg.), *Begabung und Hochbegabung*, S. 59–73. Hans Huber, Bern [u.a.].
- Gruber, H. & Mandl, H. (1996). Expertise und Erfahrung. In Gruber, H. & Ziegler, A.(Hrsg.), *Expertiseforschung*, S. 18–34. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- Gruber, H. & Ziegler, A. (1996). Expertise als Domäne psychologischer Forschung. In Gruber, H. & Ziegler, A.(Hrsg.), *Expertiseforschung*, S. 7–16. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- Hayes, J. R. (1981). *The complete problem solver*. Franklin Institute Press, Philadelphia PA.
- Heller, J. I. & Reif, F. (1984). Prescribing Effective Human Problem-Solving Processes: Problem Description in Physics. *Cognition and Instruction*, 1(2):177–216.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30:141–151.
- Hoffmann, L., Lehrke, M., & Häußler, P. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*, Band 158 von IPN. IPN, Kiel.
- Hudson, H. T. & McIntire, W. R. (1977). Correlation between mathematical skills and success in physics. *American Journal of Physics*, 45(5):470–471.
- Hudson, H. T. & Rottmann, R. M. (1981). Correlation between performance in physics and prior mathematics knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 18(4):291–294.
- IPN Kiel (2011-2013). Messung professioneller Kompetenzen in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen: Leibniz-Gemeinschaft, Pakt für Forschung und Innovation 2011 - 2013 <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/forschung/projekte/kil>.
- Johnson, E. J. (1988). Expertise and decision under uncertainty: Performance and process. In Chi, M. T. H., Glaser, R., & Farr, M. J.(Hrsg.), *The nature of expertise*, S. 209–228. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Johnstone, A. (1993). Introduction. In Wood, C. & Sleet, R. J.(Hrsg.), *Creative problem solving in chemistry*, S. iv–vi. Education Division, Royal Society of Chemistry, London.
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4):63–85.
- Jonassen, D. H., Beissner, K., & Yacci, M. (1993). *Structural knowledge: Techniques for representing, conveying, and acquiring structural knowledge*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Kircher, E. (1995). *Studien zur Physikdidaktik: Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Grundlagen*, Band 145 von IPN. IPN, Kiel.
- Klauer, K. J. & Leutner, D. (2010). Intelligenz und Begabung. In Rost, D. H.(Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische Psychologie*, S. 304–310. Beltz PVU, Weinheim.

- Klemp, G. O. & McClelland, D. C. (1986). What characterizes intelligent functioning among senior managers? In Wagner, R. K. & Sternberg, R. J.(Hrsg.), *Practical intelligence*, S. 31–50. Cambridge University Press, Cambridge.
- Klieme, E., Funke, J., Leutner, D., Reimann, P., & Wirth, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz? Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 47:179–200.
- Klix, F. (1992). *Die Natur des Verstandes*. Hogrefe, Göttingen [u.a.].
- KMK Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2004). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften*. Beschluss der Kultusminsiterkonferenz vom 16.12.2004, Bonn.
- KMK Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005). *Beschlüsse der Kultusminsisterkonferenz: Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss: (Beschluss vom 16. Dezember 2004)*. Wolters Kluwer, München.
- Kolodner, J. L. (1983). Towards an understanding of the role of experience in the evolution from novice to expert. *International Journal of Man-Machine Studies*, 19(5):497–518.
- Krapp, A. (2010). Interesse. In Rost, D. H.(Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische Psychologie*, S. 311–323. Beltz PVU, Weinheim.
- Krems, J. F. (1994). *Wissensbasierte Urteilsbildung: Diagnostisches Problemlösen durch Experten und Expertensysteme*. Psychologie-Forschung. Hans Huber, Bern [u.a.], 1. Auflage.
- Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik: Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*, Band 130 von *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Logos-Verlag, Berlin.
- Krey, O. & Mikelskis, H. F. (2008). Mathematik im Physikunterricht aus Sicht der Schülerinnen und Schüler. In Höttecke, D.(Hrsg.), *GDCP Jahrestagung 2007*, S. 158–160. LIT Verlag, Berlin.
- Kühn, S. M. (2011). Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im naturwissenschaftlichen Unterricht der gymnasialen Oberstufe und im Abitur. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17:35–55.
- Labudde, P. & Metzger, S. (2007). HarMoS Naturwissenschaften+: Bildungsstandards für die Schweiz. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 56(6):14–18.
- Larkin, J. H. (1983). The role of problem representation in physics. In Gentner, D. & Stevens, A. L.(Hrsg.), *Mental models*, Cognitive science, S. 75–98. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980a). Expert and Novice Performance in Solving Physics Problems. *Science*, 208(4450):1335–1342.
- Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980b). Models of competence in solving physics problems. *Cognitive Science*, 4(4):317–345.



- Larkin, J. H. & Reif, F. (1979). Understanding and Teaching Problem-Solving in Physics. *European Journal of Science Education*, 1(2):191–203.
- Larkin, J. H. & Simon, H. A. (1987). Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words. *Cognitive Science*, 11(1):65–100.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P., & von Rhöneck Christoph (2000). Eine Untersuchung zum Einfluss emotionaler Faktoren auf das Lernen im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6:139–155.
- Leisner, A. (2005). *Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht: Eine Evaluationsstudie in der Sekundarstufe I*, Band 44 von *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Logos-Verlag, Berlin.
- Leutner, D., Fleischer, J., Wirth, J., Greiff, S., & Funke, J. (2012). Analytische und dynamische Problemlösekompetenz im Lichte internationaler Schulleistungsvergleichsstudien: Untersuchungen zur Dimensionalität. *Psychologische Rundschau*, 63(1):34–42.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K., & Wirth, J. (2004). Problemlösen. In Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolff, H.-G., Rost, J., & Schiefele, U.(Hrsg.), *PISA 2003*, S. 147–175. Waxmann, Münster [u.a.].
- Liebers, K. (1983). *Anwendung der Mathematik im Physikunterricht*. Volk und Wissen, Berlin.
- Lombardi, O. (1997). La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, 2(4):4–13.
- Mack, W. (1996). Expertise und Intelligenz. In Gruber, H. & Ziegler, A.(Hrsg.), *Expertiseforschung*, S. 92–114. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- Maloney, D. P. (1994). Research on problem solving: physics. In Gabel, D. L.(Hrsg.), *Handbook of research on science teaching and learning*, S. 327–354. Macmillan. Maxwell Macmillan Canada. Maxwell Macmillan International, New York [u.a.].
- Maloney, D. P. (2011). An Overview of Physics Education Research on Problem Solving. In Henderson, C. & Harper, K. A.(Hrsg.), *Getting Started in PER*, Band 2 von *Reviews in PER*. American Association of Physics Teachers, College Park.
- Marsh, H. W. (1986). Verbal and math self-concepts: an internal/external frame of reference model. *American Education Research Journal*, 23:129–149.
- Mayer, R. E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition*. A Series of books in psychology. W.H. Freeman, New York, 2. Auflage.
- McDermott, J. & Larkin, J. H. (1978). Re-representing textbook physics problems.
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. *American Journal of Physics*, 70(12):1259.
- Mikelskis-Seifert, S. (2002). *Die Entwicklung von Metakonzepthen zur Teilchenvorstellung bei Schülern: Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*, Band 22 von *Studien zum Physiklernen*. Logos-Verlag, Berlin.

- Mikelskis-Seifert, S. (2006). Modellmethode als epistemologisches und didaktisches Konzept. In Mikelskis, H. F.(Hrsg.), *Physik-Didaktik*, Fachdidaktik, S. 120–138. Cornelsen Scriptor, Berlin.
- Mikelskis-Seifert, S. & Euler, M. (2013). Modellieren in der Physik als eine explizite Unterrichtsmethode verstehen. In Henning, H.(Hrsg.), *Modellieren in den MINT-Fächern*, Band 3 von *Schriften zum Modellieren und zum Anwenden von Mathematik*, S. 18–64. WTM-Verlag, Münster.
- Mikelskis-Seifert, S. & Leisner-Bodenthin, A. (2007). Die Modellmethode. In Mikelskis-Seifert, S. & Rabe, T.(Hrsg.), *Physik-Methodik*, S. 15–29. Cornelsen Scriptor, Berlin.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2):81–97.
- Moschner, B. & Dickhäuser, O. (2010). Selbstkonzept. In Rost, D. H.(Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische Psychologie*, S. 760–766. Beltz PVU, Weinheim.
- Müller, A. (2003). Fehlertypen und Fehlerquellen beim Physiklernen: Was weiß die Denkpsychologie. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 52(1):11–17.
- Müller, R. & Heise, E. (2006). Formeln in physikalischen Texten: Einstellung und Textverständnis von Schülerinnen und Schülern. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 5(2):62–70.
- Neumann, K., Kauertz, A., Lau, A., Notarp, H., & Fischer, H. E. (2007). Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13:101–121.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ.
- Novak (1996). Concept mapping: A tool for improving science teaching and learning. In Treagust, D. F., Duit, R., & Fraser, B. J.(Hrsg.), *Improving teaching and learning in science and mathematics*, Ways of knowing in science series, S. 32–43. Teachers College Press, New York.
- Novak, G. S. J. (1976). *Computer understanding of physics problems stated in natural language*, Band AI-76-nl30 von *University of Texas at Austin. Dept. of Computer Sciences. Report*. Computer Science Department, University of Texas at Austin, Austin, TX.
- Novak, G. S. J. (1977). Representations of knowledge in a program for solving physics problems. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 1(5):286–291.
- Pawek, C. (2009). *Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe*. Kiel.
- Pólya, G. (1985). *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. Princeton University Press, Princeton NJ, 2. Auflage.
- Posner, M. I. (1988). Introduction: What is it to be an expert? In Chi, M. T. H., Glaser, R., & Farr, M. J.(Hrsg.), *The nature of expertise*, S. xxix–xxxvi. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Pospiech, G. (2007). Argumentieren und Mathematisieren - im Gleichschritt? In Höttecke, D.(Hrsg.), *GDCP Jahrestagung 2006*, S. 418–420. LIT Verlag, Münster.

- Prenzel, M. (1988). *Die Wirkungsweise von Interesse: Ein pädagogisch-psychologisches Erklärungsmodell*, Band 13 von *Beiträge zur psychologischen Forschung*. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- Reif, F. (2008). *Applying cognitive science to education: Thinking and learning in scientific or other domains*. MIT, Cambridge MA [u.a.].
- Reif, F. & Heller, J. I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17(2):102–127.
- Reinhold, P., Lind, G., & Friege, G. (1999). Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5(1):41–62.
- Renkl, A. (2010). Träges Wissen. In Rost, D. H. (Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische Psychologie*, S. 854–858. Beltz PVU, Weinheim.
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*, Band 97 von *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Logos-Verlag, Berlin.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie - Testkonstruktion*. Psychologie Lehrbuch. Hans Huber, Bern [u.a.], 2. Auflage.
- Rost, J. & Davier, M. v. (1994). A Conditional Item-Fit Index for Rasch Models. *Applied Psychological Measurement*, 18(2):171–182.
- Rothe, H.-J. & Schindler, M. (1996). Expertise und Wissen. In Gruber, H. & Ziegler, A. (Hrsg.), *Expertiseforschung*, S. 35–57. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- Rumann, S., Fleischer, J., Stawitz, H., Wirth, J., & Leutner, D. (2010). Vergleich von Profilen der Naturwissenschafts- und Problemlöse-Aufgaben der PISA 2003-Studie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16:315–327.
- Ryle, G. (1969). *Der Begriff des Geistes*, Band 8331-36 von *Universal-Bibliothek*. Philipp Reclam Jun., Stuttgart.
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12:45–66.
- Schenzle, A. (1996). Illusion or reality: The measurement process in quantum optics. *Contemporary Physics*, 37(4):303–320.
- Schiefele, U., Krapp, A., & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 25:120–148.
- Schmidt, F. L., Hunter, J. E., Outerbridge, A. N., & Goff, S. (1988). Joint relation of experience and ability with job performance: Test of three hypotheses. *Journal of Applied Psychology*, 73(1):46–57.
- Schmidt, M. & Schecker, H. (2008). Modellüberprüfungen in zwei Dimensionen - "Prozess" und "Ausprägung". In Höttecke, D. (Hrsg.), *GDCP Jahrestagung 2007*, S. 212–214. LIT Verlag, Berlin.

- Schmitz, G. S. & Schwarzer, R. (2000). Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrern: Längsschnittbefunde mit einem neuen Instrument. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14(1):12–25.
- Schneider, W. (1992). Erwerb von Expertise: Zur Relevanz kognitiver und nichtkognitiver Voraussetzungen. In Hany, E. A. & Nickel, H. (Hrsg.), *Begabung und Hochbegabung*, S. 105–122. Hans Huber, Bern [u.a.].
- Schultz, K. & Lochhead, J. (1991). A View from Physics. In Smith, M. U. (Hrsg.), *Toward a unified theory of problem solving*, S. 99–114. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Schwarzer, R. (1999). *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen: Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen*. R. Schwarzer, Berlin.
- Shavelson, R. J., Hubner, J. J., & Stanton, G. C. (1976). Self-concept: validation of construct interpretations. *Review of Educational Research*, 46:407–444.
- Sherin, B. L. (2001). How Students Understand Physics Equations. *Cognition and Instruction*, 19(4):479–541.
- Sloboda, J. A. (1991). Musicial expertise. In Ericsson, K. A. & Smith, J. (Hrsg.), *Toward a general theory of expertise*, S. 153–171. Cambridge University Press, Cambridge NY.
- Smith, M. U. (1991a). A View from Biology. In Smith, M. U. (Hrsg.), *Toward a unified theory of problem solving*, S. 1–19. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Smith, M. U. (Hrsg.) (1991b). *Toward a unified theory of problem solving: Views from the content domains*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Spearman, C. E. (1923). *The nature of Intelligence and the principles of cognition*. MacMillan and Co., London.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Springer-Verlag, Wien, New York.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2011). Studierende und Studienanfänger im Wintersemester 2010/2011.
- Sternberg, R. J. (Hrsg.) (1982). *Advances in the psychology of human intelligence*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Sternberg, R. J. (1995). Expertise in complex problem solving: A comparison of alternative conceptions. In Frensch, P. A. & Funke, J. (Hrsg.), *Complex problem solving*, S. 295–321. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ.
- Strahl, A., Schleusner, U., Mohr, M., & Müller, R. (2010). Wie Schüler Formeln gliedern - eine explorative Studie. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 9(1):18–24.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen: Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen*, Band 5 von *Schriftenreihe Lehr- und Forschungstexte Psychologie*. Hogrefe, Göttingen [u.a.].

## Literaturverzeichnis

- Swackhamer, G. & Hestenes, D. (2005). An Energy Concept Inventory. *Arizona State University*.
- Thurston, L. L. (1938). *Primary mental abilities*, Band 1 von *Psychometric monographs*. University of Chicago press, Chicago.
- Trapmann, S., Hell, B., Weigand, S., & Schuler, H. (2007). Die Validität von Schulnoten zur Vorhersage des Studienerfolgs - eine Metaanalyse. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 21(1):11–27.
- Trump, S. & Borowski, A. (2014). Die Anwendung von Mathematik in der Physik (Sek II). In Bernholt, S.(Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht*. IPN, Kiel.
- Uhden, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht: Theorieentwicklung und Problemanalyse*, Band 133 von *Studien zum Physik- und Chemielernen*. Logos-Verlag, Berlin.
- Under, C. J. & Hudson, H. T. (1989). A comparison of mathematics backgrounds between American and South African physics students. *Science Education*, 73(4):459–465.
- Vernon, P. E. (1950). *The structure of human abilities*. Methuen's manuals of modern psychology. Wiley, London [u.a.].
- Wagner, R. K. & Sternberg, R. J. (1985). Practical intelligence in real-world pursuits: The role of tacit knowledge. *Journal of Personality and Social Psychology*, 49(2):436–458.
- Wagner, R. K. & Sternberg, R. J.(Hrsg.) (1986). *Practical intelligence: Nature and origins of competence in the everyday world*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Weinert, F. E. (1999). *Konzepte der Kompetenz*. OECD, Paris.
- Weltner, K. (1975). *Mathematik für Physiker: Basiswissen für das Grundstudium der Experimentalphysik*. Vieweg, Braunschweig.
- Wirtz, M. A. & Strohmer, J. (2013). *Dorsch: Lexikon der Psychologie*. Hans Huber, Bern, 16. Auflage.
- Woods, D. R., Crowe, C. M., Hoffman, T. W., & Wright, J. D. (1978). *56 challenges to teaching problem solving skills*. McMaster University, Hamilton CA.
- Wu, M. L., Adams, R. J., Wilson, M. R., & Haldane, S. A. (2007). *ACER ConQuest version 2.0: Generalised item response modelling software*. ACER Press, Camberwell.

# Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin Prof. Dr. Silke Mikelskis-Seifert, die mir das Themenfeld des Problemlösens ans Herz legte und mich bei der Ausschärfung eines geeigneten Forschungsgegenstandes unterstützte. Ihre Anmerkungen und Rückmeldungen haben mir immer wertvolle Impulse zur Erstellung der vorliegenden Arbeit gegeben. Auch für die Möglichkeit mehrere Jahre in der Abteilung Physik an der Pädagogischen Hochschule Freiburg zu arbeiten, möchte ich mich bedanken.

Herzlich bedanken möchte ich mich weiterhin bei Prof. Dr. Peter Labudde, meinem zweiten Betreuer, der als „critical friend“ den Fortschritt der Arbeit unterstützte. Unsere Treffen waren immer hilfreich und lieferten neue Ideen, welche die vorliegende Arbeit in besonderem Maße abrundeten.

Weiteren Dank schulde ich den Personen, die den Einsatz des Problemlösetests an verschiedenen Standorten ermöglichten: Dr. Teresa Henning, Jochen Kröger, Prof. Dr. Andreas Borowski, Prof. Dr. Lutz Kasper, Prof. Dr. Thorid Rabe und nicht zuletzt Andreas Trautmann. Ohne diese Hilfe wäre das Erreichen der vorliegenden Fallzahlen nur schwer möglich gewesen. Auch bei den Studierenden, die an der Studie teilgenommen haben, möchte ich mich herzlich bedanken.

Den Kollegen aus der Arbeitsgruppe der Abteilung Physik gebührt ebenfalls mein Dank: Dr. Jens Wilbers dafür, dass er immer eine neue Geschichte zu erzählen hatte; Dr. Patrik Vogt als angenehmem Büropartner und Ansprechperson für Fragen rund um die Promotion und das Forscherleben an sich; Eberhard Claus für seine experimentelle Expertise; Bernd Schüssele, Dr. Corinne Knittel und Sven Ernst für die freundschaftliche Unterstützung.

Nicht zuletzt gilt mein ganz persönlicher Dank meiner Familie: meinen Eltern, die mir durch moralische und finanzielle Unterstützung meines Studiums eine wissenschaftliche Tätigkeit ermöglicht haben; meiner Schwester, welche die Arbeit korrekturgelesen hat und die mit ihrer Familie immer für mich da war; meinem Bruder, der sicher stolz auf mich wäre und meinem Mann, der jederzeit Verständnis für die Wichtigkeit von Diskussionen über die Feinheiten statistischer Modelle aufbrachte.

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 Haeberlen: 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 Staraschek: Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie*  
ISBN 978-3-89722-823-8 40.50 EUR
- 21 Roland Paatz: Charakteristika analogiebasierten Denkens. *Vergleich von Lernprozessen in Basis- und Zielbereich*  
ISBN 978-3-89722-944-0 40.50 EUR
- 22 Silke Mikelskis-Seifert: Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern. *Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen*  
ISBN 978-3-8325-0013-9 40.50 EUR
- 23 Brunhild Landwehr: Distanzen von Lehrkräften und Studierenden des Sachunterrichts zur Physik. *Eine qualitativ-empirische Studie zu den Ursachen*  
ISBN 978-3-8325-0044-3 40.50 EUR



- 24 Lydia Murmann: Physiklernen zu Licht, Schatten und Sehen. *Eine phänomenografische Untersuchung in der Primarstufe*  
ISBN 978-3-8325-0060-3 40.50 EUR
- 25 Thorsten Bell: Strukturprinzipien der Selbstregulation. *Komplexe Systeme, Elementarisierungen und Lernprozessstudien für den Unterricht der Sekundarstufe II*  
ISBN 978-3-8325-0134-1 40.50 EUR
- 26 Rainer Müller: Quantenphysik in der Schule  
ISBN 978-3-8325-0186-0 40.50 EUR
- 27 Jutta Roth: Bedeutungsentwicklungsprozesse von Physikerinnen und Physikern in den Dimensionen Komplexität, Zeit und Inhalt  
ISBN 978-3-8325-0183-9 40.50 EUR
- 28 Andreas Saniter: Spezifika der Verhaltensmuster fortgeschrittener Studierender der Physik  
ISBN 978-3-8325-0292-8 40.50 EUR
- 29 Thomas Weber: Kumulatives Lernen im Physikunterricht. *Eine vergleichende Untersuchung in Unterrichtsgängen zur geometrischen Optik*  
ISBN 978-3-8325-0316-1 40.50 EUR
- 30 Markus Rehm: Über die Chancen und Grenzen moralischer Erziehung im naturwissenschaftlichen Unterricht  
ISBN 978-3-8325-0368-0 40.50 EUR
- 31 Marion Budde: Lernwirkungen in der Quanten-Atom-Physik. *Fallstudien über Resonanzen zwischen Lernangeboten und SchülerInnen-Vorstellungen*  
ISBN 978-3-8325-0483-0 40.50 EUR
- 32 Thomas Reyer: Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht. *Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe*  
ISBN 978-3-8325-0488-5 40.50 EUR
- 33 Christoph Thomas Müller: Subjektive Theorien und handlungsleitende Kognitionen von Lehrern als Determinanten schulischer Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-0543-1 40.50 EUR
- 34 Gabriela Jonas-Ahrend: Physiklehrervorstellungen zum Experiment im Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-0576-9 40.50 EUR
- 35 Dimitrios Stavrou: Das Zusammenspiel von Zufall und Gesetzmäßigkeiten in der nicht-linearen Dynamik. *Didaktische Analyse und Lernprozesse*  
ISBN 978-3-8325-0609-4 40.50 EUR
- 36 Katrin Engeln: Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken  
ISBN 978-3-8325-0689-6 40.50 EUR
- 37 Susann Hartmann: Erklärungsvielfalt  
ISBN 978-3-8325-0730-5 40.50 EUR

- 38 Knut Neumann: Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker  
ISBN 978-3-8325-0762-6 40.50 EUR
- 39 Michael Späth: Kontextbedingungen für Physikunterricht an der Hauptschule. *Möglichkeiten und Ansatzpunkte für einen fachübergreifenden, handlungsorientierten und berufsorientierten Unterricht*  
ISBN 978-3-8325-0827-2 40.50 EUR
- 40 Jörg Hirsch: Interesse, Handlungen und situatives Erleben von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Aufgaben  
ISBN 978-3-8325-0875-3 40.50 EUR
- 41 Monika Hüther: Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung zum Thema Gasgesetze. *Eine Studie im Rahmen des Physikpraktikums für Studierende der Medizin*  
ISBN 978-3-8325-0911-8 40.50 EUR
- 42 Maike Tesch: Das Experiment im Physikunterricht. *Didaktische Konzepte und Ergebnisse einer Videostudie*  
ISBN 978-3-8325-0975-0 40.50 EUR
- 43 Nina Nicolai: Skriptgeleitete Eltern-Kind-Interaktion bei Chemiehausaufgaben. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Säure-Base*  
ISBN 978-3-8325-1013-8 40.50 EUR
- 44 Antje Leisner: Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-1020-6 40.50 EUR
- 45 Stefan Rumann: Evaluation einer Interventionsstudie zur Säure-Base-Thematik  
ISBN 978-3-8325-1027-5 40.50 EUR
- 46 Thomas Wilhelm: Konzeption und Evaluation eines Kinematik/Dynamik-Lehrgangs zur Veränderung von Schülervorstellungen mit Hilfe dynamisch ikonischer Repräsentationen und graphischer Modellbildung – mit CD-ROM  
ISBN 978-3-8325-1046-6 45.50 EUR
- 47 Andrea Maier-Richter: Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie. *Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit*  
ISBN 978-3-8325-1046-6 40.50 EUR
- 48 Jochen Peuckert: Stabilität und Ausprägung kognitiver Strukturen zum Atombegriff  
ISBN 978-3-8325-1104-3 40.50 EUR
- 49 Maik Walpuski: Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback  
ISBN 978-3-8325-1184-5 40.50 EUR
- 50 Helmut Fischler, Christiane S. Reiners (Hrsg.): Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht  
ISBN 978-3-8325-1225-5 34.90 EUR
- 51 Claudia Eysel: Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung. *Eine empirische Studie zum Kompetenzerwerb in einer komplexen Lernumgebung*  
ISBN 978-3-8325-1238-5 40.50 EUR

- 52 Johannes Günther: Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften. *Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften*  
ISBN 978-3-8325-1287-3 40.50 EUR
- 53 Christoph Neugebauer: Lernen mit Simulationen und der Einfluss auf das Problemlösen in der Physik  
ISBN 978-3-8325-1300-9 40.50 EUR
- 54 Andreas Schnirch: Gendergerechte Interessen- und Motivationsförderung im Kontext naturwissenschaftlicher Grundbildung. *Konzeption, Entwicklung und Evaluation einer multimedial unterstützten Lernumgebung*  
ISBN 978-3-8325-1334-4 40.50 EUR
- 55 Hilde Köster: Freies Explorieren und Experimentieren. *Eine Untersuchung zur selbstbestimmten Gewinnung von Erfahrungen mit physikalischen Phänomenen im Sachunterricht*  
ISBN 978-3-8325-1348-1 40.50 EUR
- 56 Eva Heran-Dörr: Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung zur Förderung der physikdidaktischen Kompetenz von Sachunterrichtslehrkräften  
ISBN 978-3-8325-1377-1 40.50 EUR
- 57 Agnes Szabone Varnai: Unterstützung des Problemlösens in Physik durch den Einsatz von Simulationen und die Vorgabe eines strukturierten Kooperationsformats  
ISBN 978-3-8325-1403-7 40.50 EUR
- 58 Johannes Rethfeld: Aufgabenbasierte Lernprozesse in selbstorganisationsoffenem Unterricht der Sekundarstufe I zum Themengebiet ELEKTROSTATIK. *Eine Feldstudie in vier 10. Klassen zu einer kartenbasierten Lernumgebung mit Aufgaben aus der Elektrostatik*  
ISBN 978-3-8325-1416-7 40.50 EUR
- 59 Christian Henke: Experimentell-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen in der Oberstufe. *Untersuchung am Beispiel des HIGHSEA-Projekts in Bremerhaven*  
ISBN 978-3-8325-1515-7 40.50 EUR
- 60 Lutz Kasper: Diskursiv-narrative Elemente für den Physikunterricht. *Entwicklung und Evaluation einer multimedialen Lernumgebung zum Erdmagnetismus*  
ISBN 978-3-8325-1537-9 40.50 EUR
- 61 Thorid Rabe: Textgestaltung und Aufforderung zu Selbsterklärungen beim Physiklernen mit Multimedia  
ISBN 978-3-8325-1539-3 40.50 EUR
- 62 Ina Glemnitz: Vertikale Vernetzung im Chemieunterricht. *Ein Vergleich von traditionellem Unterricht mit Unterricht nach Chemie im Kontext*  
ISBN 978-3-8325-1628-4 40.50 EUR
- 63 Erik Einhaus: Schülerkompetenzen im Bereich Wärmelehre. *Entwicklung eines Testinstruments zur Überprüfung und Weiterentwicklung eines normativen Modells fachbezogener Kompetenzen*  
ISBN 978-3-8325-1630-7 40.50 EUR

- 64 Jasmin Neuroth: Concept Mapping als Lernstrategie. *Eine Interventionsstudie zum Chemielernen aus Texten*  
ISBN 978-3-8325-1659-8 40.50 EUR
- 65 Hans Gerd Hegeler-Burkhart: Zur Kommunikation von Hauptschülerinnen und Hauptschülern in einem handlungsorientierten und fächerübergreifenden Unterricht mit physikalischen und technischen Inhalten  
ISBN 978-3-8325-1667-3 40.50 EUR
- 66 Karsten Rincke: Sprachentwicklung und Fachlernen im Mechanikunterricht. *Sprache und Kommunikation bei der Einführung in den Kraftbegriff*  
ISBN 978-3-8325-1699-4 40.50 EUR
- 67 Nina Strehle: Das Ion im Chemieunterricht. *Alternative Schülervorstellungen und curriculare Konsequenzen*  
ISBN 978-3-8325-1710-6 40.50 EUR
- 68 Martin Hopf: Problemorientierte Schülerexperimente  
ISBN 978-3-8325-1711-3 40.50 EUR
- 69 Anne Beerenwinkel: Fostering conceptual change in chemistry classes using expository texts  
ISBN 978-3-8325-1721-2 40.50 EUR
- 70 Roland Berger: Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II. *Eine empirische Untersuchung auf der Grundlage der Selbstbestimmungstheorie der Motivation*  
ISBN 978-3-8325-1732-8 40.50 EUR
- 71 Giuseppe Colicchia: Physikunterricht im Kontext von Medizin und Biologie. *Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten*  
ISBN 978-3-8325-1746-5 40.50 EUR
- 72 Sandra Winheller: Geschlechtsspezifische Auswirkungen der Lehrer-Schüler-Interaktion im Chemieanfangsunterricht  
ISBN 978-3-8325-1757-1 40.50 EUR
- 73 Isabel Wahser: Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-1815-8 40.50 EUR
- 74 Claus Brell: Lernmedien und Lernerfolg - reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht. *Empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE*  
ISBN 978-3-8325-1829-5 40.50 EUR
- 75 Rainer Wackermann: Überprüfung der Wirksamkeit eines Basismodell-Trainings für Physiklehrer  
ISBN 978-3-8325-1882-0 40.50 EUR
- 76 Oliver Tepner: Effektivität von Aufgaben im Chemieunterricht der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-1919-3 40.50 EUR

- 77 Claudia Geyer: Museums- und Science-Center-Besuche im naturwissenschaftlichen Unterricht aus einer motivationalen Perspektive. *Die Sicht von Lehrkräften und Schülerinnen und Schülern*  
ISBN 978-3-8325-1922-3 40.50 EUR
- 78 Tobias Leonhard: Professionalisierung in der Lehrerbildung. *Eine explorative Studie zur Entwicklung professioneller Kompetenzen in der Lehrererstausbildung*  
ISBN 978-3-8325-1924-7 40.50 EUR
- 79 Alexander Kauertz: Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben  
ISBN 978-3-8325-1925-4 40.50 EUR
- 80 Regina Hübinger: Schüler auf Weltreise. *Entwicklung und Evaluation von Lehr-/Lernmaterialien zur Förderung experimentell-naturwissenschaftlicher Kompetenzen für die Jahrgangsstufen 5 und 6*  
ISBN 978-3-8325-1932-2 40.50 EUR
- 81 Christine Waltner: Physik lernen im Deutschen Museum  
ISBN 978-3-8325-1933-9 40.50 EUR
- 82 Torsten Fischer: Handlungsmuster von Physiklehrkräften beim Einsatz neuer Medien. *Fallstudien zur Unterrichtspraxis*  
ISBN 978-3-8325-1948-3 42.00 EUR
- 83 Corinna Kieren: Chemiehausaufgaben in der Sekundarstufe I des Gymnasiums. *Fragebogenerhebung zur gegenwärtigen Praxis und Entwicklung eines optimierten Hausaufgabendesigns im Themenbereich Säure-Base*  
978-3-8325-1975-9 37.00 EUR
- 84 Marco Thiele: Modelle der Thermohalinen Zirkulation im Unterricht. *Eine empirische Studie zur Förderung des Modellverständnisses*  
ISBN 978-3-8325-1982-7 40.50 EUR
- 85 Bernd Zinn: Physik lernen, um Physik zu lehren. *Eine Möglichkeit für interessanteren Physikunterricht*  
ISBN 978-3-8325-1995-7 39.50 EUR
- 86 Esther Klaes: Außerschulische Lernorte im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Die Perspektive der Lehrkraft*  
ISBN 978-3-8325-2006-9 43.00 EUR
- 87 Marita Schmidt: Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. *Entwicklung und Erprobung eines Testinventars*  
ISBN 978-3-8325-2024-3 37.00 EUR
- 88 Gudrun Franke-Braun: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Ein Aufgabenformat zur Förderung der sachbezogenen Kommunikation und Lernleistung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*  
ISBN 978-3-8325-2026-7 38.00 EUR
- 89 Silke Klos: Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. *Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts*  
ISBN 978-3-8325-2133-2 37.00 EUR

- 90 Ulrike Elisabeth Burkard: Quantenphysik in der Schule. *Bestandsaufnahme, Perspektiven und Weiterentwicklungsmöglichkeiten durch die Implementation eines Medienservers*  
ISBN 978-3-8325-2215-5 43.00 EUR
- 91 Ulrike Gromadecki: Argumente in physikalischen Kontexten. *Welche Geltungsgründe halten Physikanfänger für überzeugend?*  
ISBN 978-3-8325-2250-6 41.50 EUR
- 92 Jürgen Bruns: Auf dem Weg zur Förderung naturwissenschaftsspezifischer Vorstellungen von zukünftigen Chemie-Lehrenden  
ISBN 978-3-8325-2257-5 43.50 EUR
- 93 Cornelius Marsch: Räumliche Atomvorstellung. *Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes mit Hilfe des Computers*  
ISBN 978-3-8325-2293-3 82.50 EUR
- 94 Maja Brückmann: Sachstrukturen im Physikunterricht. *Ergebnisse einer Videostudie*  
ISBN 978-3-8325-2272-8 39.50 EUR
- 95 Sabine Fechner: Effects of Context-oriented Learning on Student Interest and Achievement in Chemistry Education  
ISBN 978-3-8325-2343-5 36.50 EUR
- 96 Clemens Nagel: eLearning im Physikalischen Anfängerpraktikum  
ISBN 978-3-8325-2355-8 39.50 EUR
- 97 Josef Riese: Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften  
ISBN 978-3-8325-2376-3 39.00 EUR
- 98 Sascha Bernholt: Kompetenzmodellierung in der Chemie. *Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität*  
ISBN 978-3-8325-2447-0 40.00 EUR
- 99 Holger Christoph Stawitz: Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung. *Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*  
ISBN 978-3-8325-2451-7 37.50 EUR
- 100 Hans Ernst Fischer, Elke Sumfleth (Hrsg.): nwu-essen – 10 Jahre Essener Forschung zum naturwissenschaftlichen Unterricht  
ISBN 978-3-8325-3331-1 40.00 EUR
- 101 Hendrik Härtig: Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests  
ISBN 978-3-8325-2512-5 34.00 EUR
- 102 Thomas Grüß-Niehaus: Zum Verständnis des Löslichkeitskonzeptes im Chemieunterricht. *Der Effekt von Methoden progressiver und kollaborativer Reflexion*  
ISBN 978-3-8325-2537-8 40.50 EUR
- 103 Patrick Bronner: Quantenoptische Experimente als Grundlage eines Curriculums zur Quantenphysik des Photons  
ISBN 978-3-8325-2540-8 36.00 EUR

- 104 Adrian Voßkühler: Blickbewegungsmessung an Versuchsaufbauten. *Studien zur Wahrnehmung, Verarbeitung und Usability von physikbezogenen Experimenten am Bildschirm und in der Realität*  
ISBN 978-3-8325-2548-4 47.50 EUR
- 105 Verena Tobias: Newton'sche Mechanik im Anfangsunterricht. *Die Wirksamkeit einer Einführung über die zweidimensionale Dynamik auf das Lehren und Lernen*  
ISBN 978-3-8325-2558-3 54.00 EUR
- 106 Christian Rogge: Entwicklung physikalischer Konzepte in aufgabenbasierten Lernumgebungen  
ISBN 978-3-8325-2574-3 45.00 EUR
- 107 Mathias Ropohl: Modellierung von Schülerkompetenzen im Basiskonzept Chemische Reaktion. *Entwicklung und Analyse von Testaufgaben*  
ISBN 978-3-8325-2609-2 36.50 EUR
- 108 Christoph Kulgemeyer: Physikalische Kommunikationskompetenz. *Modellierung und Diagnostik*  
ISBN 978-3-8325-2674-0 44.50 EUR
- 109 Jennifer Olszewski: The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Teacher Actions and Student Outcomes  
ISBN 978-3-8325-2680-1 33.50 EUR
- 110 Annika Ohle: Primary School Teachers' Content Knowledge in Physics and its Impact on Teaching and Students' Achievement  
ISBN 978-3-8325-2684-9 36.50 EUR
- 111 Susanne Mannel: Assessing scientific inquiry. *Development and evaluation of a test for the low-performing stage*  
ISBN 978-3-8325-2761-7 40.00 EUR
- 112 Michael Plomer: Physik physiologisch passend praktiziert. *Eine Studie zur Lernwirksamkeit von traditionellen und adressatenspezifischen Physikpraktika für die Physiologie*  
ISBN 978-3-8325-2804-1 34.50 EUR
- 113 Alexandra Schulz: Experimentierspezifische Qualitätsmerkmale im Chemieunterricht. *Eine Videostudie*  
ISBN 978-3-8325-2817-1 40.00 EUR
- 114 Franz Boczianowski: Eine empirische Untersuchung zu Vektoren im Physikunterricht der Mittelstufe  
ISBN 978-3-8325-2843-0 39.50 EUR
- 115 Maria Ploog: Internetbasiertes Lernen durch Textproduktion im Fach Physik  
ISBN 978-3-8325-2853-9 39.50 EUR
- 116 Anja Dhein: Lernen in Explorier- und Experimentiersituationen. *Eine explorative Studie zu Bedeutungsentwicklungsprozessen bei Kindern im Alter zwischen 4 und 6 Jahren*  
ISBN 978-3-8325-2859-1 45.50 EUR

- 117 Irene Neumann: Beyond Physics Content Knowledge. *Modeling Competence Regarding Nature of Scientific Inquiry and Nature of Scientific Knowledge*  
ISBN 978-3-8325-2880-5 37.00 EUR
- 118 Markus Emden: Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens. *Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*  
ISBN 978-3-8325-2867-6 38.00 EUR
- 119 Birgit Hofmann: Analyse von Blickbewegungen von Schülern beim Lesen von physikbezogenen Texten mit Bildern. *Eye Tracking als Methodenwerkzeug in der physikdidaktischen Forschung*  
ISBN 978-3-8325-2925-3 59.00 EUR
- 120 Rebecca Knobloch: Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg. *Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*  
ISBN 978-3-8325-3006-8 36.50 EUR
- 121 Julia Hostenbach: Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht  
ISBN 978-3-8325-3013-6 38.00 EUR
- 122 Anna Windt: Naturwissenschaftliches Experimentieren im Elementarbereich. *Evaluation verschiedener Lernsituationen*  
ISBN 978-3-8325-3020-4 43.50 EUR
- 123 Eva Kölbach: Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen  
ISBN 978-3-8325-3025-9 38.50 EUR
- 124 Anna Lau: Passung und vertikale Vernetzung im Chemie- und Physikunterricht  
ISBN 978-3-8325-3021-1 36.00 EUR
- 125 Jan Lamprecht: Ausbildungswege und Komponenten professioneller Handlungskompetenz. *Vergleich von Quereinsteigern mit Lehramtsabsolventen für Gymnasien im Fach Physik*  
ISBN 978-3-8325-3035-8 38.50 EUR
- 126 Ulrike Böhm: Förderung von Verstehensprozessen unter Einsatz von Modellen  
ISBN 978-3-8325-3042-6 41.00 EUR
- 127 Sabrina Dollny: Entwicklung und Evaluation eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Chemielehrkräften  
ISBN 978-3-8325-3046-4 37.00 EUR
- 128 Monika Zimmermann: Naturwissenschaftliche Bildung im Kindergarten. *Eine integrative Längsschnittstudie zur Kompetenzentwicklung von Erzieherinnen*  
ISBN 978-3-8325-3053-2 54.00 EUR
- 129 Ulf Saballus: Über das Schlussfolgern von Schülerinnen und Schülern zu öffentlichen Kontroversen mit naturwissenschaftlichem Hintergrund. *Eine Fallstudie*  
ISBN 978-3-8325-3086-0 39.50 EUR
- 130 Olaf Krey: Zur Rolle der Mathematik in der Physik. *Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*  
ISBN 978-3-8325-3101-0 46.00 EUR



- 131 Angelika Wolf: Zusammenhänge zwischen der Eigenständigkeit im Physikunterricht, der Motivation, den Grundbedürfnissen und dem Lernerfolg von Schülern  
ISBN 978-3-8325-3161-4      45.00 EUR
- 132 Johannes Börlin: Das Experiment als Lerngelegenheit. *Vom interkulturellen Vergleich des Physikunterrichts zu Merkmalen seiner Qualität*  
ISBN 978-3-8325-3170-6      45.00 EUR
- 133 Olaf Uhden: Mathematisches Denken im Physikunterricht. *Theorieentwicklung und Problemanalyse*  
ISBN 978-3-8325-3170-6      45.00 EUR
- 134 Christoph Gut: Modellierung und Messung experimenteller Kompetenz. *Analyse eines large-scale Experimentiertests*  
ISBN 978-3-8325-3213-0      40.00 EUR
- 135 Antonio Rueda: Lernen mit ExploMultimedial in kolumbianischen Schulen. *Analyse von kurzzeitigen Lernprozessen und der Motivation beim länderübergreifenden Einsatz einer deutschen computergestützten multimedialen Lernumgebung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*  
ISBN 978-3-8325-3218-5      45.50 EUR
- 136 Krisztina Berger: Bilder, Animationen und Notizen. *Empirische Untersuchung zur Wirkung einfacher visueller Repräsentationen und Notizen auf den Wissenserwerb in der Optik*  
ISBN 978-3-8325-3238-3      41.50 EUR
- 137 Antony Crossley: Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher physikalischer Konzepte auf den Wissenserwerb in der Thermodynamik der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-3275-8      40.00 EUR
- 138 Tobias Viering: Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. *Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen*  
ISBN 978-3-8325-3277-2      37.00 EUR
- 139 Nico Schreiber: Diagnostik experimenteller Kompetenz. *Validierung technologiegestützter Testverfahren im Rahmen eines Kompetenzstrukturmodells*  
ISBN 978-3-8325-3284-0      39.00 EUR
- 140 Sarah Hundertmark: Einblicke in kollaborative Lernprozesse. *Eine Fallstudie zur reflektierenden Zusammenarbeit unterstützt durch die Methoden Concept Mapping und Lernbegleitbogen*  
ISBN 978-3-8325-3251-2      43.00 EUR
- 141 Ronny Scherer: Analyse der Struktur, Messinvarianz und Ausprägung komplexer Problemlösekompetenz im Fach Chemie. *Eine Querschnittstudie in der Sekundarstufe I und am Übergang zur Sekundarstufe II*  
ISBN 978-3-8325-3312-0      43.00 EUR
- 142 Patricia Heitmann: Bewertungskompetenz im Rahmen naturwissenschaftlicher Problemlöseprozesse. *Modellierung und Diagnose der Kompetenzen Bewertung und analytisches Problemlösen für das Fach Chemie*  
ISBN 978-3-8325-3314-4      37.00 EUR

- 143 Jan Fleischhauer: Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik  
ISBN 978-3-8325-3325-0 35.00 EUR
- 144 Nermin Özcan: Zum Einfluss der Fachsprache auf die Leistung im Fach Chemie. *Eine Förderstudie zur Fachsprache im Chemieunterricht*  
ISBN 978-3-8325-3328-1 36.50 EUR
- 145 Helena van Vorst: Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-3321-2 38.50 EUR
- 146 Janine Cappell: Fachspezifische Diagnosekompetenz angehender Physiklehrkräfte in der ersten Ausbildungsphase  
ISBN 978-3-8325-3356-4 38.50 EUR
- 147 Susanne Bley: Förderung von Transferprozessen im Chemieunterricht  
ISBN 978-3-8325-3407-3 40.50 EUR
- 148 Cathrin Blaes: Die übungsgestützte Lehrerpräsentation im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Evaluation der Effektivität*  
ISBN 978-3-8325-3409-7 43.50 EUR
- 149 Julia Suckut: Die Wirksamkeit von piko-OWL als Lehrerfortbildung. Eine Evaluation zum Projekt *Physik im Kontext* in Fallstudien  
ISBN 978-3-8325-3440-0 45.00 EUR
- 150 Alexandra Dorschu: Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben  
ISBN 978-3-8325-3446-2 37.00 EUR
- 151 Jochen Scheid: Multiple Repräsentationen, Verständnis physikalischer Experimente und kognitive Aktivierung: *Ein Beitrag zur Entwicklung der Aufgabenkultur*  
ISBN 978-3-8325-3449-3 49.00 EUR
- 152 Tim Plasa: Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren  
ISBN 978-3-8325-3483-7 35.50 EUR
- 153 Felix Schoppmeier: Physikkompetenz in der gymnasialen Oberstufe. *Entwicklung und Validierung eines Kompetenzstrukturmodells für den Kompetenzbereich Umgang mit Fachwissen*  
ISBN 978-3-8325-3502-5 36.00 EUR
- 154 Katharina Groß: Experimente alternativ dokumentieren. *Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung*  
ISBN 978-3-8325-3508-7 43.50 EUR
- 155 Barbara Hank: Konzeptwandelprozesse im Anfangsunterricht Chemie. *Eine quasiexperimentelle 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 Maiseyenka: Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht. *Praxistauglichkeit und Lernwirkungen*  
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR
- 167 Christoph Stolzenberger: Der Einfluss der didaktischen Lernumgebung auf das Erreichen geforderter Bildungsziele am Beispiel der W- und P-Seminare im Fach Physik  
ISBN 978-3-8325-3708-1 38.00 EUR
- 168 Pia Altenburger: Mehrebenenregressionsanalysen zum Physiklernen im Sachunterricht der Primarstufe. *Ergebnisse einer Evaluationsstudie.*  
ISBN 978-3-8325-3717-3 37.50 EUR

- 169 Nora Ferber: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung von Kompetenzentwicklung im Fach Chemie in der Sekundarstufe I  
ISBN 978-3-8325-3727-2 39.50 EUR
- 170 Anita Stender: Unterrichtsplanung: Vom Wissen zum Handeln. Theoretische Entwicklung und empirische Überprüfung des Transformationsmodells der Unterrichtsplanung  
ISBN 978-3-8325-3750-0 41.50 EUR
- 171 Jenna Koenen: Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen  
ISBN 978-3-8325-3785-2 43.00 EUR
- 172 Teresa Henning: Empirische Untersuchung kontextorientierter Lernumgebungen in der Hochschuldidaktik. *Entwicklung und Evaluation kontextorientierter Aufgaben in der Studieneingangsphase für Fach- und Nebenfachstudierende der Physik*  
ISBN 978-3-8325-3801-9 43.00 EUR
- 173 Alexander Pusch: Fachspezifische Instrumente zur Diagnose und individuellen Förderung von Lehramtsstudierenden der Physik  
ISBN 978-3-8325-3829-3 38.00 EUR
- 174 Christoph Vogelsang: Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. *Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz*  
ISBN 978-3-8325-3846-0 50.50 EUR
- 175 Ingo Brebeck: Selbstreguliertes Lernen in der Studieneingangsphase im Fach Chemie  
ISBN 978-3-8325-3859-0 37.00 EUR
- 176 Axel Eghtessad: Merkmale und Strukturen von Professionalisierungsprozessen in der ersten und zweiten Phase der Chemielehrerbildung. *Eine empirisch-qualitative Studie mit niedersächsischen Fachleiter\_innen der 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
- 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

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](mailto: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](mailto: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](mailto:elke.sumfleth@uni-essen.de)



Problemlösen ist eine wesentliche Voraussetzung für das Handeln in allen Bereichen des Lebens: In einfachen Alltagssituationen, bei (natur-) wissenschaftlichen Fragestellungen oder bei komplexeren gesellschaftlich relevanten Problemen spielt die Lösung von Problemen eine Rolle. Im Bereich der Physik werden insbesondere innerhalb des schulischen und universitären Kontextes Probleme bearbeitet. Die täglichen Erfahrungen des Lehrbetriebs an Hochschulen machen jedoch deutlich, dass Teile der Studierenden große Schwierigkeiten haben, Probleme erfolgreich zu lösen.

Die Diskrepanz zwischen der Wichtigkeit des Problemlösens und den Schwierigkeiten, die Studierenden dabei haben, ist der Ausgangspunkt für die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit: Was unterscheidet „gute“ von „schlechten“ Problemlösern und welche Faktoren beeinflussen den Erfolg beim Problemlösen? Die Arbeit fokussiert hierbei auf Probleme aus dem Themenfeld der Mechanik.

Mit Hilfe einer empirischen Untersuchung wird dazu beigetragen, bereits bekannte Erkenntnisse aus der traditionsreichen Forschung zum Problemlösen zu bestätigen, zu quantifizieren und zueinander in Beziehung zu setzen. Es werden sowohl quantitative als auch qualitative Eigenschaften „guter“ und „schlechter“ Problemlöser herausgearbeitet - gute Problemlöser können beispielsweise auf mehr Fachwissen zurückgreifen, besitzen ein höheres Selbstkonzept und machen weniger Planungsfehler beim Bearbeiten physikalischer Problemstellungen.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-4409-6