

Studien zum Physik- und Chemielernen

M. Hopf und M. Ropohl [Hrsg.]

384

Katja Plicht

Ein Physikübungskonzept zur Förderung der Problemlösekompetenz

Entwicklung und empirische Evaluation eines
Strategietrainings auf der Basis von
Expertisemerkmale

λογος

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Martin Hopf und Mathias Ropohl

Diese Reihe im Logos Verlag Berlin lädt Forscherinnen und Forscher ein, ihre neuen wissenschaftlichen Studien zum Physik- und Chemielernen im Kontext einer Vielzahl von bereits erschienenen Arbeiten zu quantitativen und qualitativen empirischen Untersuchungen sowie evaluativ begleiteten Konzeptionsentwicklungen zu veröffentlichen. Die in den bisherigen Studien erfassten Themen und Inhalte spiegeln das breite Spektrum der Einflussfaktoren wider, die in den Lehr- und Lernprozessen in Schule und Hochschule wirksam sind.

Die Herausgeber hoffen, mit der Förderung von Publikationen, die sich mit dem Physik- und Chemielernen befassen, einen Beitrag zur weiteren Stabilisierung der physik- und chemiedidaktischen Forschung und zur Verbesserung eines an den Ergebnissen fachdidaktischer Forschung orientierten Unterrichts in den beiden Fächern zu leisten.

Martin Hopf und Mathias Ropohl

Studien zum Physik- und Chemielernen

Band 384

Katja Plicht

Ein Physikübungskonzept zur Förderung der Problemlösekompetenz

Entwicklung und empirische Evaluation
eines Strategietrainings auf der Basis
von Expertisemerkmale

Logos Verlag Berlin



Studien zum Physik- und Chemielernen

Martin Hopf und Mathias Ropohl [Hrsg.]

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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



Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Lizenz CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Logos Verlag Berlin GmbH 2024

ISBN 978-3-8325-5875-8

ISSN 1614-8967

DOI 10.30819/5875

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

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

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

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

Ein Physikübungskonzept zur Förderung der Problemlösekompetenz

Entwicklung und empirische Evaluation eines Strategietrainings auf der
Basis von Expertisemerkmale

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften

- Dr. phil. nat. -

der Fakultät für Physik der Universität Duisburg-Essen

vorgelegt von

Katja Plicht

aus Mülheim an der Ruhr

Erstgutachter

Prof. Dr. Hendrik Härtig

Universität Duisburg-Essen

Zweitgutachterin

Prof. Dr. Alexandra Dorschu

Hochschule Ruhr West

Disputation am 17.04.2024

Danksagung

Zum Abschluss dieser lehrreichen, aufregenden und anstrengenden Zeit möchte ich mich bei den Menschen bedanken, die mich auf meinem Weg begleitet und unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin und Gutachterin Prof. Dr. Alexandra Dorschu. Zunächst möchte ich Dir für die Möglichkeit danken, mein Thema so frei gestalten zu können, sodass es zu einem wirklichen Herzensprojekt werden konnte. Danke für viele anregende Diskussionen und Lektionen, die mich in meinem Leben begleiten werden. Und danke, dass Du an mich und meine Fähigkeiten geglaubt hast, auch in Momenten, in denen ich Zweifel hatte.

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Hendrik Härtig. Danke, dass Du immer da warst, wenn ich eine weitere Perspektive brauchte und meine Gedanken sortieren musste. Danke für Deine Geduld und Dein Verständnis, wenn ich mir wieder unrealistische Pläne vorgenommen habe. Vor allem danke ich Dir für Deine Gelassenheit und Deinen gelegentlichen Pragmatismus, mit dem Du gegen meine innere Kritikerin und meinen Perfektionismus gehalten hast.

Vielen Dank an Prof. Dr. Heike Theyßen und Prof. Dr. Hermann Nienhaus für das Lesen meiner Arbeit und das Mitwirken in meiner Prüfungskommission.

Ich danke Prof. Dr. Francois Deuber und Prof. Dr. Christian Weiß, die dafür gesorgt haben, dass es mir am Institut Naturwissenschaften der HRW an nichts gefehlt hat.

Vielen Dank an Prof. Dr. Isabell van Ackeren-Mindl, die sich während dieser Zeit als meine Mentorin im Programm mentoring³ engagiert hat und mir geholfen hat, meinen Blickwinkel zu erweitern und auf mein Bauchgefühl zu hören.

Ich danke meinen Bürokolleg:innen Leska, Tobias, Christian und Simone von der HRW, bei denen ich mich im Hort der Herzlichkeit immer gut aufgenommen gefühlt habe.

Ein besonderer Dank gilt meinen SHKs Noah Grabowski, Daniel Matusiak und Katharina Aul, die sich für mich akribisch in die Welt der Fachdidaktik eingearbeitet haben. Ihr habt es geschafft bei unseren zahlreichen und oft stundenlangen Meetings nicht nur fachlich am Ball zu bleiben, sondern immer auch gute Laune zu behalten. Danke für die Gespräche auf Augenhöhe und für eure offenen Ohren, wenn ich mal Dampf ablassen musste. Ich bin dankbar, dass Ihr ein Teil meines Wegs und ich ein Teil Eures Wegs sein durfte.

Ich bedanke mich bei meinen Kolleg:innen aus dem Referendariat: Silja, Sultan, Anna und Tobias. Ihr habt mich in der Zeit begleitet, in der ich dieses schöne Buch zum Schluss noch schreiben musste. Die Doppelbelastung neben dem Referendariat hat mich

so manche Nerven gekostet und ich bin dankbar, mit Euch so tolle Kolleg:innen gehabt zu haben. Trotz aller Hürden habt Ihr diese Zeit zu einer tollen Erfahrung gemacht.

Melanie, Du warst meine Mitstreiterin für die Fachdidaktik und mein Auge für Details. Ich bin sehr dankbar, dass sich über die Arbeit eine wahre Freundschaft entwickelt hat. Du warst in schlechten Zeiten immer für mich da und hast in guten Zeiten die Erfolge mit mir gefeiert. Ich bin froh, dass Du nun ein Teil meines Lebens bist.

Ich bedanke mich bei allen Freund:innen, die in dieser Zeit für mich da waren, meinen Frust ertragen haben, Verständnis für wenig Zeit hatten und mir Vertrauen in mich selbst gegeben haben. Ein besonderes Dankeschön geht an Vera für die Unterstützung auf den letzten Metern beim Korrekturlesen und Probevortragen.

Ein besonderer Dank geht an Sebastian. Ich bin so dankbar, dass wir uns in dieser Zeit kennengelernt haben. Ich danke Dir für endlose Gespräche über die Leiden des Promovierens und für Deine Geduld mit mir, als ich während des Referendariats nur noch fertig werden wollte. Danke, dass Du immer an meiner Seite bist und mich unterstützt. Ich freue mich auf unsere gemeinsame Zukunft, in der nun endlich Zeit für uns ist.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
1 Einleitung	11
1.1 Ziel der Arbeit	11
1.2 Struktur der Arbeit	12
I Theoretischer Hintergrund	15
2 Expertise	17
2.1 Expertisebegriff	17
2.1.1 Expertise als nominaler Begriff	18
2.1.2 Expertise als performanzbezogener Begriff	19
2.1.3 Expertise als prozessbezogener Begriff	21
2.1.4 Der Expertisebegriff im Rahmen dieser Arbeit	22
2.2 Abgrenzung zum Intelligenz- und Begabungsbegriff	22
2.3 Problemlösen	25
2.3.1 Allgemeiner Problembegriff	25
2.3.2 Problemklassifizierung	27
2.3.3 Komplexes Problemlösen	28
2.3.4 Wissenszentriertes Problemlösen	30
2.4 Wissen und Problemlösen	30
2.4.1 Wissensarten	31
2.4.2 Wissensschemata	34
2.5 Wissenszentriertes Problemlösen nach Friege	36
2.5.1 Wissenskomponenten	37
2.5.2 Problemschemata	39
2.5.3 Problemrepräsentation	40
2.5.4 Erarbeitung und Auswahl eines Problemschemas	42
2.5.5 Ausarbeitung einer Lösung	42
2.5.6 Evaluation der Lösung	43

2.6	Zusammenfassung	44
3	Merkmale von Expert:innen	47
3.1	Expert:innen-Noviz:innen-Vergleich	47
3.1.1	Gedächtnisleistung	48
3.1.2	Wissensarten	50
3.1.3	Problemrepräsentation	52
3.1.4	Problemlösestrategien	54
3.2	Expertiseerwerb	57
3.2.1	ACT-Theorie	58
3.2.2	Deliberate Practice	60
3.3	Zusammenfassung	62
4	Einflussfaktoren auf das Problemlösen	65
4.1	Einflussfaktoren durch kognitive Grenzen	65
4.1.1	Grenzen durch Cognitive Load	66
4.1.2	Grenzen durch träges Wissen	68
4.2	Einflussfaktoren auf den Problemlöseerfolg	70
4.3	Einflussfaktoren auf die Problemschwierigkeit	73
4.3.1	Einfluss der Tiefenstruktur	73
4.3.2	Einfluss der Oberflächenstruktur	75
4.4	Zusammenfassung	77
5	Problemlösen in der Lehre	79
5.1	Herausforderungen universitärer Physiklehre	79
5.1.1	Studienabbruch und Studieneingangsphase	80
5.1.2	Problemlösen im Physikstudium	81
5.2	Interventionsansätze	86
5.2.1	Worked Examples	86
5.2.2	Problemlösetrainings	91
5.3	Zusammenfassung	94
II	Durchführung und Methodik	97
6	Forschungsfragen und -hypothesen	99
7	Forschungsdesign	105
7.1	Anlage des Forschungsdesigns	105
7.2	Methodische Rahmenbedingungen des Kontrollgruppendesigns	106

8	Physikübungs-konzept	109
8.1	Struktur des Strategietrainings	109
8.1.1	Rahmenbedingungen der Lehrveranstaltung	109
8.1.2	Ziele und Elemente des Strategietrainings	110
8.2	Struktur des Lernmaterials	114
8.2.1	Struktur klassischer Übungsaufgaben	114
8.2.2	Worked-Examples	123
8.3	Methodische Darstellung des Strategietrainings	125
8.3.1	Aufbau des Seminars	125
8.3.2	Einführung des Strategietrainings	126
8.3.3	Erarbeitung der Problemrepräsentation und Problemtypen	128
8.3.4	Erarbeitung der Heuristiken	133
8.3.5	Abschlusssitzung	137
8.3.6	Durchführung der Kontrollgruppe	137
8.4	Methodische Darstellung des Lernmaterials	138
8.4.1	Aufgabenanalyse	138
8.4.2	Methodische Berücksichtigung der Worked Examples	144
8.4.3	Berücksichtigung der Lernhilfen	145
8.5	Zusammenfassung	145
9	Anlage der Untersuchungen	147
9.1	Voruntersuchungen	147
9.2	Hauptuntersuchung	148
9.3	Gütekriterien	148
9.3.1	Objektivität	149
9.3.2	Validität	150
9.3.3	Reliabilität	151
9.3.4	Datenqualität	152
9.4	Testinstrumente	152
9.4.1	Deklaratives Wissen über Problemschemata	153
9.4.2	Sortieraufgaben	160
9.4.3	Problemlösetest	163
9.4.4	Einstellungen zu Interventionsmaßnahmen	166
9.4.5	Fachwissenstest	171
9.4.6	Selbstkonzept	172
9.4.7	Personenbezogene Daten	173
9.5	Datenqualität	174
9.5.1	Datenerhebung	174
9.5.2	Datenbereinigung	175

III Evaluation	179
10 Statistische Grundlagen	181
10.1 Hypothesentests	181
10.2 Parametrische Tests	182
10.2.1 t-Tests	182
10.2.2 Effektstärkenmaß Cohens d	183
10.3 Nicht-Parametrische Tests	184
10.3.1 Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test	184
10.3.2 Effektstärkenmaß Pearsons Korrelationskoeffizient r	185
10.3.3 Welch-Test	185
11 Auswertung	187
11.1 Deskriptive Ergebnisse	187
11.2 Deklaratives Wissen über Problemschemata	190
11.2.1 Gruppenunterschiede für das deklarative Wissen über Problem- schemata vor der Intervention	190
11.2.2 Prä-Post-Vergleich des deklarativen Wissens über Problemschemata	191
11.2.3 Gruppenvergleich des Lernzuwachses für deklaratives Wissen über Problemschemata	192
11.2.4 Einfluss von Fachwissen und Selbstkonzept	193
11.3 Problemlöseerfolg	195
11.3.1 Gruppenunterschiede für Sortieraufgaben vor der Intervention . .	195
11.3.2 Gruppenvergleich des Lernzuwachses für Sortieraufgaben	196
11.3.3 Gruppenunterschiede für Problemlösetest vor der Intervention . .	198
11.3.4 Prä-Post-Vergleich für Problemlösetest	198
11.3.5 Gruppenvergleich des Lernzuwachses für Problemlösetest	199
11.3.6 Gruppenvergleich der Subskalen	201
11.4 Einstellungen zu Interventionsmaßnahmen	205
11.4.1 Einstellungen zu Worked Examples	205
11.4.2 Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren	207
11.5 Überprüfung der Forschungshypothesen	209
11.5.1 Prüfung der ersten Forschungsfrage	209
11.5.2 Prüfung der zweiten Forschungsfrage	210
11.5.3 Prüfung der dritten Forschungsfrage	212
IV Fazit	213
12 Diskussion	215

12.1 Diskussion des Studiendesigns und der Durchführung	215
12.2 Diskussion der ersten Forschungsfrage	216
12.3 Diskussion der zweiten Forschungsfrage	219
12.3.1 Diskussion Forschungshypothese H.2.1	219
12.3.2 Diskussion Forschungshypothese H.2.2	220
12.4 Diskussion der dritten Forschungsfrage	222
12.5 Zusammenfassung	222
13 Ausblick	225
13.1 Konsequenzen für die (universitäre) Lehre	225
13.2 Weiterentwicklung des Übungskonzepts	226
13.2.1 Auswahl und Erarbeitung von Problemschemata	226
13.2.2 Heuristisches Vorgehen	227
13.2.3 Prozessfokussierung durch maschinelles Lernen	228
14 Zusammenfassung	229
Literaturverzeichnis	231
Abbildungsverzeichnis	243
Tabellenverzeichnis	247
V Anhang	253

1. Einleitung

1.1. Ziel der Arbeit

Problemlösen ist eine zentrale Kompetenz in der Physik und wird als höchste Stufe der Lernziele eingeordnet (vgl. Kircher & Girwidz, 2020). Insbesondere das Lösen von wissenszentrierten Problemen wird sowohl in der Schule als auch an der Universität beim Erlernen des Faches regelmäßig geübt (vgl. Friege, 2001; Woitkowski, 2021b). In vielen Fällen, in denen das notwendige Fachwissen erworben wurde, scheitert jedoch häufig das Lösen von Aufgaben, die auf diesem Wissen aufbauen (z. B. Renkl, Mandl & Gruber, 1996). Das Wissen liegt dann als träges Wissen vor (vgl. ebd.). Aufgrund der zentralen Rolle des Problemlösens stellt dieser Misserfolg eine Herausforderung für die Lehre dar. Insbesondere an der Universität ist das Lösen von wöchentlichen Übungszetteln in Form von wissenszentrierten Problemen ein etabliertes Verfahren (vgl. Haak, 2016). Das Erlernen dieser Problemlösekompetenz ist daher ein wichtiges Ziel im Physikstudium (vgl. Woitkowski, 2020b). Angesichts der bestehenden Abbruch- und Schwundquoten in den Natur- und Ingenieurwissenschaften (vgl. Heublein, Hutzsch & Schmelzer, 2022), für die Leistungs- und Prüfungsprobleme eine der Hauptursachen darstellen (vgl. Heublein, Hutzsch, Schreiber, Sommer & Besuch, 2010), stellt die Optimierung der Vermittlung von Problemlösekompetenz eine wichtige Rolle dar.

Die Expertiseforschung beschäftigt sich mit der Beschreibung von herausragenden Problemlösungsleistungen in einer Domäne, die sich durch Effizienz und eine geringe Fehlerquote auszeichnen (Gruber, Scheumann & Krauss, 2019). Im Rahmen dieser Forschung werden Expert:innen, die sich durch diese herausragenden Leistungen auszeichnen, häufig mit Noviz:innen verglichen, die im Gegensatz dazu stehen und geringe Problemlösefähigkeiten aufweisen (z. B. Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Friege, 2001; Larkin, 2014). Auf dieser Grundlage lassen sich Unterschiede im Bereich der Gedächtnisleistungen (z. B. de Groot, 2014), der Relevanz verschiedener Wissensarten (z. B. Friege & Lind, 2006), dem Erfolg der Problemrepräsentation (z. B. Larkin, 2014) und den verwendeten Problemlösestrategien (z. B. Tuminaro & Redish, 2005) feststellen. Aufgrund der Vielzahl an Arbeiten in diesem Bereich besteht somit ein gutes Verständnis darüber, welche Merkmale einen erfolgreichen von einem nicht erfolgreichen Problemlöseprozess unterscheiden.

Diese Erkenntnisse sollen in der vorliegenden Arbeit als Grundlage für die Entwicklung eines Übungskonzepts für die Physiklehre an Hochschulen dienen. Die Merkmale des Problemlöseprozesses von Expert:innen (z. B. Chi et al., 1981; Larkin, 2014; Friege, 2001) werden in diesem Konzept explizit als Lernziele verankert. Als zentrale Gelingensbedingungen werden einerseits die konkreten Problemlösestrategien von Expert:innen, sowie die Ausbildung von Problemschemata als besondere Form der Wissensorganisation identifiziert. Der Erfolg des entwickelten Konzepts wird in Form eines Kontrollgruppendesigns empirisch überprüft. Dazu wird eine Interventionsgruppe anhand des entwickelten Strategietrainings unterrichtet, während eine Kontrollgruppe ein klassisches Übungskonzept erhält. Mögliche Störeinflüsse werden im Rahmen der methodischen Umsetzung bestmöglich berücksichtigt, sodass ein Vergleich der Gruppen ermöglicht wird. Die Evaluation erfolgt anhand des deklarativen Wissens über Problemschemata, der Erarbeitung von Problemschemata sowie des Gesamterfolgs beim Problemlösen.

1.2. Struktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in vier nachfolgende Teile. Zunächst wird der theoretische Hintergrund des Vorhabens dargestellt. Dazu wird zunächst der Begriff der Expertise bestimmt (Kapitel 2). In diesem Rahmen wird zum einen die Begriffsverwendung im Kontext dieser Arbeit festgelegt und zum anderen eine Abgrenzung zu angrenzenden Konzepten vorgenommen. Zunächst wird der Expertisebegriff von den Begriffen Begabung und Intelligenz abgegrenzt. Mit der Festlegung des Expertisebegriffs auf die Beschreibung von Problemlöseleistungen folgt auch eine Definition des allgemeinen Problembegriffs sowie eine Abgrenzung von komplexen Problemen zu den hier thematisierten wissenszentrierten Problemen. Anschließend wird das in dieser Arbeit verwendete Modell des wissenszentrierten Problemlösens in der Physik von Friege (2001) ausführlich beschrieben. Im Kapitel 3 werden die zentralen Unterschiede von Expert:innen und Noviz:innen gemeinsam mit dem Expertiseerwerb dargestellt und dienen als Grundlage für die Entwicklung des Übungskonzepts. Zur Operationalisierung der eingesetzten Testinstrumente und zur Kontrolle weiterer Störeinflüsse werden in Kapitel 4 verschiedene Einflussfaktoren auf das Problemlösen beschrieben. Das Kapitel 5 befasst sich mit dem Problemlösen im Kontext der Physiklehre. Dazu werden zunächst allgemeine Herausforderungen im Rahmen der Studieneingangsphase sowie die Problematik des Studienabbruchs skizziert, bevor das Problemlösen im Rahmen des Physikstudiums dargestellt wird. Der theoretische Hintergrund schließt mit der Beschreibung bestehender Interventionsansätze zur Unterstützung des Problemlösens. Dabei werden neben Worked Examples als aufgabenbasiertes Format auch Merkmale von Problemlösetrainings vorgestellt. Eine Übersicht über die strukturellen Zusammenhänge der im Rahmen der Arbeit vorgestellten Konzepte findet sich in

Abbildung 1.1.

Vor dem theoretischen Hintergrund werden nachfolgend drei Forschungsfragen abgeleitet, die die Evaluation des angestrebten Lehrkonzepts operationalisieren. Der zweite Teil der Arbeit umfasst die Beschreibung der Forschungsmethodik und der Durchführung des Vorhabens. In diesem Rahmen werden die zuvor erarbeiteten Kriterien für erfolgreiches Problemlösen in ein Physikübungskonzept eingebettet. Die methodischen und praktischen Aspekte der Durchführung werden hier ebenso dargestellt wie die Auswahl und Entwicklung der eingesetzten Testinstrumente und die Beschreibung ihrer Güte. Im dritten Teil der Arbeit werden die Ergebnisse der Studie dargestellt und vor dem Hintergrund der Forschungsfragen ausgewertet. Abschließend erfolgt eine Diskussion der Ergebnisse und Erträge der Arbeit.

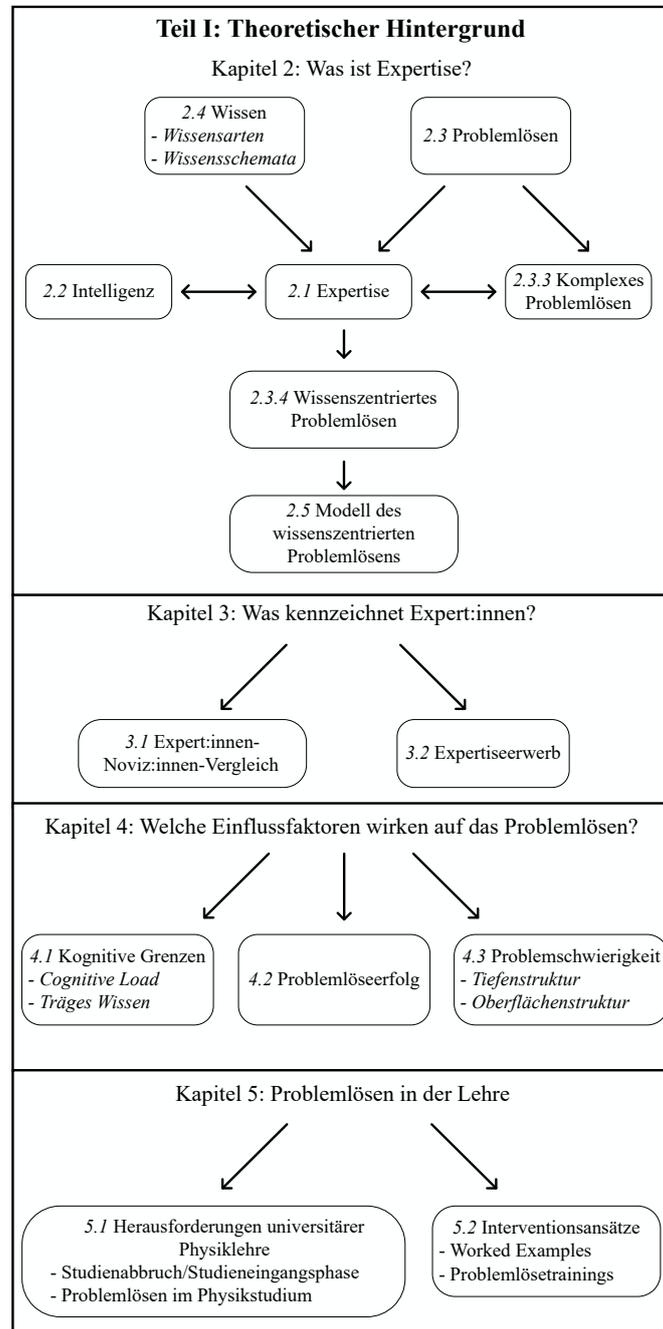


Abb. 1.1. Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge des theoretischen Hintergrunds

Teil I.

Theoretischer Hintergrund

2. Expertise

Dieses Kapitel widmet sich dem Verständnis von Expertise. Dazu wird zunächst ein Expertisebegriff erarbeitet, der im Rahmen dieser Arbeit zugrunde gelegt wird. Anschließend erfolgt eine Abgrenzung zu konstruktiven Begriffen wie Intelligenz und Begabung, sowie zu anderen Arten des Problemlösens. Mit dem Fokus auf das wissenszentrierte Problemlösen wird der Wissensaspekt durch die Darstellung von Wissensarten und Wissensschemata vertieft. Abschließend erfolgt eine ausführliche Darstellung des hier verwendeten Modells des wissenszentrierten Problemlösens in der Physik. Aufgrund der konzeptuellen Einordnung des Expertisebegriffs ergibt sich für dieses Kapitel eine nicht-lineare Struktur (vgl. Abb. 2.1).

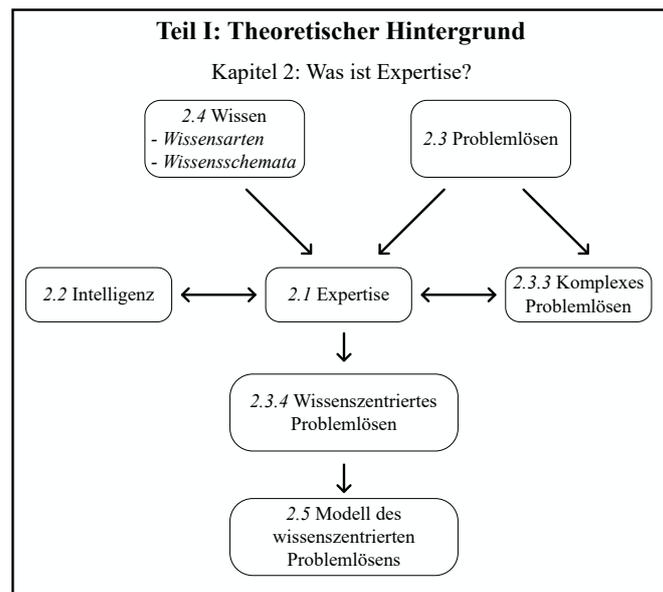


Abb. 2.1. Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge in Kapitel 2

2.1. Expertisebegriff

Da der Fokus der Arbeit auf der Förderung des Expertiseerwerbs liegt, wird zunächst die Verwendung des Expertisebegriffs im Rahmen dieser Arbeit definiert. Dazu werden verschiedene Aspekte anderer Begriffsdefinitionen aufgegriffen und hinsichtlich ihrer

Stärken und Schwächen reflektiert, um anschließend eine Synthese zu bilden, die diese Aspekte berücksichtigt. Ziel ist eine möglichst eindeutige Operationalisierung, sodass im Hinblick auf das Forschungsvorhaben die Voraussetzungen für eine valide Messung gegeben sind.

2.1.1. Expertise als nominaler Begriff

Ein häufiger Ansatz zur Beschreibung von Expertise ist die Verwendung in Bezug auf den Status, den eine Person in dem entsprechenden Bereich verkörpert. Diese Verwendung wird hier als nominaler Begriff beschrieben, da eine Zuschreibung des Expertisegrades aufgrund von Berufsbezeichnungen, akademischen Titeln oder anderen Statusgruppen erfolgt (z. B. Reif & Allen, 1992; Chi et al., 1981). Die meisten dieser Zuschreibungen sind auf die Erfahrung der Person in diesem Bereich zurückzuführen. So setzt z. B. die Statusgruppe der Studierenden voraus, dass der Studierendenstatus bis zu einem extern definierten Grad durchlaufen und positiv abgeschlossen wurde. Ebenso setzen verschiedene Berufsbezeichnungen und akademische Titel in der Regel Kompetenzen voraus, die auf eine gewisse Erfahrung in dem Bereich schließen lassen.

Diese Ausgestaltung des Expert:innenbegriffs ermöglicht somit eine erste Möglichkeit der Zuordnung zu einem entsprechenden Expertisegrad. Es kann jedoch kritisiert werden, dass eine rein nominale Definition des Begriffs nicht ausreichend operationalisiert ist. So ist oft kein direkter oder skalierbarer Vergleich zwischen den Ausprägungen möglich. Die Extremgruppen können zwar in direktem Kontrast intuitiv zugeordnet werden, sodass beispielsweise Schüler:innen als Noviz:innen beschrieben werden, wenn sie im Kontrast zu Professor:innen als Expert:innen gestellt werden. Allerdings ist dieses Kriterium noch nicht hinreichend definiert, um eine eindeutige Zuordnung zu jeder nominalen Statusgruppe zu ermöglichen. Es ist also nicht für jedes nominale Kriterium klar, welcher Expertisegrad damit verbunden sein soll.

Darüber hinaus wird der Aspekt der relativen Zuordnung für einen nominalen Begriff problematisch. So kann beispielsweise die Gruppe der Studierenden im Vergleich zu den Professor:innen als Gruppe von Noviz:innen aufgefasst werden, während sie im Vergleich zu Schüler:innen als Expert:innen charakterisiert würden. Dieser relationale Charakter findet sich auch in anderen Begriffsdefinitionen (vgl. Friege, 2001), ist aber insbesondere für die nominale Verwendung kritisch zu sehen, da ein zusätzlicher objektiver Bezugspunkt fehlt, der eine kontextunabhängige Zuordnung des Expertisegrades ermöglicht. Einer Person kann daher immer nur in Relation zu anderen Personen ein Expertisegrad zugeordnet werden.

Zudem zeigen bereits die beispielhaften nominalen Kriterien die potentielle Heterogenität der entsprechenden Personengruppen auf, sodass eine Zuordnung des Expertisegrades

anhand dieser Kriterien nicht notwendig zuverlässig erscheint. Es lassen sich leicht Fälle konstruieren, in denen die tatsächlichen Leistungen einzelner Personen im Widerspruch zu ihrer nominalen Zuordnung stehen. So können beispielsweise besonders leistungsstarke Schüler:innen eher leistungsschwächeren Studierenden überlegen sein, sodass fraglich ist, ob eine höhere Einstufung anhand dieses Status gewünscht sein kann. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass die nominalen Expert:innen keine entsprechenden Leistungen erbringen konnten (z. B. Reif & Allen, 1992; Feltovich, Prietula & Ericsson, 2018), sodass eine Abwendung von diesem Ansatz vorgenommen wird.

2.1.2. Expertise als performanzbezogener Begriff

Nach Feltovich et al. (2018) lassen sich in der Expertiseforschung zwei Forschungsrichtungen unterscheiden. Die eine legt das relative Konstrukt zugrunde, welches Expert:innen und Noviz:innen als Gegenstücke eines Spektrums der Expertise versteht. Die andere konzentriert sich auf die Leistung von Expert:innen und deren Charakterisierung. Im zweiten Fall werden die Begriffe der Expertin bzw. des Experten entsprechend abgeleitet. Sowohl der zuvor dargestellte nominale als auch der nachfolgende prozessbezogene Expertisebegriff lassen sich der ersten, relativen Lesart zuordnen. An dieser Stelle folgt daher kontrastierend die performanzbezogene Verwendung des Begriffs.

Als Beispiel für eine solche performanzbezogene Definition beschreiben Gruber et al. (2019, S. 54) Expertise als „Dauerhafte Leistungsexzellenz innerhalb einer bestimmten Domäne“. Im Sinne der geforderten Operationalisierbarkeit des Begriffs bedarf die Beschreibung von Leistungsexzellenz jedoch weiterer Ausführungen, um auch empirische Messungen des Konstrukts vornehmen zu können. Dazu geben sie weiter an:

Expertenhandeln zeichnet sich somit durch großen Problemlöseerfolg, Effizienz der Tätigkeit sowie eine geringe Fehlerquote aus, also durch hohe Performanz. (Gruber et al., 2019, S. 56)

Mit dieser Darstellung wird berücksichtigt, dass Personen, die von der Gesellschaft oder anderen Nicht-Expert:innen als Expert:innen wahrgenommen werden, nicht zwingend die damit verknüpften Expert:innenleistungen erzielen (vgl. Feltovich et al., 2018). Somit wird hier eine deutliche Abgrenzung vom nominalen Konstrukt der Expertise vorgenommen. Darüber hinaus wird der Begriff der Performanz noch konkreter gefasst, sodass Untersuchungen anhand ebendieser Aspekte des Problemlösens, der Effizienz und der Fehlerquote konzipiert werden können. Nach diesem Verständnis von Expertise als wissenszentriertes Problemlösen lassen sich Expert:innen wie folgt charakterisieren:

Experten verfügen über eine umfangreiche, gut verfügbare Wissensbasis (Grundlage für Performanz) sowie über reichhaltige Erfahrung mit domänenspezifischen Aufgabenstellungen (Grundlage für Entstehung der Wissensbasis). Die Fähigkeit, in einer bestimmten Domäne dauerhaft – also weder zufällig noch einmalig – herausragende Leistung erbringen zu können, unterscheidet Experten von anderen Personen, die innerhalb derselben Domäne tätig sind. (Gruber et al., 2019, S. 54)

Diese Definition erweitert den Begriff somit durch die Abgrenzung von zufälligen Ereignissen oder Leistungen, die demnach nicht auf die Kompetenzen von Expert:innen zurückzuführen sind. Weiterhin wird die Domänenspezifität als Kriterium der Expertise herausgestellt. Diese Einschränkung ist in den meisten Definitionen von Expertise zu finden (z. B. Friege, 2001; Ericsson, 2018). Dennoch ist die Übertragbarkeit domänenspezifischer Charakteristika von Expertise auf andere Bereiche teilweise umstritten (Schultz & Lochhead, 1988). Unter einer „Domäne“ verstehen Gruber et al. (2019, S. 54) dabei einen „Themenbereich, der Gegenstand einer inhaltlichen Spezialisierung ist“. So können die Begriffe der Expertin und des Experten bzw. der Novizin und des Novizen immer nur auf eine ausgewählte Domäne bezogen sein, in der ein Vergleich des Expertisegrades und der Handlungen der Personen sinnvoll ist. Das Verständnis dessen, was Expert:innen ausmacht, kann somit auf die beobachtbare Expert:innenleistung in der jeweiligen Domäne zurückgeführt werden (vgl. ebd.). Eine vergleichbare Begriffsspezifikation findet sich bei Ericsson (2018). Er beschreibt den Begriff der Expert:innenleistung als „superior reproducible performances on representative tasks“ (Ericsson, 2018, S. 4). Die Erwähnung von repräsentativen Aufgaben als Methode zur Bestimmung des Expertisegrades stellt somit eine wichtige Erweiterung des Begriffes dar, die eine nähere Operationalisierung und damit Messbarkeit des Konstruktes ermöglicht. Eine nähere Ausführung dieser repräsentativen Aufgaben kann dementsprechend nur von jeder Domäne selbst bestimmt und weiter differenziert werden (vgl. ebd.). Folgt man der Einschränkung der Domänenspezifität, müssen Ergebnisse aus anderen Domänen als der Physik mit Vorsicht betrachtet werden, da eine Übertragbarkeit nicht mit Sicherheit angenommen werden kann. Es wird jedoch die Vergleichbarkeit von ähnlich inhaltsreichen Domänen wie beispielsweise der Mathematik und Physik angenommen (Gruber & Mandl, 1996 nach Friege (2001, S. 12)). Durch die Bestimmung entsprechender Aufgaben und die Konstruktion darauf basierender Testinstrumente kann somit auch eine Bestimmung des Expertisegrades angestrebt werden, die sich von einem relativen Vergleich verschiedener Gruppen löst und stattdessen einen Kompetenzvergleich zugrunde legt, der nach gängigen Gütekriterien der empirischen Bildungsforschung gestaltet werden kann. In der Physik lässt sich Expertise daher am besten durch das Lösen repräsentativer physikalischer Probleme erfassen: „[...]the fact is, that the solving of problems is the preferred, almost universal, means of demonstrating mastery of physics.“ (Schultz & Lochhead, 1988, S. 100).

2.1.3. Expertise als prozessbezogener Begriff

Als weitere Grundlage einer Begriffsdefinition lässt sich ebenfalls der Prozesscharakter des Expertiseerwerbs in den Fokus nehmen. Dieses Verständnis lässt sich nach Feltovich et al. (2018) ebenfalls der relativen Verwendung im Kontext des Expert:innen-Noviz:innen-Vergleichs zuschreiben. So formulieren Feltovich et al. (2018, S. 64) selbst eine entsprechende Definition:

Expertise (as we are defining it) is a long-term developmental and adaptive process, resulting from rich instrumental experiences in the world and extensive and deliberate practice and feedback.

Diese Definition stellt durch ihre Prozessorientierung ebenfalls die Erlernbarkeit der Expertise in den Vordergrund, welche nach Gruber et al. (2019) als Grundannahme der Expertiseforschung bezeichnet werden kann. Demgegenüber steht besonders in der alltäglichen Begriffsverwendung die Annahme, dass Expert:innen sich durch eine besondere Begabung in ihrer Domäne auszeichnen (vgl. ebd.). Auch wenn Begabungs- und Expertiseforschung sich jeweils mit der Beschreibung herausragender Leistungen beschäftigen, so unterscheiden sie sich darin, ob sie angeborene oder erworbene Merkmale beschreiben (vgl. ebd.). Die Prozessorientierung des Begriffs kann dabei mit den beiden zuvor dargestellten Expertisebegriffen kombiniert werden. Für den nominalen Begriff kann darunter die Erfahrung verstanden werden, die in der betreffenden Domäne gesammelt wurde und oftmals Voraussetzung für einen erlangten Status in dem Bereich darstellen. Für den Performanzbegriff kann darunter das Lernen bzw. die Übung verstanden werden, die für eine Performanzsteigerung notwendig ist. Die Auseinandersetzung mit der Domäne sollte daher nicht als einziges Kriterium zur Erreichung eines hohen Expertisegrades herangezogen werden, da kein klarer Bezug bzw. keine klare Abgrenzung zu den anderen Expertisebegriffen erkennbar ist. Gleichzeitig führt eine vollständige Trennung der Betrachtung von Performanz und Erwerbsprozess zu widersprüchlichen Annahmen, die ebenfalls vermieden werden sollten. So lassen sich die charakteristischen Merkmale von Expert:innenhandeln in der Regel nur auf die langfristige, intensive Auseinandersetzung mit einer Domäne zurückführen (Ericsson, Krampe & Tesch-Römer, 1993). Dabei werden sie durch Strukturen erklärt, die einen entsprechenden Erwerbsprozess voraussetzen (vgl. Abschnitt 3.1). Die Prozessorientierung sollte daher im Sinne der Erlernbarkeit und langfristigen Entwicklung von Expertise berücksichtigt werden, ohne jedoch als alleiniges Bestimmungsmerkmal des Expertisegrades verstanden zu werden. Eine genauere Abgrenzung erfolgt daher im Abschnitt 2.2.

2.1.4. Der Expertisebegriff im Rahmen dieser Arbeit

Anhand der vorangehend diskutierten Definitionsansätze, wird nun die Verwendung des Begriffs im Rahmen der vorliegenden Arbeit festgelegt. Im Sinne der Domänenspezifität des Begriffs wird eine Einschränkung auf die Expertise in der Physik vorgenommen. Dabei sollen an dieser Stelle die Ausführungen von Gruber et al. (2019), Ericsson (2018) und Feltovich et al. (2018) kombiniert werden, sodass unter Expert:innenleistung bzw. Expertise folgendes verstanden wird:

Expert:innenleistung zeichnet sich in der Physik durch großen Problemlöseerfolg, Effizienz der Tätigkeit sowie eine geringe Fehlerquote aus. Demnach kann die Expertise einer Person anhand des Erfolges bei der Bearbeitung repräsentativer, wissenszentrierter Probleme bestimmt werden. Sie gilt als erlernbares Konstrukt, das wesentlich durch gezielte Übung beeinflusst werden kann.

Der damit einhergehende Begriff der Expertin bzw. des Experten kennzeichnet demnach Personen, die die beschriebene Expert:innenleistung regelmäßig und reproduzierbar erbringen (vgl. Gruber et al., 2019). Da diese Begriffsdefinition einerseits die Relevanz der Erlernbarkeit von Expertise aufzeigt und andererseits die Bedeutung des Problemlösens betont, werden diese beiden Aspekte im Folgenden näher ausgeführt. Dazu erfolgt zunächst eine Abgrenzung zu den Begriffen Intelligenz und Begabung und anschließend zum komplexen Problemlösen.

2.2. Abgrenzung zum Intelligenz- und Begabungsbegriff

Da der Expertisebegriff wesentliche Überschneidungen mit den Begriffen Begabung und Intelligenz aufweist, soll an dieser Stelle eine Abgrenzung von den beiden Begriffen erfolgen. Dazu werden sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede sowie der Zusammenhang zwischen Intelligenz und Expertise dargestellt. Da eine Abgrenzung zwischen Intelligenz und Begabung nicht immer konsequent vorgenommen wird und häufig eine synonyme Verwendung praktiziert wird (vgl. Stumpf & Perleth, 2019), werden an dieser Stelle beide Begriffe gemeinsam vom Expertisebegriff abgegrenzt, ohne eine konsequente Differenzierung zwischen dem Zusammenhang des Begabungsbegriffs und des Intelligenzbegriffs vorzunehmen.

Gruber et al. (2019) stellen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Disziplinen wie folgt dar:

Begabungsforschung und Expertiseforschung verbindet das gemeinsame Interesse an der Beschreibung, Erklärung und Förderung hervorragender menschlicher Leistungen in komplexen, anspruchsvollen Bereichen. Die Forschungsinteressen beider Bereiche können dabei als durchaus komplementär bezeichnet werden. Während sich die Begabungsforschung vor allem mit angeborenen Merkmalen wie allgemeinen kognitiven Grundfähigkeiten (insbesondere der Intelligenz) beschäftigt, richtet die Expertiseforschung ihr Augenmerk eher

auf herausragende Leistungen, die als prinzipiell erlernbar gelten. Lern- und Übungsprozesse stehen dabei ebenso wie der Aufbau einer umfangreichen und gut organisierten Wissensbasis im Fokus der Expertiseforschung. (Gruber, 2007)

Diese Einteilung verdeutlicht, dass der Leistungsaspekt, der zuvor im Rahmen der Begriffsdefinition von Expertise aufgegriffen wurde (vgl. Abschnitt 2.1.2 und 2.1.4), für alle drei Konstrukte relevant ist. Als Unterscheidungsmerkmal wird hingegen die Erlernbarkeit von Expertise betont, die ebenfalls in Abschnitt 2.1.3 beschrieben wird und den angeborenen Merkmalen der Begabungsforschung entgegensteht. Zur Verdeutlichung wird als exemplarische Definition der Intelligenz die weit verbreitete Formulierung von Stern (1912, S. 3) angeführt:

Intelligenz ist die allgemeine Fähigkeit eines Individuums, sein Denken bewusst auf neue Forderungen einzustellen; sie ist allgemeine geistige Anpassungsfähigkeit an neue Aufgaben und Bedingungen des Lebens.

Während frühe Arbeiten der Intelligenzforschung diese allgemeine Anpassungsfähigkeit als übergeordnetes Konstrukt abzubilden versuchten (z. B. Spearman (1904) mit dem „general Factor“), werden heute oft mehrdimensionale Intelligenzkonstrukte angenommen (vgl. Funke & Zumbach, 2006). Funke und Zumbach (2006) verweisen auf die Einteilung des Berliner Intelligenzstrukturtest als eine geeignete Operationalisierung. Dieser verknüpft vier Operationsklassen (*Einfallsreichtum*, *Merkfähigkeit*, *Bearbeitungsgeschwindigkeit* und *Verarbeitungskapazität*) mit drei Inhaltsbereichen (*anschauungsgebundenes, figural-bildhaftes Denken*, *zahlengebundenes Denken* und *sprachgebundenes Denken*) (vgl. ebd.). Sie weisen darauf hin, dass unabhängig vom zugrunde gelegten Modell die Art des zu lösenden Problems entscheidend für die Relevanz der jeweiligen Intelligenzkomponente ist. So wird für die Lösung gut strukturierter Probleme die Bedeutung analytischer Fähigkeiten betont, während schlecht strukturierte Probleme eine höhere kreative Leistung erfordern (vgl. ebd.).

Als weiteres Unterscheidungsmerkmal zwischen Expertise und Intelligenz bzw. Begabung ist die Rolle des Wissens, seines Erwerbs und seiner Organisation hervorzuheben (vgl. Mack, 1996). Aufgaben, die zur Erhebung der Intelligenz verwendet werden, stellen Probleme dar, die ohne Vorwissen oder speziell erlernte Fähigkeiten zu lösen sind (vgl. Friege, 2001). Es stehen daher Grundfähigkeiten und allgemeines Wissen im Vordergrund (vgl. ebd.). Demgegenüber liegt der Fokus in der Expertiseforschung auf wissenszentrierten, domänenspezifischen Problemen (Gruber et al., 2019). Darüber hinaus ist die Stabilität der Konstrukte ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Begabungs- und Expertiseforschung, das vor allem auf die Anlage-Umwelt-Debatte zurückgeführt werden kann (vgl. Gruber & Stamouli, 2020). Während der deutlich zeitliche Aspekt des Expertiseerwerbs bereits im prozessbezogenen Begriffsverständnis deutlich wird (vgl. Abschnitt 2.1.3), werden Begabung und Intelligenz im Gegensatz dazu als sehr stabi-

le Konstrukte verstanden (vgl. Stumpf & Perleth, 2019). So wird für Begabung und Intelligenz eine frühe Stagnation der Entwicklung angenommen:

Im Vorschul- und zu Beginn des Grundschulalters stabilisieren sich Intelligenz und Begabungen der Kinder. Zwar schreitet die Begabungsentwicklung bis ins höhere Alter voran (kristallisierte Intelligenz), die Position in der Altersgruppe ändert sich bei den meisten Kindern ab der dritten oder vierten Klasse jedoch nur noch wenig. (Stumpf & Perleth, 2019, S. 178-179)

Somit werden Intelligenz und Begabung als Konstrukte aufgefasst, die im Vergleich zur Expertise kaum Veränderungen unterliegen.

Zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Expertise und Intelligenz kann auch das Drei-Phasen-Modell nach Ackerman (1992) herangezogen werden:

1. Kognitive Phase: Aufgrund der hohen kognitiven Belastung ist die Intelligenz von hoher Bedeutung.
2. Assoziative Phase: Die Zusammensetzung und Geschwindigkeit der Wissensanwendung stehen im Vordergrund. Dabei werden Wahrnehmungsgeschwindigkeit und Anwendung von Lösungsstrategien geübt.
3. Autonome Phase: Die Prozesse werden soweit automatisiert, dass sie besonders schnell ablaufen und wenig Aufmerksamkeit benötigen.

Das Modell zeigt somit einen stärkeren Einfluss der Intelligenz in der frühen Phase des Expertiseerwerbs, während im fortgeschrittenen Verlauf die Bedeutung domänenspezifischer Wissensanwendung zunimmt. Weitere Ausführungen mit Fokus auf dem Erwerbsprozess von Expertise werden in Abschnitt 3.2 diskutiert. Der in der Expertiseforschung betonte Fokus auf Erfahrung als Einflussfaktor des Expertisegrades (z. B. Ericsson et al., 1993) steht insofern im Gegensatz zu den recht stabilen Konstrukten Intelligenz und Begabung (z. B. Stumpf & Perleth, 2019), als dass der Einfluss von Erziehung und anderen äußeren Einflüssen im Rahmen der Anlage-Umwelt-Debatte berücksichtigt wird (Gruber & Stamouli, 2020). Darüber hinaus wird der Begriff der Expertise als domänenspezifisch aufgefasst (z. B. Gruber et al., 2019), während der Begriff der Intelligenz häufig als mehrdimensionales Konstrukt verstanden wird (vgl. Funke & Zumbach, 2006), das einen übergeordneten Charakter hat und den Fähigkeitserwerb in verschiedenen Domänen beeinflusst (Ackerman, 1992). Im Hinblick auf die pädagogische Relevanz hat sich daher der Expertisebegriff gegenüber dem Begabungsbegriff durchgesetzt (vgl. Gruber et al., 2019).

2.3. Problemlösen

The competence to solve problems is of crucial importance in almost all domains of learning and achievement, both in and out of school. (Fleischer, Buchwald, Leutner, Wirth & Rumann, 2017, S. 34)

Anschließend an das Verständnis des Expertisebegriffs als erfolgreiches Bearbeiten wissenszentrierter Probleme, soll in diesem Abschnitt der Begriff des Problems und des Problemlösens weiter spezifiziert werden. Dazu wird zunächst der Problembegriff festgelegt. Es folgen terminologische Grundlagen des Problemlösens, bevor die Differenzierung zwischen komplexem und wissenszentriertem Problemlösen als die am häufigsten vorgenommene Unterscheidung von Problemtypen vorgestellt wird. Aufgrund der Beschränkung auf das wissenszentrierte Problemlösen im weiteren Verlauf der Arbeit werden anschließend verschiedene Wissensarten vorgestellt, um deren Bedeutung für den Problemlöseprozess zu verdeutlichen.

2.3.1. Allgemeiner Problembegriff

Im Rahmen dieser Arbeit wird die im deutschsprachigen Raum wohl am weitesten verbreitete Definition des Problembegriffs von Dörner (1987) zugrunde gelegt. Danach kennzeichnet sich ein Problem anhand von drei Merkmalen:

1. Unerwünschter Anfangszustand
2. Erwünschter Endzustand
3. Barriere, die die Transformation von (1) nach (2) verhindert

Neben dieser Definition bietet Dörner (1987) ebenfalls eine zweidimensionale Klassifikation von Problemen und der Barriere, die diese kennzeichnet. Dabei unterscheidet er einerseits die Bekanntheit der Mittel und andererseits die Klarheit der Zielkriterien. Er beschreibt diese Dimensionen als Kontinuum. Zusätzlich stellt er Extremfälle, die sich aus der Kombination einer hohen oder niedrigen Ausprägung der Dimensionen ergeben, explizit heraus, um die damit verbundenen Barrieren zu klassifizieren (s. Abb. 2.2).

		Klarheit der Zielkriterien	
		hoch	gering
Bekanntheitsgrad der Mittel	hoch	Interpolationsbarriere	dialektische Barriere
	gering	Synthesebarriere	dialektische Barriere und Synthesebarriere

Abb. 2.2. Zweidimensionale Klassifikation von Problembarrerien (Dörner 1987, S.14)

Diese Aufteilung von Dörner (1987) zeigt, dass bei ausreichender Bekanntheit der Mittel und Klarheit der Zielkriterien eine Interpolationsbarriere vorliegt, sodass lediglich die richtige Reihenfolge der verwendeten Operatoren gefunden werden muss. Als Beispiel kann das Schachspielen betrachtet werden. Dabei liegen die klaren Mittel im Sinne der möglichen Züge und die klare Zielvorstellung den König zu schlagen, sowie die Vielzahl von möglichen Zügen und Kombinationen vor. In dieser Hinsicht ist die Problembarriere also gering. Sofern nur das Ziel klar definiert ist, aber die Mittel unbekannt bleiben, spricht Dörner von einer Synthesebarriere. Für diesen Problemtyp werden vor allem kreative Lösungsansätze benötigt. Ist das Ziel des Problems unbekannt, spricht er von einer dialektischen Barriere, sind Ziel und Mittel unklar, liegen sowohl eine dialektische als auch eine Synthesebarriere vor.

Dörner (1987) nutzt diese Einteilung außerdem, um eine Unterscheidung der Begriffe *Problem* und *Aufgabe* zu bestimmen. Aufgaben werden dabei derart definiert, dass für deren Bewältigung die Methoden bereits bekannt sind, sodass keine Synthesebarriere vorliegt (ebd.). Smith (1990) führt dazu zwei Schwierigkeiten dieser Unterscheidung an. Zum einen besteht das methodische Problem, dass in der Forschung oft von Problemen gesprochen wird, wo eigentlich Aufgaben von den Probanden gelöst werden (vgl. ebd.). Zum anderen besteht ein viel grundsätzlicheres Problem darin, dass die subjektabhängige Definition eine Unschärfe aufweist, ab wann es sich nicht mehr um eine Aufgabe, sondern bereits um ein Problem handelt (vgl. ebd.). Anschließend an diese Perspektive, wird daher davon abgesehen, dass eine entsprechende Unterscheidung hier durch die Berücksichtigung der genauen individuellen Voraussetzungen vorgenommen werden kann. Mit der Verwendung des Aufgabenbegriffs wird nachfolgend daher immer auch von einem Problem ausgegangen.

Neben dem Problembegriff von Dörner (1987) wird im weiteren Verlauf der Arbeit ebenfalls der Begriff des Problemraums von Newell und Simon (1972) verwendet, der das Problemlösen in einen Verstehens- und Suchprozess einteilt. Dieser Begriff eignet sich dabei besonders, um verschiedene Merkmale eines Problems und dessen Lösungsprozess in Zusammenhang zu bringen. Newell und Simon (1972) charakterisieren den Begriff des Problemraums als Sammlung von Informationen über den Anfangszustand des Problems, die Übersicht der Operatoren, die zur Beeinflussung dieses Zustands verfügbar sind und die Kriterien, die den Zielzustand markieren. Neben dem Verstehen der Problemsituation durch die dargestellte Repräsentation wird der Prozess durch das Suchen nach einer geeigneten Lösung vervollständigt (ebd.). Dieser Suchprozess kann durch unterschiedlichste Strategien gekennzeichnet sein, die auf das Erreichen des Zielzustandes hinarbeiten (ebd.). Das Modell des Problemraums erweist sich als sinnvolle Ergänzung neben der Einteilung von Dörner (1987). So würde das Schachbeispiel nach Dörner zwar eine geringe Problembarriere ergeben, aufgrund der Vielzahl der möglichen Züge und Kombinationen

ist der Suchprozess jedoch entsprechend groß, sodass der Problemraum nach Newell und Simon (1972) ebenfalls als sehr umfangreich und somit herausfordernd eingeschätzt werden kann. In der vorliegenden Arbeit wird demnach dem Problembegriff von Dörner (1987) gefolgt. Außerdem wird der Begriff des Problemraums von Newell und Simon (1972) für die Verknüpfung von Problemmerkmalen und Problemlöseprozess verwendet. Durch die ausschließliche Betrachtung von Physikaufgaben ist außerdem eine weitere Eingrenzung der Problemart notwendig. Dazu werden zunächst verschiedene Aspekte zur Klassifizierung von Problemen vorgestellt, bevor komplexe und wissenszentrierte Probleme vorgestellt und voneinander abgegrenzt werden.

2.3.2. Problemklassifizierung

Die verschiedenen Anwendungsgebiete, in denen das Problemlösen eine Rolle spielt, sowie die unterschiedlichen Forschungsperspektiven, die dazu verfolgt werden, nutzen eine Vielzahl von Charakteristika, um sowohl die Art der Probleme als auch des zugehörigen Problemlöseprozesses zu definieren. Um die Inhalte dieser Arbeit in Kontext zu dem Forschungsfeld setzen zu können, werden an dieser Stelle einige dieser Begriffe dargestellt. Für einen umfassenden Überblick, kann beispielsweise auf die Ausführungen von Funke (2003) verwiesen werden.

Für die Klassifikation von Problemen wird hier der Einteilung von Jonassen (2012a) gefolgt, der eine Einteilung in drei Dimensionen vorschlägt:

- Strukturiiertheit
- Komplexität
- Dynamik

Auf der Ebene der Strukturiiertheit unterscheidet Jonassen (2012a) zwischen wohl strukturierten (*well-structured*) und schlecht strukturierten (*ill-structured*) Problemen. Bei einem sehr wohl strukturierten Problem sind alle Elemente des Problems bekannt. Darunter fallen sowohl der Ausgangszustand des Problems, als auch der Lösungsweg und ein klar definierter Zielzustand mit einer eindeutigen Lösung. Je weniger eindeutig diese Elemente definiert sind, desto schlechter strukturiert ist das Problem. Ein Problem mit unklaren Anfangsbedingungen, verschiedenen Lösungswegen und Lösungsmöglichkeiten, gilt danach als schlecht strukturiert. Die Dimension der Komplexität reicht nach Jonassen (2012a) von einfachen zu komplexen Problemen. Die Komplexität ist dabei abhängig vom Umfang des zur Lösung erforderlichen Wissens, dem Vorwissen des Problemlösers bzw. der Problemlöserin, der Komplexität des Lösungsverfahrens und der Komplexität der Zusammenhänge, die für die Problemlösung genutzt werden müssen. Zuletzt unterscheidet er die Dynamik der Probleme danach, ob die Bedingungen des Problems statisch sind oder eine zeitliche Veränderung vorliegt. Im Fall dynamischer, also zeitlich veränderlicher

Probleme, liegt oft eine Abhängigkeit der Gegebenheiten des Problems vor, sodass die Veränderung einzelner Variablen zur Veränderung anderer Variablen des Problems führt. Die Problemklassifizierung richtet sich nach allen drei Dimensionen, sodass verschiedene Kombinationen der einzelnen Ausprägungen möglich sind und sich eine Vielzahl verschiedener Problemtypen ergeben (s. hierzu weiter z. B. Jonassen (2012b)).

Diese drei Dimensionen zeigen die am häufigsten unterschiedenen Merkmale von Problemen an, sodass ein guter Überblick über verschiedene Problemtypen gegeben ist. Leider werden die hier verwendeten Begriffe in der Literatur oft unterschiedlich verwendet. So setzt Funke (2003) beispielsweise ebenfalls einfache und komplexe Probleme gegenüber. Er verweist darauf, dass eine zutreffendere Unterscheidung die Begriffe statisch und dynamisch nutzen müsste und ist somit nicht konsistent mit der vorgestellten Einteilung nach Jonassen (2012a). Gleichzeitig ist die Verwendung des zusammenhängenden Begriffs des „komplexen Problemlösens“ historisch gewachsen, sodass oftmals eine Konnotation vorliegt, die nur teilweise mit der vorgestellten Einteilung nach Jonassen (2012a) einhergeht. Diese Mehrfachbelegung muss im Vergleich zur Terminologie anderer Werke berücksichtigt werden. Nachfolgend werden die beiden Problemarten der komplexen Probleme und der wissenszentrierten Probleme anhand der dargestellten Einteilung nach Jonassen (2012a) charakterisiert.

2.3.3. Komplexes Problemlösen

Das komplexe Problemlösen kann als Gegenstück der wissenszentrierten Expertiseforschung betrachtet werden (vgl. Sternberg, 1995). Die beiden Forschungsbereiche grenzen sich sowohl durch die Art der zugrunde gelegten Probleme, als auch der dabei relevanten kognitiven Prozesse ab (vgl. Dörner & Funke, 2017). Da in der allgemeinen Diskussion von Problemlösefähigkeiten im Bereich der Bildung oft Kompetenzen behandelt werden, die dem komplexen Problemlösen zugeordnet werden (z. B. Leutner, Fleischer, Wirth, Greiff & Funke, 2012; Csapó & Funke, 2017), werden dessen Merkmale hier aufgeführt, um eine Abgrenzung zu dem in dieser Arbeit behandelten wissenszentrierten Problemlösen vorzunehmen (vgl. nächster Abschnitt).

In den Anfängen der Problemlöseforschung wurden primär Probleme untersucht, die als wohl strukturiert gelten (Dörner & Funke, 2017). Diese Art von Problemen wurde jedoch als realitätsfern bezeichnet, da echte Probleme offene Bedingungen haben und nicht wohl strukturiert sind (vgl. ebd.). Mit dem Anspruch auch das Lösen schlechter Problem zu untersuchen, entstand daher die Disziplin der komplexen Problemlöseforschung (vgl. ebd.). Der deutsche Ausdruck wurde von Funke (1986) und Dörner (1987) eingeführt und später als *complex problem solving* ins Englische übersetzt. Dabei hat sich die Abkürzung als *CPS* etabliert. Eine aktuelle Formulierung von Funke (2012), die an die Definition

von Frensch und Funke (1995) angelehnt ist, lautet:

Complex problem solving takes place for reducing the barrier between a given start state and an intended goal state with the help of cognitive activities and behavior. Start state, intended goal state, and barriers prove complexity, change dynamically over time, and can be partially intransparent. In contrast to solving simple problems, with complex problems at the beginning of a problem solution the exact features of the start state, of the intended goal state, and of the barriers are unknown. Complex problem solving expects the efficient interaction between the problem-solving person and situational conditions that depend on the task. It demands the use of cognitive, emotional, and social resources as well as knowledge. (Funke, 2012, S.682)

Vergleicht man die einzelnen Elemente der Definition mit der zuvor eingeführten Charakterisierung von Jonassen (2012a), befasst sich das komplexe Problemlösen mit Problemen, die sowohl schlecht strukturiert, dynamisch als auch komplex sind.

Zur Beschreibung der Merkmale komplexer Probleme fasst Funke (2012) folgende Eigenschaften zusammen:

1. Komplexität der Problemsituation
2. Verknüpfung vorkommender Variablen
3. Dynamik der Situation
4. Intransparenz
5. Polytelie

Sowohl die Komplexität der Problemsituation als auch die Verknüpfung der vorkommenden Variablen kann dabei der Komplexität nach Jonassen (2012a) zugeordnet werden. Die Dynamik als weitere Dimension nach Jonassen (2012a) wird hier direkt als Merkmal benannt. Letztlich können die Intransparenz und Polytelie der Strukturiertheit nach Jonassen (2012a) zugeordnet werden und zeigen, dass sowohl die Problemsituation als auch mögliche Zielzustände als schlecht strukturiert gelten. Aufgrund der Komplexität und Dynamik der Probleme, werden ebenfalls die Personenfähigkeiten im Sinne des derartigen Prozesse hervorgehoben, sodass der Begriff des *könnenszentrierten Problemlösens* manchmal synonym verwendet wird (z. B. Friege & Lind, 2003). Trotz anfänglicher Vermutungen, dass eine allgemeine Intelligenz (s. Abschnitt 2.2) sich als Prädiktor erweisen könnte, konnten empirische Befunde dies nicht unterstützen (Funke, 2012). Es gibt hingegen Hinweise darauf, dass Teilkomponenten des Intelligenzkonstrukts, wie beispielsweise die Verarbeitungskapazität, als Einflussfaktoren fungieren (Wenke, Frensch & Funke, 2009). Dies führt dazu, dass das komplexe Problemlösen oftmals als stärker verbunden mit den Grundfähigkeiten einer Person eingeordnet wird (ebd.). Das in der Expertiseforschung betrachtete wissenszentrierte Problemlösen fokussiert hingegen stärker auf die Bedeutung einer domänenspezifischen Wissensbasis (vgl. Gruber et al., 2019), sodass andere Problemarten und Problemlöseprozesse untersucht werden, die im nächsten Abschnitt dargestellt werden.

2.3.4. Wissenszentriertes Problemlösen

In Abgrenzung zu dem dargestellten Bereich des komplexen Problemlösens, soll im Rahmen dieser Arbeit ein Fokus auf dem Bereich des wissenszentrierten Problemlösens liegen, welcher der Expertiseforschung (s. Kapitel 2) zugeordnet wird (vgl. Gruber et al., 2019). Dabei wird die Ausrichtung auf die spezifische Domäne in der Regel als wesentlich für die Expertiseforschung angenommen (Ericsson & Smith, 1991) und somit in der Auswahl der betrachteten Probleme berücksichtigt. Diese wissenszentrierten Probleme charakterisieren Friege und Lind (2003) anhand folgender Merkmale:

1. Klar umschriebene Aufgabenstellung
2. Unter Einsatz von Fachwissen eindeutig lösbar
3. Ohne Fachwissen kann in der Regel keine Lösung generiert werden

Sowohl die klare Aufgabenstellung als auch die Eindeutigkeit der Lösbarkeit zeigen, dass die Probleme nach der Einteilung von Jonassen (2012a) als wohl strukturiert gelten. Die starke Abhängigkeit vom Fachwissen der Problemlöserin oder des Problemlösers, betrifft außerdem die Komplexität des Problems (Jonassen, 2012a). Da diese Voraussetzung noch nicht viel über den Umfang des Fachwissens oder die Komplexität des Lösungsverfahrens aussagt, sind verschiedene Komplexitätsstufen wissenszentrierter Probleme denkbar. Friege (2001) beschreibt außerdem, dass für das Lösen wissenszentrierter Aufgaben das Erinnern oder Wissen des vorausgesetzten Fachwissens nicht ausreichend ist, sondern stets sinnvoll verknüpft werden muss. Da die Verknüpfung des Wissens ebenfalls als Einflussfaktor der Komplexität betrachtet wird (vgl. Jonassen, 2012a), ist also immer eine gewisse Mindestkomplexität dieses Problemtyps gegeben. Die Probleme können außerdem als statische Probleme eingeordnet werden (ebd.), da die übliche Umsetzung als Textbuchaufgabe zeitlich unabhängig ist und zu Beginn ein klares Ziel formuliert werden kann. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Begrenzung auf derartige wissenszentrierte Probleme vorgenommen. Zur weiteren Einordnung dieser Probleme und des zugehörigen Lösungsprozesses, wird daher als nächstes der Zusammenhang des Wissens und Problemlösens weiter vertieft.

2.4. Wissen und Problemlösen

Betrachtet man Experten, erkennt man einen selbstverständlichen und engen Zusammenhang von Wissen und Problemlösen. (Gruber et al., 2019, S. 55)

Die hier verwendete Definition des Expertisebegriffs fokussiert auf das erfolgreiche Lösen von wissenszentrierten Problemen (vgl. Abschnitt 2.1.4). Vor diesem Hintergrund wurde eine Charakterisierung von wissenszentrierten Problemen (s. Abschnitt 2.3.4) und eine Abgrenzung von komplexen Problemen (s. Abschnitt 2.3.3) vorgenommen. Um den

Prozess wissenszentrierten Problemlösens, der wesentlich für die vorliegende Studie ist, nachvollziehen zu können, wird an dieser Stelle der Aspekt des Wissens genauer dargestellt. Da Wissen in der Regel nicht als einfaches Konstrukt verstanden wird (vgl. Friege, 2001), werden zunächst verschiedene Wissensarten vorgestellt, bevor eine Verknüpfung mit kognitiven Prozessen anhand von Wissensschemata dargestellt wird.

2.4.1. Wissensarten

Eine einheitliche Darstellung verschiedener Wissensarten und ihrer Bedeutung für den Problemlöseprozess erweist sich als nicht trivial, da die meisten anderen Modelle, die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt werden und Bezüge zu Wissensarten diskutieren, jeweils unterschiedliche Modelle zugrunde legen (z. B. Friege, 2001; Friege & Lind, 2006; Anderson, 1996). Aufgrund der unterschiedlichen Strukturen der Wissensmodelle und der teilweise abweichenden Verwendung identischer Terminologie, lässt sich kein durchgehend einheitliches Begriffssystem verwenden. Aus diesem Grund werden hier ergänzend einerseits das Modell von de Jong und Ferguson-Hessler (1996) und Hailikari, Nevgi und Lindblom-Ylänne (2007) vorgestellt, die für weitere Bezüge innerhalb der Arbeit zugrunde gelegt werden.

Die Klassifizierung von de Jong und Ferguson-Hessler (1996) unterscheidet einerseits Wissensarten (*types of knowledge*) und andererseits Wissenseigenschaften (*qualities of knowledge*). Die Wissensarten werden dabei in vier Typen unterschieden (ebd.):

1. Situationales Wissen
2. Konzeptuelles Wissen
3. Prozedurales Wissen
4. Strategisches Wissen

De Jong und Ferguson-Hessler (1996) führen dabei weiter aus, dass das situationale Wissen Informationen darüber beinhaltet, wie Probleme einer bestimmten Domäne typischerweise gestaltet sind. Es befähigt daher dazu, Elemente zu identifizieren, die relevant für die Problembeschreibung sind und somit einer geeigneten Problemrepräsentation dienen. Das konzeptuelle Wissen ist hingegen problemunabhängig und umfasst physikalische Fakten und Zusammenhänge, die aktiv dem Problem zugeordnet werden müssen. Während sie in vorangehenden Arbeiten alternativ den Begriff des deklarativen Wissens verwenden, führen sie die Unterscheidung zwischen deklarativem und zusammengestellten Wissen als Ausprägungen der Automatisierung des Wissens ein, welche hier eine Wissenseigenschaft darstellt (vgl. ebd.). Als prozedurales Wissen beschreiben sie Handlungen, die die tatsächliche Problembearbeitung ermöglichen und domänenspezifische und allgemeine Informationen darüber beinhalten, wie von einem zum nächsten Problemzustand gelangt werden kann. Als letztes ermöglicht das strategische Wissen die Organisation

des eigenen Problemlöseprozesses und ist demnach weniger problemspezifisch als die ersten drei Wissensarten. Neben den Wissensarten legen sie als zweite Dimension die Wissenseigenschaften fest (ebd.):

1. Wissensstand
2. Wissensstruktur
3. Automatisierung des Wissens
4. Modalität des Wissens
5. Generalisierung des Wissens

Zu den verschiedenen Wissenseigenschaften nennen de Jong und Ferguson-Hessler (1996) jeweils die beiden Ausprägungen, die als Extreme der jeweiligen Eigenschaft zu werten sind. Für den Wissensstand unterscheiden sie zwischen tiefem und oberflächlichem Wissen. Das tiefe Wissen zeichnet sich durch stärkere Abstraktion und ein besseres Verständnis aus (vgl. ebd.). Die Wissensstruktur reicht von isoliertem Wissen bis zu vernetztem Wissen. Für konzeptuelles Wissen führen sie aus, dass eine hierarchische Struktur des Wissens sowohl für das Speichern als auch für die Informationssuche am besten geeignet ist (vgl. ebd.). Außerdem nennen sie Wissensschemata (vgl. auch Abschnitt 2.4.2) als stark vernetzte Wissensstruktur, die verschiedene Wissensarten gleichzeitig verknüpft. Als weitere Eigenschaft nennen sie die Automatisierung des Wissens, die bei höherer Expertise ebenfalls ansteigt. Demnach gestalten sich Problemlöseprozesse für Noviz:innen eher als Schritt-für-Schritt-Prozess, während Expert:innen einen kontinuierlichen, stärker automatisierten Prozess durchlaufen, der dadurch eine höhere Geschwindigkeit und Stabilität aufweist. Als Modalität des Wissens beschreiben sie die Repräsentationsform des Wissens, die stärker wörtlich oder bildlich vorliegen kann. Schließlich gibt die Generalisierung des Wissens an wie stark die domänenspezifische Ausrichtung des Wissens ist oder wie allgemein das Wissen ist. Hier betonen de Jong und Ferguson-Hessler (1996) die Bedeutung für das strategische Wissen. Auch wenn Problemlösestrategien oft auf einer allgemeineren Ebene als Heuristik beschrieben werden, so konnte sich das Trainieren domänenspezifischer Strategien als effektiver erweisen. Diese Einteilung ist nach den Autoren unter anderem zur Beschreibung von Expert:innen-Noviz:innen-Unterschieden gedacht und bezieht sich außerdem explizit auf das Problemlösen in der Physik. Die starke, hierarchische Verknüpfung von Wissensselementen, sowie ein hoher Abstraktionsgrad werden dabei als charakteristisch für Physikwissen deklariert, sodass sie sich als entsprechend geeignet für die vorliegende Arbeit auszeichnet.

Da in anderen Arbeiten, teilweise ein verstärkter Fokus auf dem deklarativen und prozeduralen Wissen liegt (z. B. im Rahmen der *ACT-Theorie*, s. Abschnitt 3.2.1), wird hier ebenfalls das Modell von Hailikari et al. (2007) vorgestellt, welches die bewährten Kategorien des Vorwissens weiter differenziert. Darüber hinaus verfügt das Modell über den Vorteil, dass Indikatoren benannt werden, die angeben, welche Handlungen auf das

entsprechende Wissen schließen lassen. Diese Verknüpfung ist vor dem Hintergrund der praktischen Umsetzung in der Lehre und darüber hinaus der empirischen Untersuchung des Wissens hilfreich, da eine direkte Operationalisierung berücksichtigt ist.

Hailikari et al. (2007) teilen das deklarative Wissen in ihrem Modell weiter auf in *knowledge of facts* und *knowledge of meaning* (vgl. Abb. 2.3). Diese Unterscheidung betrifft dabei im Wesentlichen die Art der Informationseinheiten, die wiedergegeben werden. So werden beim *knowledge of facts* einzelne Fakten als Informationen abgerufen, während das *knowledge of meaning* die Reproduktion von Konzepten umfasst und somit ein erstes Verständnis dieser voraussetzt (ebd.). Diese Unterscheidung kann im Modell von de Jong und Ferguson-Hessler (1996) mit der Ausprägung des Wissensstandes und der Wissensstruktur verglichen werden. Das Modell verdeutlicht, dass der Erwerb des deklarativen Wissens ein Verständnis der gespeicherten Informationen nicht direkt impliziert, sondern erst durch eine Vertiefung anhand des *knowledge of meaning* und *integration of knowledge* erreicht wird.

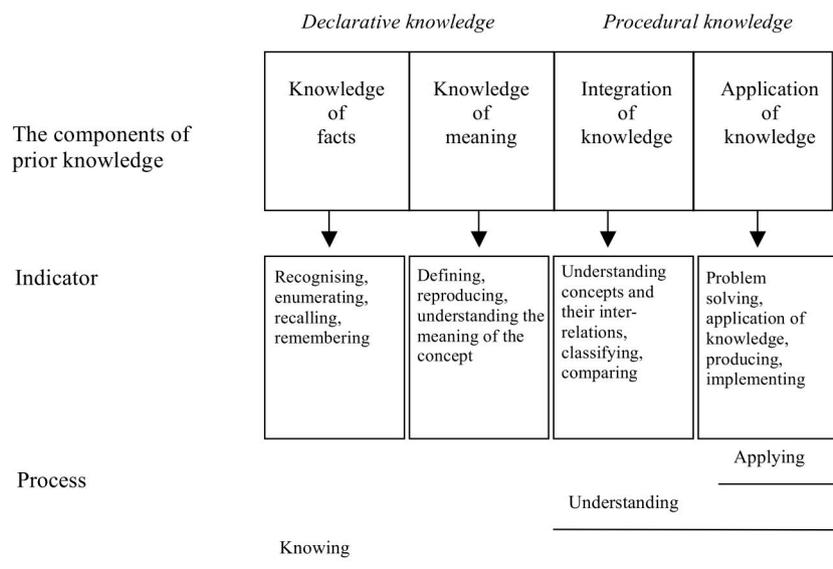


Abb. 2.3. Modell des Vorwissens (Hailikari et al., 2007, S.324)

Als weitere Differenzierung unterscheiden Hailikari et al. (2007) das prozedurale Wissen in *integration of knowledge* und *application of knowledge*. Die Unterscheidung der kognitiven Prozesse, die ebenfalls Teil des Modells sind, zeigt, dass die Integration des Wissens ein Prozess ist, der das Verstehen der lernenden Person beeinflusst, aber noch nicht direkt beobachtbar ist. Dieser Aspekt lässt sich mit der Wissensstruktur bei de Jong und Ferguson-Hessler (1996) vergleichen. Die Anwendung des Wissens, welche sich beim Problemlösen selbst zeigt, stellt einen eigenen Teil des prozeduralen Wissens dar (vgl. Abb. 2.3). Dabei gilt zu beachten, dass das Modell die Struktur dieser Wissensarten

darstellt, jedoch nicht zwingend die Entwicklung des Wissens beschreibt (vgl. Binder, Sandmann et al., 2019). In der weiteren Arbeit werden die auftretenden Wissensarten je nach theoretischer Grundlage in Bezug zu einem oder beiden der vorgestellten Modelle gesetzt.

2.4.2. Wissensschemata

Schemata sind zentrale Voraussetzung, Mittel und Ziel des Wissenserwerbs. (Kopp & Mandl, 2006, S.127)

Der Begriff des Schemas beschreibt kognitive Strukturen, welche im Rahmen des Wissenserwerbs und der Beschreibung von Gedächtnisstrukturen von Bedeutung sind (vgl. Kopp & Mandl, 2006). Der Begriff wird zunächst allgemein definiert und im Weiteren werden die Spezialfälle des Wissensschemas und Problemschemas erläutert.

Der Schemabegriff wird von Zoelch, Berner und Thomas (2019) als eine Form der Wissensrepräsentation im Langzeitgedächtnis eingeführt. Ein Schema umfasst danach „kategoriale Informationen über spezifische, häufig auftretende Situationen in abstrahierter Weise“ (Zoelch et al., 2019, S. 33). Es kann danach als Struktur verstanden werden, welche sich durch eine Sammlung von Relationen und Leerstellen auszeichnet, die als Vorlage für ähnliche Schemata angesehen werden kann (vgl. ebd.). Rumelhart (1980) spricht von diesen Leerstellen als Variablen, die mit den zugehörigen Relationen das Schema eines Konzepts darstellen. Als Analogie führt er das Skript eines Theaterstücks an, bei der jede Rolle (Variable) eine vorgeschriebene Bedeutung hat, sodass unabhängig von der Person (Ausprägung der Variable) immer die Natur des Stücks (Schemas) erhalten bleibt. Die gespeicherten Variablen beinhalten demnach immer eine Information über ihre Funktion und die Vernetzung innerhalb des Schemas, sowie über die Art von Informationen, die sich für diese Variablen eignen, ohne zwingend eine konkrete Ausprägung zu beinhalten. Rumelhart (1980) führt weiter aus, dass wir das Konzept des Kaufens beispielsweise einschränken können, da die Variablen des Käufers bzw. Verkäufers nur durch Menschen erfüllt werden, während die Variable des Geldes durch Wertgegenstände oder andere Währungen erfüllt werden kann. Diese Eigenschaften werden als Variablenbeschränkungen bezeichnet (vgl. ebd.). Wenn wir eine Situation oder ein Konzept als ein bestehendes Schema identifizieren, entstehen Assoziationen zu den einzelnen Variablen, die einen Abgleich mit einem Grundverständnis des Schemas ermöglichen, welches im Sinne eines Prototyps vorliegt (vgl. ebd.). Es können jedoch beliebig viele Variationen dieses Prototyps als Beispiel des betreffenden Schemas vorliegen (vgl. ebd.).

Auch Zoelch et al. (2019) führen ein Beispiel zur Illustration dieser Leerstellen an, indem sie den Begriff des „Vogels“ als Schema beschreiben. Danach können beispielsweise Erscheinungsbild, Fähigkeiten und Lebensraum als zugehörige Leerstellen verknüpft werden.

Diese werden entsprechend des spezifischen Beispiels dieses Schemas (z. B. „Amsel“) mit verschiedenen Ausprägungen dieser Leerstellen belegt. Zoelch et al. (2019) führen weiter aus, dass je nach Schema diese Stellen auch teilweise mit Standardwerten belegt sind, die für eine Reihe von Beispielen als zutreffend gelten und im Falle einer Ausnahme von dieser überschrieben würden. Als passende Standardbelegung nennen sie beispielsweise die Fähigkeit von Vögeln zu fliegen, welche in der Regel zutreffend ist. Aufgrund dieser Struktur ermöglichen Schemata Vorhersagen zu treffen, selbst wenn Teile der Informationen fehlen. Sie setzen neu gewonnene Informationen in einen vorstrukturierten Kontext, der dabei dynamisch ist um anhand neuer Informationen angepasst zu werden. Somit können auch anhand einzelner Teilinformationen oftmals Vorhersagen getroffen werden, welches Schema einen passenden Kontext darstellt und welche anderen Ableitungen anhand der Struktur des bekannten Schemas über die vorliegende Informationslage getroffen werden können.

Die Anwendung der Schemata beruht nach Rumelhart (1980) auf ihrer abstrakten Eigenschaft. Dabei werden die vorliegenden Informationen durch den Vergleich mit bestehenden Schemata eingeordnet. Wenn Teilaspekte dieser Informationen nicht zu einem sonst adäquaten Schema passen, kann dieses entweder durch die neuen Informationen erweitert werden und als Abwandlung dessen verstanden oder es wird verworfen und ein neues Schema muss gefunden oder gebildet werden (ebd.).

Kopp und Mandl (2006) betonen außerdem explizit die Rolle von Wissensschemata für den Wissenserwerb und beschreiben dabei zwei zentrale Funktionen. Zum einen führen sie die Lenkung der Wahrnehmung und Aufmerksamkeit an, sodass die Aktivierung von Schemata die kognitive Verarbeitung von Informationen überhaupt erst sinnvoll ermöglichen. Dies gelingt durch Kontextinformationen, die eine Interpretation der vorliegenden Informationen somit bestimmen. Zum anderen nennen sie die Integration und Erinnerung von Wissen anhand von Schemata, da gezeigt werden konnte, dass das Wissen, welches in diesen Strukturen gespeichert wurde besser gespeichert und wiedergegeben werden kann, als solches, das in Form einzelner Informationen vorliegt. Die Aneignung neuer Schemata erfolgt entweder durch Umstrukturierung eines bestehenden Schemas oder durch Schemainduktion, bei der anhand einer wiederholt auftretenden, bedeutungsvollen Konfiguration ein entsprechendes Schema angelegt wird (vgl. ebd.).

Diese Funktion zeigt den herausragenden Nutzen von Schemata für den Problemlöseprozess. Das Ausbilden von Schemata anhand bereits bewältigter Probleme, ermöglicht einen sehr strukturierten Ansatz bei der Auseinandersetzung mit neuen Problemen (vgl. Friege, 2001). Woitkowski (2020a) gibt an, dass Problemschemata demnach Informationen über einen ausreichend spezifischen Lösungsansatz beinhalten müssen, sowie prozedurales Wissen darüber, in welchen Fällen der Lösungsansatz als adäquat einzuschätzen ist. Es werden somit Problemklassen gebildet, die anhand vergleichbarer Problemsituationen und

-lösungen kategorisiert werden (vgl. ebd.). Die Ausbildung der Problemschemata wird daher bisher auf eine ausreichende Anzahl bekannter Beispielprobleme zurückgeführt (vgl. Abb. 2.4). So können Strukturen zu Problemen und ihren zugehörigen Lösungswegen

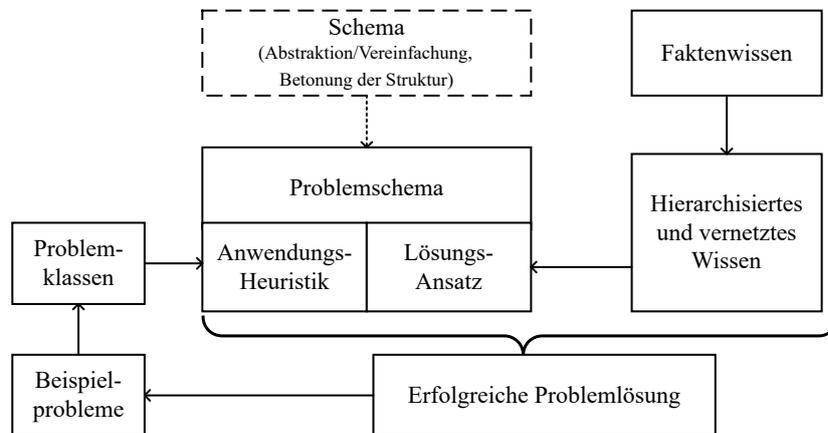


Abb. 2.4. Genese von Problemschemata (Woitkowski, 2020a, S.374)

konstruiert werden und ermöglichen bei vergleichbaren neuen Problemen Informationen über eine Lösungsstruktur, die übertragen werden kann, ohne mühsam einzelne Informationen in eine Strategie zu übertragen (vgl. Friege, 2001). Diese besondere Spezifikation des Wissensschemas wird als Problemlöseschema bzw. Problemschema beschrieben (z. B. Kopp & Mandl, 2006; Friege, 2001). Aufgrund der Festlegung auf das Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001), wird hier der darin verwendete Begriff des Problemschemas weiter genutzt.

Die Bedeutung von Problemschemata im Rahmen des Problemlöseprozesses kann somit durch eine überlegene Wissensorganisation und Zugänglichkeit dieser Information erklärt werden, deren positive Effekte weiter im Rahmen des Expert:innen-Noviz:innen-Vergleich (s. Abschnitt 3.1) und der Erwerbstheorien von Expertise diskutiert werden (s. Abschnitt 3.2). Als weiterer Nutzen von Problemschemata ist die Übertragung bekannter Muster auf neue, vergleichbare Situationen zu nennen (vgl. Kopp & Mandl, 2006). Diese Transfer stellt ein kritisches Element des Problemlösens dar und wird daher im nächsten Abschnitt weiter diskutiert.

2.5. Wissenszentriertes Problemlösen nach Friege

Nachdem das Problemlösen sowohl im Allgemeinen, aber auch im Besonderen durch seinen Zusammenhang mit dem Wissen beschrieben wurde, wird nun der Prozess des Problemlösens näher dargestellt. Durch die Festlegung der Arbeit auf das wissenszentrierte Problemlösen in der Physik wird nachfolgend das Modell von Friege (2001) zugrunde

gelegt. Von einer Darstellung der klassischen, vorausgehenden Modelle wie von Dewey (1933), Polya (1945), Fritz und Funke (2002) oder auch der OECD (2003) wird an dieser Stelle abgesehen. Diese können alternativ bei Friege (2001) selbst oder beispielsweise bei Brandenburger (2017) nachvollzogen werden.

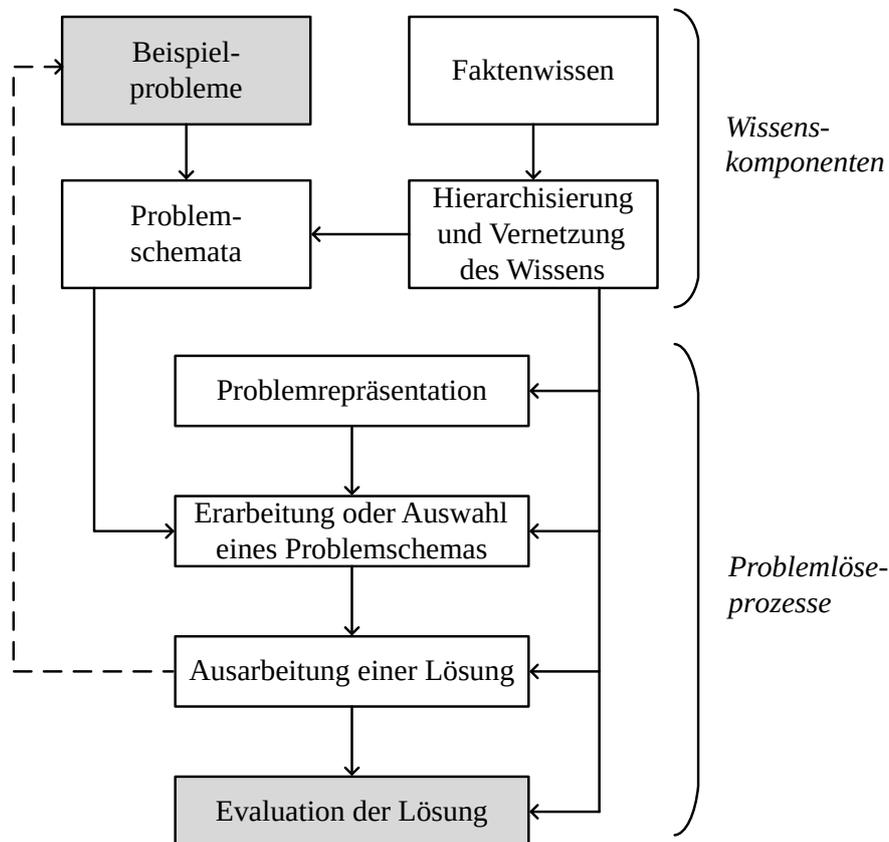


Abb. 2.5. Modell des wissenszentrierten Problemlösens in der Physik (Friege, 2001, S.76)

Das Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001) berücksichtigt explizit den Einfluss von Wissenselementen und Problemschemata auf den gesamten Problemlöseprozess. Dieser ist in vier aufeinander aufbauende Phasen eingeteilt: *Problemrepräsentation*, *Erarbeitung oder Auswahl eines Problemschemas*, *Ausarbeitung einer Lösung* und *Evaluation der Lösung* (s. Abbildung 2.5). Nachfolgend wird die Bedeutung der Wissenskomponenten und der Problemschemata näher ausgeführt und die Problemlösephasen werden einzeln vorgestellt.

2.5.1. Wissenskomponenten

Aufgrund der Ausrichtung auf wissenszentrierte Probleme verdeutlicht Friege (2001) in seinem Modell die Zusammenhänge der zugrundeliegenden Wissenskomponenten, sowie deren Zusammenhang mit den einzelnen Problemlösephasen. In der Darstellung seines

Modells nennt er dazu vier Wissenskomponenten explizit:

- Faktenwissen
- Hierarchisierung und Vernetzung des Wissens
- Wissen über Beispielaufgaben
- Wissen von Problemschemata

Die Bedeutung des Faktenwissens entspricht nach Friege (2001) domänenspezifischem, deklarativem Wissen über einzelne Objekte oder Ideen. Im Modell von Hailikari et al. (2007) kann es ebenfalls als *knowledge of facts* wiedergefunden werden, sodass es nach de Jong und Ferguson-Hessler (1996) als konzeptuelles Wissen mit einem oberflächlichen Wissensstand und einer geringen Wissensstruktur interpretiert werden kann. Die Hierarchisierung und Vernetzung des Wissens in Frieges Modell kann mit der Wissenseseigenschaft der Wissensstruktur nach de Jong und Ferguson-Hessler (1996) verglichen werden. So kann Faktenwissen, welches in Frieges Modell als hierarchisiert und vernetzt beschrieben wird, als konzeptuelles Wissen mit einer hohen Wissensstruktur bei de Jong und Ferguson-Hessler (1996) angesehen werden. Bei Hailikari et al. (2007) kann diese Stufe entweder dem *knowledge of meaning* entsprechen, welches noch dem deklarativen Wissen zugeordnet wird, oder bereits der *integration of knowledge*, welches als prozedurales Wissen gilt, das sich im Verstehen der Beziehungen von Konzepten zeigt. Die Stufe der *application of knowledge* bei Hailikari et al. (2007), die ebenfalls Teil des prozeduralen Wissens ist, findet sich bei Friege nicht im Bereich der Wissenskomponenten, sondern könnte mit den vier Stufen des Problemlöseprozesses verglichen werden, in denen die Anwendung des Wissens durchgeführt wird. Das Wissen über Beispielprobleme kann je nach Ausprägung alle Wissenstypen nach de Jong und Ferguson-Hessler (1996) in verschiedenen Ausprägungen der Eigenschaften beinhalten. Die Ausprägung der Wissenseseigenschaften kann als Übergang von Beispielproblemen zu Problemschemata interpretiert werden. Diese beinhalten ebenfalls die verschiedenen Wissenstypen und verfügen mindestens für die Wissensstruktur, Automatisierung und Generalisierung des Wissens über eine stärkere Ausprägung der Eigenschaften. Insgesamt werden mit dem Faktenwissen und dessen Hierarchisierung und Vernetzung domänenspezifische Wissenseselemente dargestellt, die sowohl Einzelinformationen als auch konzeptuelle Verknüpfungen beinhalten (vgl. Friege, 2001). Die Wissenskomponenten über Beispielaufgaben und Problemschemata sind hingegen problemspezifisch und somit stärker von der Erfahrung abhängig (vgl. ebd.). Dies lässt sich durch den Rückbezug vom Ausarbeiten einer Lösung zu dem Wissen über Beispielprobleme erkennen. Sowohl die domänenspezifischen als auch problemspezifischen Wissenskomponenten zeigen dabei eine Hervorhebung der Bedeutung der Struktur des zugrundeliegenden Wissens.

2.5.2. Problemschemata

Die Bedeutung der Problemschemata für das wissenszentrierte Problemlösen wird in Friege's Modell (2001) durch die verschiedenen Verbindungen, sowohl innerhalb der Wissenskomponenten als auch zum Problemlöseprozess verdeutlicht. Friege (2001, S. 63) definiert sie als kognitive Strukturen, „die sowohl Informationen über die entsprechende Problemklasse als auch über die prinzipielle Lösung enthalten.“. Der Begriff der Problemschemata wird als eine Spezifikation der bereits eingeführten Wissensschemata verstanden (s. Abschnitt 2.4.2). Sie stellen eine Verknüpfung zwischen den domänenspezifischen Wissenskomponenten und den problemspezifischen Wissenskomponenten dar. So zeigt das Modell sowohl einen Einfluss durch die Hierarchisierung und Vernetzung des domänenspezifischen Wissens, als auch durch das Wissen über Beispielprobleme (vgl. Friege, 2001). Letzteres entsteht also erst durch das Problemlösen selbst und wird als Rückkopplung von der Ausarbeitung einer Lösung dargestellt (vgl. ebd.). Dieses Wissen kann dann in Form der abstrahierten Problemschemata wiederum erneut zur Erarbeitung eines Problemschemas genutzt werden (vgl. ebd.). Die Verwendung der Problemschemata verdeutlicht daher einen zentralen Vorteil von Expert:innen für den Lösungsprozess, der die Relevanz des Erfahrungsvorsprungs in der betreffenden Domäne aufzeigt:

Derartige Problemschemata machen die Routine des Experten aus: verfügt er über ein passendes Problemschema, so ist er in der Lage, direkt nach der Repräsentation des Problems zu entscheiden, ob das vorliegende Problem zu der Klasse der Probleme gehört, auf die das Problemschema anwendbar ist und kann dieses dann zur Entwicklung des Lösungsansatzes heranziehen. (Friege, 2001, S. 63)

Die Verwendung der Problemschemata in nachfolgenden Problemlöseprozessen, verlangt demnach die Fähigkeit die vorliegenden Probleme entsprechend klassifizieren zu können, um die zur Verfügung stehenden Problemschemata auf ihre Eignung zu überprüfen und gegebenenfalls anzuwenden. Der Entwicklungsprozess entsprechender Schemata kann nur sehr abstrakt beschrieben werden, da auch die genaue Ausdifferenzierung abhängig vom jeweiligen Expertisegrad der Person ist (vgl. Abschnitt 2.4.2)).

Auch wenn das Konzept der Problemschemata in der Expertiseforschung breite Verwendung findet (z. B. VanLehn, 1996; Reinhold, Lind & Friege, 1999; Woitkowski, 2020a), so gibt es dennoch nur wenige ausformulierte Ansätze, die als Problemschema der Physik eingestuft werden können. Zur Einschätzung des abstrakten Begriffs werden daher kurz einige Beispiele genannt.

In einer Studie von Savelsbergh, de Jong und Ferguson-Hessler (1997) wurden Problemschemata aus dem Bereich der Elektrodynamik untersucht:

- Gauß'sches Gesetz
- Coulomb'sches Gesetz/Superposition
- Methode der Spiegelladungen
- Dipolnäherung in der Elektrizitätslehre
- Induktion/ Fluss
- Biot-Savart'sches Gesetz

Es lässt sich jedoch erkennen, dass die Einstufungen dabei auf einer recht allgemeinen Einteilung beruhen (vgl. Friege, 2001), die der Idee der Orientierung an spezifischen Problemklassen nur bedingt gerecht werden. Häufiger wurden in der Physik jedoch Problemschemata der Mechanik betrachtet, die auch in der vorliegenden Arbeit dargestellt werden. Bisher formulierten Chi et al. (1981) und darauf aufbauenden Arbeiten wie Brandenburger (2017) und Woitkowski (2021a) klassischerweise folgende Problemschemata:

- Überlagerung von Bewegungen/Kinematik
- Kraftansatz
- Energieansatz
- Impulsansatz

Es wird jedoch deutlich, dass für die Erfüllung des zuvor beschriebenen Zwecks der Problemschemata eine weitere Ausdifferenzierung sinnvoll ist, um spezifischere Zuordnungen zu Problemklassen zuzulassen. Der vorgestellte Abstraktionsgrad lässt daher vermuten, dass weitere Subschemata notwendig sind, um in der Praxis Anwendung zu finden. Dazu werden entsprechend konkrete Informationen zu den zugehörigen charakteristischen Aufgabenmerkmalen und physikalischen Merkmalen der Problemsituation sowie der Gestaltung der Lösung benötigt.

2.5.3. Problemrepräsentation

Die erste Phase der Problemrepräsentation stellt die am meisten beforschte Phase des Problemlöseprozesses dar (z. B. Savelsbergh, 1998; Larkin, 1983), da sie zugleich die herausforderndste Phase ist (z. B. Woitkowski (2021a); s. auch Abschnitt 3.1.3 und 5.1). Da klassische Physikaufgaben oft nicht physikalisch formuliert sind, ist das Ziel dieser Phase das physikalische Problem der Problemsituation zu erkennen und relevante Informationen in Fachtermini zu übersetzen (vgl. Friege, 2001). Savelsbergh (1998) gibt drei unterschiedliche Funktionen dieser Phase an, die dieses Ziel näher spezifizieren:

- Steuerung der Interpretation neuer Informationen
- Grundlage für qualitatives Problemlösen
- Steuerung der Wahl der Lösungsmethode

Die erste Funktion beschreibt sowohl die Verarbeitung der sprachlichen als auch physikalischen Elemente der Problemsituation (vgl. Savelsbergh, 1998). Dieser Aspekt entspricht im weitesten Sinne dem Textverständnis der Aufgabenstellung. Die beiden weiteren Funktionen nach Savelsbergh (1998) verdeutlichen die Relevanz für den weiteren Problemlöseprozess. Dies zeigt sich bei Friege (2001) durch den Bezug zur nachfolgenden Phase der Auswahl bzw. Erarbeitung eines Problemschemas. Diese Einschätzung wird durch die Arbeiten von Chi et al. (1981) gestützt, die zeigen konnten, dass Noviz:innen dazu neigen, sich von Oberflächenmerkmalen eines Problems ablenken zu lassen, während Expert:innen sich primär auf die Tiefenstruktur von Problemen fokussieren (vgl. Abschnitt 3.1). Bei der Problemrepräsentation wird für die Neuinterpretation einer kontextualisierten Aufgabenstellung im Sinne einer physikalischen Repräsentation eben dieser Fokus benötigt, sodass sich die beobachteten Unterschiede erklären lassen. Zur Veranschaulichung wird ein einfaches Beispiel anhand der Aufgabe in Abbildung 2.6 für die einzelnen Phasen diskutiert.

Junge Familie

Eine junge Familie (Vater, Mutter, Baby im Wagen) macht einen langen Spaziergang. Auf dem Rückweg bekommt das Baby 1500m vor dem Haus der Familie Hunger und ist nur durch ein Fläschchen zu beruhigen. Der Vater sprintet mit einer konstanten Geschwindigkeit von $11 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ los, schnappt sich zu Hause ohne Pause das bereit stehende Fläschchen und rennt mit der gleichen Geschwindigkeit zurück. Die Mutter ist währenddessen mit dem Baby mit konstant $5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ weitergelaufen.

- a) Berechnen Sie die Zeit, die das Baby schreit bis es etwas zu trinken bekommt.
- b) Zeichnen Sie ein Ort-Zeit-Diagramm für die Bewegung von Mutter und Vater und lösen Sie die Aufgabe zeichnerisch.

Abb. 2.6. Beispiel einer klassischen Physikaufgabe angelehnt an
(Gleichmann & Beuche, o. J.)

Dabei soll die Problemrepräsentation von den oberflächlichen Merkmalen der Familie und des Spaziergangs wegführen und sich auf die hier physikalisch relevanten Termini der gleichförmigen Bewegung und des Bezugssystems beziehen. Diese Problemrepräsentation wird in der Kognitionspsychologie auch als mentales Modell bzw. Schema¹ aufgefasst (vgl. Friege, 2001). Diese Phase wird von Expert:innen deutlich intensiver und zeitaufwändiger bearbeitet als von Noviz:innen (vgl. Chi et al., 1981). Letztere nehmen lediglich eine Unterscheidung zwischen gegebenen und gesuchten Größen vor und gehen danach schnell zur Planung der Lösungsschritte über (Larkin & Reif, 1979).

¹Eine nähere Diskussion der Unterscheidung der beiden Begriffe in diesem Kontext findet sich bei Savelsbergh (1998).

2.5.4. Erarbeitung und Auswahl eines Problemschemas

In der zweiten Phase der Erarbeitung bzw. Auswahl eines Problemschemas liegt neben der Problemrepräsentation der größte Unterschied zwischen Noviz:innen und Expert:innen. Diese beiden Phasen hängen aufgrund der jeweiligen Abhängigkeit vorliegender Schemata besonders stark zusammen und können bei Expert:innen teilweise nicht voneinander getrennt werden (vgl. Friege, 2001). So zeigt bereits die Benennung des Schrittes, dass eine grundlegende Unterscheidung darin liegt, ob ein entsprechendes Problemschema bereits vorliegt und lediglich ausgewählt werden muss oder ob es noch neu gebildet werden muss. Friege (2001) verweist darauf, dass in dieser Phase sowohl Expert:innen als auch Noviz:innen auf Erfahrungen mit Beispielp Problemen zurückgreifen, sie jedoch nur bei Expert:innen in Form abstrahierter kognitiver Strukturen vorliegen. Für Noviz:innen, die diese Strukturen noch ausbilden müssen, besteht die Erarbeitung eines solchen Problemschemas daher in der Verwendung bekannten Faktenwissens oder auch strukturellen Wissens und der Verknüpfung von Wissens Elementen (vgl. ebd.). An dieser Stelle liegt jedoch noch kein bekannter Bezug zum vorliegenden Problem vor. Die Beziehung zwischen den Wissens Elementen muss bereits bekannt sein oder erarbeitet werden. Das Ergebnis dieser Phase ist ein spezifischer Lösungsansatz für das gegebene Problem (vgl. ebd.). Im Bezug auf das zuvor dargestellte Beispielp Problem (s. Abb. 2.6) könnte als passendes Problemschema beispielsweise „*Schnittpunkt zweier gleichförmiger Bewegungen*“ genannt werden. Dieses Problemschema beinhaltet dabei einerseits Informationen über die Problemsituation als auch über die Vorgehensweise zur Lösung des Problems, welche in einer konkreten Gleichung als Lösungsansatz mündet. Aus diesem Grund wird der Begriff des Lösungsansatzes im Weiteren als spezifische Anpassung eines Problemschemas an ein vorgegebenes Problem verstanden.

2.5.5. Ausarbeitung einer Lösung

Die tatsächliche Ausarbeitung einer Lösung konzentriert sich bei den betrachteten Problemen in der Regel auf den mathematischen Teil des Lösungsprozesses. Diese Phase baut nach Friege (2001) strikt auf dem zuvor ausgewählten bzw. erarbeiteten Problemschema auf, welches genutzt wird, um den Lösungsansatz weiter auszuarbeiten. Die Ausführung wird in der Regel anhand mathematischer Umformungen weiterverfolgt bis ein Ergebnis erzielt wird. Neben den mathematischen Regeln müssen hier normalerweise aus physikalischer Perspektive vor allem Fragen der Einheiten oder Dimensionen berücksichtigt werden (vgl. ebenfalls Abschnitt 2.5.6).

Friege (2001) führt dazu aus, dass eine erneute Bearbeitung der ersten beiden Phasen erfolgen kann, sofern der Problemlöserin bzw. dem Problemlöser während der Lösung Schwierigkeiten bei der Ausarbeitung des gewählten Ansatzes hat. Bei fehlenden ma-

thematischen Kenntnissen, kann ggf. auch keine vollständige Lösung erstellt werden. Außerdem nennt er die Möglichkeit eines ungeeigneten Lösungsansatzes oder der falschen Ausführung eines solchen, sodass unter Umständen ein falsches Ergebnis erzeugt wird. Bezogen auf das eingeführte Beispiel (s. Abb. 2.6) wird demnach anhand der Bewegungsgleichungen beider Personen ein Treffzeitpunkt, sowie eine Treffpunkt bestimmt (s. Abb. 2.7).

Ausarbeitung der Lösung

Bewegungsgleichungen für Mutter und Vater:

$$s_V(t) = v_V \cdot t$$

$$s_M(t) = v_M \cdot t$$

Beide legen dabei gemeinsam die doppelte Distanz zwischen Anfangspunkt und Haus zurück:

$$\Delta s = 2 \cdot s_{\text{Haus}} = s_V(t_{\text{Treff}}) + s_M(t_{\text{Treff}})$$

$$\Delta s = 2 \cdot s_{\text{Haus}} = v_V \cdot t_{\text{Treff}} + v_M \cdot t_{\text{Treff}} = (v_V + v_M) \cdot t_{\text{Treff}}$$

$$t_{\text{Treff}} = \frac{2 \cdot s_{\text{Haus}}}{(v_V + v_M)} = \frac{2 \cdot 1,5 \text{ km}}{(11 \frac{\text{km}}{\text{h}} + 5 \frac{\text{km}}{\text{h}})} = \frac{3 \text{ km}}{16 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,1875 \text{ h} \approx 11,25 \text{ min}$$

Abb. 2.7. Mögliche Lösungsausarbeitung anhand der Beispielaufgabe aus Abb. 2.6

2.5.6. Evaluation der Lösung

Die Evaluation stellt die am wenigsten beachtete Phase des Problemlöseprozesses dar, da sie in der Regel von der Problemlöserin bzw. dem Problemlöser gar nicht ausgeübt wird (vgl. Woitkowski, 2021b). Dabei kann die Evaluation einer Lösung je nach zugrundeliegendem Problem sehr unterschiedlich ausfallen. Friege (2001, S.67) fasst den Begriff daher sehr allgemein:

Unter Evaluation sollen hier alle vom potentiellen Problemlöser eigenständig vorgenommenen Versuche subsumiert werden, die die beschriebenen Problemlöseprozesse auf ihre Richtigkeit überprüfen und so zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit führen, dass die vom Problemlöser generierte Lösung richtig ist.

Er weist dabei darauf hin, dass eine entsprechende Evaluation nicht bloß am Ende des Lösungsprozesses, sondern zu jeglichem Zeitpunkt des Prozesses vorgenommen werden kann (vgl. ebd.). Als konkrete Möglichkeiten der Evaluation nennt er folgende Aspekte (vgl. ebd.):

1. Überprüfen der Einheit
2. Überprüfung der Größenordnung
3. Vergleich mit bekannten Fakten
4. Grenzfallbetrachtungen
5. Symmetrieüberlegungen
6. Verletzung von Erhaltungssätzen
7. Überprüfen der Mächtigkeit der Lösungsmenge

Die aufgeführten Beispiele zeigen dabei, dass die verschiedenen Evaluationsformen nicht immer überschneidungsfrei und häufig auch sehr anspruchsvoll sind. So bewertet Friege (2001) entsprechende Extremfälle sogar als eigenständige wissenszentrierte Probleme. Bezogen auf das dargestellte Beispiel können hier primär die ersten beiden Evaluationsaspekte berücksichtigt werden (s. Abb 2.8).

Evaluation der Lösung

- Überprüfen der Einheit:

Das Ergebnis wird in Stunden bzw. Minuten angegeben. Dies ist für die Berechnung eines Zeitpunkts sinnvoll bezüglich der physikalischen Dimension. Die Angabe in Stunden passt zudem zur verwendeten Einheit der Geschwindigkeit in Kilometern pro Stunde.

- Überprüfen der Größenordnung:

Zunächst kann die Größenordnung mit alltäglichen Erfahrungen abgeglichen werden. Die vom Vater zurückgelegte Strecke muss zwischen 1,5 km und 3 km liegen. Die Größenordnung von etwas über 10 Minuten scheint dafür angemessen.

Außerdem lässt sich die Größenordnung durch eine Überschlagsrechnung eingrenzen. Für den gesamten Hin- und Rückweg ohne entgegenkommen der Mutter würde der Vater $t_{\text{ges,V}} = \frac{s_{\text{Hin+Rück}}}{v_V} = \frac{2 \cdot 1,5 \text{ km}}{11 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0,27 \text{ h} \approx 16,4 \text{ min}$ benötigen. Die berechnete Lösung von $t_{\text{Treff}} = 0,1875 \text{ h} \approx 11,25 \text{ min}$ kann daher als sinnvolle Größenordnung eingeschätzt werden.

Abb. 2.8. Mögliche Evaluation der Lösung anhand der Beispielaufgabe aus Abb. 2.6

2.6. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde der Begriff der Expertise als zentraler Begriff der Arbeit eingeführt und von verwandten Begriffen abgegrenzt. Zu diesem Zweck wurden zunächst die nominale, performanzbezogene und prozessbezogene Verwendung des Begriffs vorgestellt (vgl. Abschnitt 2.1.1 bis 2.1.3). Anhand einer Diskussion dieser Aspekte wurde eine Synthese formuliert, die den Expertisebegriff im Rahmen der vorliegenden Arbeit festlegt

(vgl. Abschnitt 2.1.4). Danach handelt es sich bei einer Expertin bzw. einem Experten um eine Person, die „sich in der Physik durch großen Problemlöseerfolg, Effizienz der Tätigkeit sowie eine geringe Fehlerquote auszeichnet. Demnach kann die Expertise einer Person anhand des Erfolges bei der Bearbeitung repräsentativer, wissenszentrierter Probleme bestimmt werden. Sie gilt als erlernbares Konstrukt, das wesentlich durch gezielte Übung beeinflusst werden kann.“.

Aufgrund der Überschneidungen mit den Konstrukten der Intelligenz und Begabung folgt eine Abgrenzung von diesen Begriffen (vgl. Abschnitt 2.2). Dabei werden der Erwerbsprozess (z. B. Ericsson et al., 1993) und die Domänenspezifität (z. B. Gruber et al., 2019) der Expertise als wesentliche Unterscheidungsmerkmale herausgearbeitet. Aufgrund der Ausrichtung dieser Definition werden weitere grundlegende Begriffe eingeführt.

Darunter fällt zunächst die Definition des allgemeinen Problembegriffs, der an dieser Stelle von Dörner (1987) übernommen wird. Die Abgrenzung zum Begriff der Aufgabe wird an dieser Stelle hingegen nicht gefolgt. Außerdem wird das Konzept des Problemraums nach Newell und Simon (1972) dargestellt, welches eine Verknüpfung von Problemlöseprozess und Problemmerkmalen ermöglicht. Zur besseren Einordnung des wissenszentrierten Problemlösens (Abschnitt 2.3.4) wird es an dieser Stelle von dem oftmals komplementär dargestellten Bereich des komplexen Problemlösens (Abschnitt 2.3.3) abgegrenzt. Dazu wird die Problemklassifizierung nach Jonassen (2012a) verwendet, die sich an den Dimensionen der Strukturiertheit, Komplexität und Dynamik orientiert (Abschnitt 2.3.2). Zur weiteren Beschreibung der wissenszentrierten Probleme wurde der Zusammenhang von Wissen und Problemlösen (Abschnitt 2.4) näher dargestellt, wobei sowohl eine Beschreibung verschiedener Wissensarten (Abschnitt 2.4.1) als auch der Bedeutung von Wissensschemata (Abschnitt 2.4.2) erfolgt. Das Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001) wurde daher als Grundlage für die weitere Arbeit gewählt und näher ausgeführt (Abschnitt 2.5). Dieses zeigt die Verknüpfung von bestehenden Wissenskomponenten (Abschnitt 2.5.1) und die Berücksichtigung bearbeiteter Beispielprobleme in Form abstrahierter Problemschemata (Abschnitt 2.5.2) für die nachfolgenden Problemlöseschritte. Diese beginnen mit der Problemrepräsentation (Abschnitt 2.5.3), gefolgt von der Erarbeitung bzw. Auswahl eines Problemschemas (Abschnitt 2.5.4), der Ausarbeitung einer Lösung (Abschnitt 2.5.5) sowie deren Evaluation (Abschnitt 2.5.6). Im nächsten Kapitel folgt ein Vergleich des Vorgehens von Expert:innen und Noviz:innen beim Problemlösen, sodass eine Konkretisierung der Merkmale von Expert:innen und ihrem Handeln als Zielvorstellung ermöglicht wird.

3. Merkmale von Expert:innen

3.1. Expert:innen-Noviz:innen-Vergleich

Der Vergleich zwischen Expert:innen und Noviz:innen stellt gemeinsam mit den Erwerbtheorien einen zentralen Schwerpunkt der Expertiseforschung dar (Ericsson, 2018). Gruber (1994) führt dazu drei Ziele aus, die durch dieses Format verfolgt werden:

1. Gemeinsamkeiten und Unterschiede festhalten
2. Untersuchung der Expertiseentwicklung anhand von Gruppen eines breiten Leistungsspektrums
3. Erklärungen und Merkmale von Expertise werden gesammelt

In diesem Kapitel wird ein Fokus auf den ersten Aspekt der Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Expert:innen und Noviz:innen gelegt. Es wird dabei zunächst die Beschreibung unterschiedlicher Merkmale verfolgt. Im Kontext der Arbeit soll damit einerseits verdeutlicht werden, welches Verhalten von Noviz:innen erwartet werden kann und welchen Herausforderungen sie sich beim Problemlösen stellen müssen und andererseits soll aufgezeigt werden, welches Verhalten als wünschenswert angestrebt wird. Dieses Verständnis soll als Grundlage dienen, um das in dieser Arbeit vorgestellte Lehrkonzept auf die Merkmale des Expert:innenhandelns ausrichten zu können. Diese Aspekte werden daher später im Sinne der Lernvoraussetzungen und Lernziele des entwickelten Lehrkonzepts berücksichtigt. Für diese Gegenüberstellungen wurden die Aspekte der Wissensarten, Gedächtnisleistung, Problemlösestrategien und Problemrepräsentation der Expert:innen und Noviz:innen als wesentlich identifiziert und werden nachfolgend beschrieben. Die dabei aufgezeigten Stärken der Expert:innen werden im nächsten Abschnitt zum Expertiseerwerb weiter vertieft, indem jeweils Erklärungsansätze für das beobachtete Verhalten angeboten werden (vgl. Abb. 3.1).

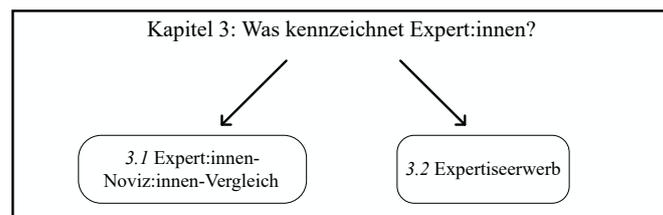


Abb. 3.1. Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge in Kapitel 3

3.1.1. Gedächtnisleistung

Considerable research had identified two qualitatively distinct ways to process information. Automatic processing is fast, effortless, not limited by working memory capacity, and developed with extensive practice; in contrast, controlled processing is relatively slow, mentally demanding, and highly dependent on working memory capacity. (Moreno & Park, 2010, S. 14)

Ein zentraler Unterschied zwischen Expert:innen und Noviz:innen zeigt sich in der Wissensorganisation, der sich durch den Zugriff und die Nutzung des Gedächtnisses beobachten lässt (z. B. Gruber et al., 2019). Für eine adäquate Einschätzung dieser Unterschiede werden daher grundlegende Terminologien der Gedächtnispsychologie eingeführt. So wird unter dem Gedächtnis nicht bloß ein passiver Wissensspeicher verstanden, sondern „ein aktives, dynamisches und veränderbares Informationsverarbeitungssystem [...], das Informationen aufnimmt, speichert und abrufen“ (Zimbardo et al. nach Zoelch et al. (2019, S. 25)).

Zoelch et al. (2019) unterscheiden zwischen Enkodierung, Speicherung und Abrufen als wesentliche Prozesse des Gedächtnisses. Die Enkodierung beschreibt danach die Entschlüsselung der Informationen, sodass sie in das Gedächtnis überführt werden können. Die Speicherung ermöglicht das (langfristige) Erhalten dieser Informationen, welches ein Abrufen zu einem späteren Zeitpunkt ermöglicht. Zudem ist eine Unterscheidung der Art des Gedächtnisses üblich, abhängig davon, welche Art von Informationen gespeichert werden (z. B. semantisches, episodisches und prozedurales Gedächtnis) und wie lange diese Informationen verarbeitet und gespeichert werden (sensorisches Gedächtnis, Arbeits- und Langzeitgedächtnis) (vgl. ebd.).

Die Bedeutung der Gedächtnisleistungen für das Konstrukt der Expertise lässt sich an einer Untersuchung von de Groot (2014) verdeutlichen. Ziel der Arbeit war ein Vergleich des strategischen Verhaltens von Schachspieler:innen verschiedener Expertisegrade. In einem seiner Experimente wurden die Versuchspersonen nach 10 bis 15 Sekunden unterbrochen und die Spielstellung durfte nicht weiter beobachtet werden. Die Expert:innen der Untersuchung waren im Anschluss in der Lage die Konfigurationen fast vollständig und damit signifikant besser als die Noviz:innen nachzubilden. Darüber hinaus konnte er ebenfalls zeigen, dass Schachexpert:innen diesen Effekt nicht reproduzieren konnten, wenn es um willkürlich aufgebaute Schachstellungen ging. Der bemerkenswerte Zugriff auf die präsentierten Informationen wird daher auf die bedeutungsverleihende Mustererkennung der Expert:innen zurückgeführt.

Ausgehend von der Annahme, dass Menschen allgemein vergleichbare kognitive Kapazitäten zur Verfügung haben (Miller, 1956), wurden daher verschiedene Theorien aufgestellt, die eine unterschiedlichen Nutzung von Wissensstrukturen bei Expert:innen beschreiben. Als erstes lässt sich die *Chunking Theorie* von Miller (1956) selbst nennen. Sie beruht auf der Idee, dass Informationen nicht mühsam einzeln gespeichert und abgerufen

werden, sondern größere Einheiten, sogenannte *chunks*, gebildet werden, die mit einer eigenen Bezeichnung abgespeichert werden. Nach Miller (1956) ist die Verarbeitung, die gleichzeitig durch das Arbeitsgedächtnis möglich ist, auf 7 ± 2 *chunks* beschränkt. Diese Größenordnung wird im Rahmen neuerer Arbeiten hinterfragt und tendenziell als noch geringer vermutet (Zoelch et al., 2019). Die meisten Theorien, die sich der Beschreibung der Gedächtnisoptimierung widmen, übernehmen oftmals den hier eingeführten Begriff der *chunks*. Miller (1956) beschreibt in seiner Theorie weiter, dass diese Informationsbündel als gesamte Einheiten abgerufen werden können. Die Annahme besteht darin, dass der Abruf der *chunks* über das Arbeitsgedächtnis weniger fordernd ist als das einzelne Abrufen der Informationen (vgl. ebd.). Dabei werden die *chunks* im Langzeitgedächtnis wieder in ihre Bestandteile übersetzt. Die Kapazitätsbeschränkungen, denen das menschliche Kurzzeitgedächtnis unterliegt, erklären an der Stelle die Überlegenheit der Expert:innenstrukturen (vgl. ebd.). So fasst Gobet (1996) zusammen, dass *chunks* den Problemlöseprozess beschleunigen können, da die Nutzung größerer Informationsmengen sowie das Erkennen von Mustern ermöglicht wird. Die überlegene Intuition von Expert:innen wird daher im Rahmen der *Chunking Theorie* durch das Wiedererkennen von Mustern erklärt.

Dieses Wiedererkennen von Mustern ist dabei expliziter Fokus der *Pattern Recognition Theorie* von Chase und Simon (1973b), die eine Erweiterung der *Chunking Theorie* darstellt. Hierzu haben Chase und Simon die Ergebnisse von de Groot (2014) weiter verfolgt und die Fähigkeit von Expert:innen und Noviz:innen, Schachkonfigurationen zu reproduzieren, untersucht. Die Evaluation des Umfangs und der Struktur der nachgebildeten Konfigurationen im Hinblick auf den Expertisegrad der Teilnehmenden führte zu der Beobachtung, dass Expert:innen über mehr und größere *chunks* verfügen als Noviz:innen (Chase & Simon, 1973b). Die bessere Rekonstruktion von Personen eines höheren Expertisegrades wird dabei auf eine überlegene Enkodierung zurückgeführt, bei der bekannte Muster in der wahrgenommenen Situation wiedergefunden werden (ebd.). Darüber hinaus lässt sich die *Skilled Memory Theorie* (Chase & Ericsson, 1982; Ericsson & Staszewski, 1989) nennen, die die Bewältigung großer Informationsmengen anhand gezielter Ausbildung von Abrufstrukturen beschreibt. Diese Abrufstrukturen müssen jedoch explizit aktiviert und ihre effektive Anwendung gelernt werden (Gobet, 1996). In der Studie von Chase und Ericsson (1982) wurde der Lernprozess einer Versuchsperson untersucht, die als Novize im Erinnern von Zahlenfolgen eingestuft wurde. Die eingesetzten Mnemotechniken zeigten, dass während der Ausführung einer Aufgabe gleichzeitig die Wissensstrukturen im semantischen Gedächtnis genutzt wurden, um Informationen zu speichern (vgl. ebd.). Auf diese Weise ließe sich die Gedächtnisleistung von Expert:innen in verschiedenen semantisch reichhaltigen Bereichen erklären (vgl. ebd.). Chase und Ericsson (1982) folgerten daher, dass die Bedeutung des Kurzzeitgedächtnisses hinterfragt

werden muss, da die Abrufstrukturen von Expert:innen nahelegen, dass die Speicher- und Abrufprozesse das Kurzzeitgedächtnis umgehen und direkt aufs Langzeitgedächtnis zugreifen. Diese Verknüpfung wird von Ericsson und Kintsch (1995) im Rahmen ihrer *Long-term working memory theory* weiter ausgeführt, indem ein kombiniertes Langzeit-Arbeitsgedächtnis in Abgrenzung vom Kurzzeit-Arbeitsgedächtnis eingeführt wird. Auf ersteres können Expert:innen unter geeigneten Voraussetzungen zugreifen und somit bestehende Begrenzungen des Kurzzeitgedächtnisses umgehen. Diese Ergebnisse werden später von Ericsson et al. (1993) erneut aufgegriffen, um die Bedeutung intensiver Übung im Rahmen des Expertiseerwerbs durch *deliberate practice* hervorzuheben (s. Abschnitt 3.2.2).

Insgesamt zielen die Theorien über Gedächtnisnutzung und Expertise darauf ab, einerseits zu beschreiben, wie das Wissen von Expert:innen organisiert ist und andererseits wie schnell auf dieses Wissen zugegriffen werden kann (vgl. Gobet, 1996). Für die Beschreibung der Gedächtnisleistung von Expert:innen lassen sich sowohl verknüpfte Informationsbündel im Sinne der beschriebenen *chunks* hervorheben (Miller, 1956), als auch die Bedeutung inhaltlicher Muster (Chase & Simon, 1973b) und trainierte Abrufstrukturen, die auf das semantische Gedächtnis zugreifen können (Chase & Ericsson, 1982).

3.1.2. Wissensarten

Considerable evidence indicates that domain specific knowledge in the form of schemas is the primary factor distinguishing experts from novices in problem solving skill. (Sweller, 1988, 257)

Neben den Wissensstrukturen von Expert:innen und Noviz:innen, lassen sich ebenfalls Unterschiede der relevanten Wissensarten für den Problemlöseprozess beobachten. Bei der Darstellung des Zusammenhangs von Wissen und Problemlösen, wurden bereits verschiedene Wissensarten eingeführt (vgl. Abschnitt 2.4.1), die im Rahmen des Modells des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (2001) in ähnlicher Form aufgegriffen wurden (vgl. Abschnitt 2.5.1). Weitere Untersuchungen von Friege und Lind (2006) haben sich der Frage nach dem Zusammenhang der Arten und Eigenschaften des Wissens mit dem Problemlösen gestellt. Hierzu legen sie das Modell von de Jong und Ferguson-Hessler (1996) zugrunde. Die Wissenstypen (*types of knowledge*) und Wissenseseigenschaften (*qualities of knowledge*) sind dabei als abhängig voneinander zu verstehen (ebd.).

Ausgehend von dieser Unterscheidung und der *ACT*-Theorie* von Anderson (1983)(weitere Ausführungen dazu in Abschnitt 3.2.1), konnten Friege und Lind (2006) drei verschiedene Wissensarten identifizieren, die für den Problemlöseprozess entscheidend sind:

- Konzeptuelles, deklaratives Wissen von Noviz:innen
- Konzeptuelles, deklaratives Wissen von Expert:innen
- Wissen über Problemschemata von Expert:innen

So zeichnet sich nach Friege und Lind (2006) das deklarative Wissen der Noviz:innen dadurch aus, dass es einen geringen hierarchischen Status hat und von oberflächlicher Natur ist. Zudem verfügt es über eine einfache innere Struktur und besteht somit aus isoliertem Wissen, dessen Abstraktionsgrad entsprechend gering ist. Für das deklarative Wissen der Expert:innen zeigen sich Unterschiede, die sich durch eine tiefere Einbettung und eine fundierte innere Struktur, die mehr Verknüpfungen beinhaltet, kennzeichnen. Der Abstraktionsgrad der Expert:innen erwies sich als deutlich höher und beinhaltete sowohl die Zusammenhänge physikalischer Größen als auch mathematische Gleichungen. Die Expert:innen der Studie verfügten außerdem über Wissens über Problemschemata, das als besonders hochrangiger Wissenstyp gilt und durch besonders starke Vernetzungen des Wissens ausgezeichnet ist. Ein Problemschema besteht nach Friege und Lind (2006) aus situationalem, prozeduralem und konzeptuellem Wissen.

Ausgehend von dieser Einteilung legen sie verschiedene Annahmen für das Wissen von Expert:innen und Noviz:innen zugrunde (vgl. ebd.). Aufgrund des isolierten und oberflächlichen deklarativen Wissens der Noviz:innen, müssen sie für jeden Schritt des Lösungsprozesses erneut nach passenden Informationen suchen und sie auf ihre Anwendbarkeit untersuchen. Expert:innen müssen bei neuen Problemen ebenfalls auf ihr deklaratives Wissen zurückgreifen. Da dieses jedoch deutlich umfangreicher und vernetzter ist, sind die Chancen einer erfolgreichen Anwendung deutlich höher. Letztlich verfügen Expert:innen über Problemschemata, die ihnen eine Zuordnung verschiedener Problemtypen erlaubt, sodass sie auf bereits bekannte Lösungsverfahren zurückgreifen können und eine deutliche schnellere und zuverlässigere Lösung erzielen. Dieser Vorteil zeigt sich jedoch nur bei Routineproblemen.

Insgesamt konnten Friege und Lind (2006) die Relevanz des Problemschemawissens und des konzeptuellen, deklarativen Wissens als Prädiktoren für den Problemlöseerfolg empirisch bestätigen, wobei eine Varianzaufklärung von 80% erreicht wurde. Die Bedeutung der Wissenseigenschaften hingegen konnte nicht näher belegt werden, da sie zwar als Prädiktoren für den Problemlöseerfolg geeignet sind, jedoch ein deutlich stärkerer Zusammenhang zu dem konzeptuellen deklarativen Wissen und dem Wissen über Problemschemata besteht, als zum Problemlöseerfolg selbst. Sie äußern daher die Vermutung, dass diese Wissenseigenschaften näher an der inneren Struktur der Disziplin orientiert sind, wie sie in Lehrbüchern zu finden ist und sich von dem strukturellen Wissen der Problemschemata unterscheidet, welches ebenfalls über situationales und prozedurales Wissen verfügt (vgl. ebd.). Es konnte zwar nicht gezeigt werden, dass die Teilnehmer:innen, die über strukturelles Wissen der Disziplin verfügen, einen hohen

Problemlöseerfolg erzielen, jedoch konnte andersherum bei einem hohen Problemlöseerfolg entsprechendes strukturelles Wissen beobachtet werden. Insgesamt zeigen Friege und Lind (2006) damit konkret die Bedeutung der verschiedenen Wissenstypen für den Problemlöseprozess in der Physik und differenzieren dabei die Ausprägungen wie sie bei Expert:innen und Noviz:innen zu beobachten sind:

It was found that conceptual declarative knowledge and problem scheme knowledge are excellent predictors of problem solving performance. However, a detailed analysis shows that the first knowledge type is more typical for low achievers (novices) in physics problem solving whereas the second type is predominately used by high achievers (experts). (Friege & Lind, 2006, S. 437).

Entsprechend dieser Ergebnisse ist insbesondere dem Wissen über Problemschemata eine große Bedeutung beizumessen. Es zeigt sich als bester Prädiktor für den Problemlöseerfolg und ist im Vergleich zum konzeptuellen, deklarativen Wissen außerdem ein Unterscheidungsmerkmal von Expert:innen und Noviz:innen, sodass es sich als wesentliches Merkmal von Expertise bestätigt.

3.1.3. Problemrepräsentation

Eine der am häufigsten zitierten Arbeiten dieses Bereichs wurde von Chi et al. (1981) veröffentlicht und umfasst vier Teilstudien, die die fundamentalen Unterschiede von Expert:innen und Noviz:innen bei der Repräsentation und Kategorisierung von Problemen aufzeigen. Zu diesem Zweck wurden Sortieraufgaben eingesetzt, wie sie in ähnlicher Form später bei Friege und Lind (2006) ebenfalls Verwendung fanden. Bei Chi et al. (1981) wurden 24 Karten mit Problemen sowohl Doktorand:innen als auch Studienanfänger:innen vorgelegt, die sie kategorisieren sollten. Dabei zeigte sich, dass Expert:innen Aufgaben anhand ihrer Tiefenstruktur zuordnen, während Noviz:innen sich an den Oberflächenmerkmalen der Aufgaben orientieren. Unter der Oberflächenstruktur fassen Chi et al. (1981) folgende Aspekte:

- Direkt benannte Objekte der Aufgabenstellung (z. B. Seil, Flugzeug)
- Direkt benannte physikalische Termini (z. B. Reibung, Massenschwerpunkt)
- Beschriebene physikalische Konfigurationen (z. B. ein Block auf einer schiefen Ebene)

Chi et al. (1981) beschreiben die Oberflächenstruktur als weniger lösungsrelevant, da oft die physikalisch relevanten Merkmale einer Aufgabe vernachlässigt werden. Die Zuordnung der Noviz:innen ließ sich durch die Benennung oberflächlicher Stichworte und visueller Gemeinsamkeiten der Aufgaben beschreiben. Demgegenüber neigten Expert:innen für die Repräsentation eines Problems dazu, die zugrundeliegenden konzeptuellen Zusammenhänge zu betrachten und im Hinblick auf einen Lösungsansatz zu sortieren. Diese

Aspekte werden auch als *Tiefenstruktur* einer Aufgabe beschrieben:

If „deep structure“ is defined as the underlying physics law applicable to a problem; then, clearly, this deep structure is the basis by which experts group the problems.“ (Chi et al., 1981, S. 125)

Chi et al. (1981) konnten in ihrer Studie darüber hinaus feststellen, dass Expert:innen bei der ersten Auseinandersetzung mit einem Problem in der Regel deutlich mehr Zeit in die Problemrepräsentation investieren als Noviz:innen (vgl. ebd.). Bei bekannten Problemen konnten sie hingegen eine deutlich schnellere Einordnung vornehmen (vgl. ebd.). Diese Beobachtung wird an verschiedenen Stellen durch die Einführung von Problemschemata als kognitive Strukturen erklärt (Hinsley, Hayes & Simon, 1977; Friege, 2001) und steht ebenfalls im Einklang mit der Mustererkennung von Expert:innen, die de Groot (2014) beobachten konnte. Diese Strukturen beinhalten dabei Informationen über bekannte Beispielprobleme, sowie deren zugrundeliegende Tiefenstruktur und die damit verbundenen Lösungsansätze (vgl. Abschnitt 2.5.2). Der Zugang zu der Tiefenstruktur als den Informationen, die konzeptuell entscheidend für das Verstehen und Lösen eines Problems sind, kann somit als einer der Hauptunterschiede zwischen Noviz:innen und Expert:innen festgehalten werden.

Für eine nähere Erklärungen dieser Differenzen können Modelle zur Beschreibung des Repräsentationsprozesses betrachtet werden. So schildern McDermott und Larkin (1978 zitiert nach (Chi et al., 1981, S. 134) vier Stufen der Repräsentation:

1. Literal representation
2. Naive representation
3. Scientific representation
4. Algebraic representation

Die Unterscheidung von Larkin (2014) hebt dabei ebenfalls die Bedeutung von mentalen Modellen bzw. Schemata hervor:

Novices use what I call a naive problem representation; it is composed of objects that exist in the real world (blocks, pulleys, springs) and developed through operators that correspond to developments that occur in real time. Such a representation is a runnable model of the real problem situation. Experts, in addition to this naive representation, are able to construct what I call a physical representation that contains fictitious, imagined entities such as forces and momenta. A representation involving these entities is developed by operators corresponding to laws of physics. Thus the expert has a second mental model of a problem situation, a model with particularly powerful attributes. (Larkin, 2014, S.75)

Chi et al. (1981) geben dieses Modell selbst als möglichen Interpretationsansatz der gefundenen Beobachtungen an. Dabei betonen sie die Relevanz der zweiten und dritten Phase. Die naive Repräsentation bezieht sich dabei auf benannte Objekte und ihre räumliche Beziehung zueinander, welche häufig durch eine Skizze dargestellt wird (Larkin, 2014). Die wissenschaftliche Repräsentation geht darüber insofern hinaus, als das nun

Idealisierungen bezüglich dieser Objekte vorgenommen werden und die physikalische Konzepte in den Vordergrund rücken, die als Grundlage der algebraischen Darstellung dienen (ebd.). So kommen Chi et al. (1981) zu dem Schluss, dass Expert:innen stärker auf der dritten Repräsentationsstufe agieren, welche zum Vergleich der einzelnen Probleme genutzt wird. Die somit benötigte Interpretation durch die Expert:innen könnte die zeitliche Differenz bei der Klassifizierung der Probleme erklären (ebd.). Noviz:innen hingegen bleiben primär bei einer naiven Repräsentationsebene und nutzen eher vereinzelt Elemente der wissenschaftlichen Repräsentation (ebd.).

Diese Unterschiede in der Problemrepräsentation führen Chi et al. (1981) ebenfalls auf die Verwendung von Problemschemata seitens der Expert:innen zurück und beschreiben die Auswirkungen für den weiteren Lösungsprozess:

Experts then base their selection of the appropriate principle on the resulting second-order, derived cues. Novices basically use the features explicitly stated in the problem. Furthermore, we presume that once the correct schema is activated, knowledge-both procedural and declarative-contained in the schema is used to further process the problem in a more or less topdown manner. (Chi et al., 1981, S.150)

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Problemrepräsentation von Expert:innen und Noviz:innen sich primär durch den Fokus auf die Tiefenstruktur oder Oberflächenstruktur der Probleme unterscheidet (vgl. Chi et al., 1981). Den Expert:innen ist daher für bekannte Probleme eine schnelle Kategorisierung möglich, die auf bestehende Problemschemata zurückgeführt wird (vgl. ebd.). Für unbekannte Probleme, bei denen Expert:innen diesen Vorteil nicht nutzen können, nehmen sie sich vergleichsweise intensiv Zeit, eine angemessene Repräsentation zu erstellen (vgl. ebd.). Die Bedeutung von Problemschemata wird daher an dieser Stelle weiter bestärkt und durch die Unterscheidung von Tiefenstruktur und Oberflächenstruktur als weiteres Expert:innenmerkmal ergänzt.

3.1.4. Problemlösestrategien

Die zuvor dargestellte Unterscheidung von Noviz:innen und Expert:innen bezüglich der verwendeten Wissensarten für den Problemlöseprozess ist eng verknüpft mit einer weiteren Unterscheidung, die das Vorgehen beim Lösen von Problemen betrifft. Während die Verwendung von Problemschemata als elementarer Vorteil von Expert:innen beim Bewältigen von Problemen betrachtet werden kann (z. B. Sweller, 1988), bleibt zu klären, welche alternativen Vorgehensweisen Noviz:innen anwenden, die aufgrund mangelnder Erfahrung und Auseinandersetzung mit der Domäne diese Schemata noch nicht ausgebildet haben.

In Anbetracht der Relevanz der Domänenspezifität werden an dieser Stelle Strategien vorgestellt, die spezifisch beim Bearbeiten von Physikaufgaben beobachtet werden kön-

nen. Dazu lassen sich die Arbeiten von Redish (z. B. Tuminaro & Redish, 2005; Redish, 2006, 2021) betrachten, der im Besonderen die Rolle der Mathematik innerhalb der Physik betont und die Herausforderungen, die sich daraus in diesem Fall für Studienanfänger:innen ergeben. Tuminaro und Redish (2005) beschreiben das Verhalten von Studienanfänger:innen anhand einer Analyse von über 60 Stunden Videomaterial, das die Studierenden beim Bearbeiten von Physikaufgaben dokumentiert. Es konnten sechs Vorgehensweisen (im Original „epistemic games“) beobachtet werden, welche hier im Sinne unzureichender Problemlösestrategien interpretiert werden (ebd.):

1. Mapping Meaning to Mathematics
2. Mapping Mathematics to Meaning
3. Physical Mechanism
4. Pictorial Analysis
5. Recursive Plug-and-Chug
6. Transliteration to Mathematics

Tuminaro und Redish (2005) führen dazu weiter aus, dass die erste Strategie *Mapping Meaning to Mathematics* zunächst eine physikalische Analyse der Situation beinhaltet, welche in einer quantitativen Lösung mündet. Dabei bedienen sich die Lernenden jedoch ihrer eigenen Auffassung der Situation und nutzen weniger grundlegende physikalische Prinzipien. Die Strategie *Mapping Mathematics to Meaning* geht genau gegenteilig von einer physikalischen Gleichung aus, die zu dem Zielkonzept passt, welche dann durch einen Kontext in Beziehung gesetzt und daraufhin evaluiert werden. Bei der Verwendung von *Physical Mechanism* werden keinerlei Gleichungen betrachtet, sodass nach der Entwicklung eines Zusammenhangs für die physikalische Situation direkt eine Evaluation folgt und der Prozess als beendet betrachtet wird. Die *Pictorial Analysis* beruht auf der eigenen Erstellung einer grafischen Repräsentation der Problemsituation. Dabei wird abhängig von der gewählten Darstellungsform das Zielkonzept identifiziert, die Repräsentation erstellt, ein Zusammenhang basierend auf den räumlichen Beziehungen der beteiligten Objekte gebildet und abschließend werden die fehlenden Größen ergänzt. Bei dem *Recursive Plug-and-Chug*-Verfahren wird zunächst die zu berechnende Zielgröße identifiziert, eine Gleichung gesucht, die diese Größe beinhaltet und überprüft, ob die anderen Größen bekannt sind. Sofern dies der Fall ist, wird die Zielgröße berechnet, ohne jedoch in irgendeiner Weise konzeptuell zu hinterfragen, ob die Gleichung physikalisch adäquat für die vorliegende Problemsituation ist. Bei der Strategie *Transliteration to Mathematics* nutzen die Lernenden Worked Examples¹, um eine Lösung zu generieren, wobei ebenfalls ein konzeptuelles Verständnis ausbleibt (ebd.). Bei dieser Strategie wird

¹Worked Examples stellen einen Aufgabentyp dar, bei dem ein gegebenes Problem bereits beispielhaft gelöst wurde und das zur Analogiebildung eingesetzt werden kann (Renkl & Atkinson, 2010). Nähere Ausführungen dazu folgen in Abschnitt 5.2.1.

daher ein sehr vereinfachter Umgang mit dem Worked Examples vorgenommen, bei dem lediglich die Zahlenwerte an den entsprechenden Stellen gegen die des aktuellen Problems getauscht werden.

Die dargestellten Strategien, die Tuminaro und Redish (2005) identifizieren konnten, zeigen hier aus einer sehr praktischen Perspektive, dass Noviz:innen beim Lösen von Physikaufgaben zwar Muster entwickeln, welche sie zur Bearbeitung der Probleme anwenden, diese jedoch kaum oder sehr oberflächlich mit der Problemsituation in Zusammenhang stehen. Besonders die weit verbreitete Methode des *Recursive Plug-and-Chug*-Verfahren zeigt hier eine Bearbeitung, die vollständig von konzeptuellen physikalischen Überlegungen gelöst ist.

Neben der Beschreibung dieser Lösungsstrategien, setzt Redish (2021) sich ebenfalls mit Ursachen auseinander, die das Lernen von Studierenden beeinflussen. So beschreibt er unter anderem Unterschiede in den Überzeugungen von Noviz:innen und Expert:innen (Redish, 2006, 2021). Da sich diese Überzeugungen auf die Problemlösestrategien der Noviz:innen auswirken, werden einerseits die betreffenden Überzeugungen und andererseits die Konsequenzen, die Redish (2021) für die Lehre ableitet, dargestellt. Ein Unterschied in der Haltung von Noviz:innen und Expert:innen zeigt sich in der Bewertung der Rolle von Berechnungen innerhalb der Physik (vgl. Redish, 2006). Danach zeigen Studierende beispielsweise das Bedürfnis - im Einklang mit bisherigem Mathematikunterricht - möglichst früh mit Zahlen statt mit Variablen zu rechnen (vgl. ebd.). Dies steht dem Vorgehen von Physiker:innen entgegen, welche die Verwendung von Variablen bevorzugen, da sie dadurch die Beziehungen der physikalischen Größen betrachten können (vgl. ebd.).

My students were seeing equations as purely calculational tools, not as ways to help them think about physics or to organize their conceptual knowledge. “ (Redish, 2021, S.3)

Diese Unterscheidung führt Redish (2021) systematisch aus, indem er die epistemischen Überzeugungen der Lernenden näher betrachtet und so die Haltung von Studienanfänger:innen gegenüber der Rolle von Mathematik in den Naturwissenschaften weiter ausschärft:

I've seen both [...] reactions from many of my students; resistance to using math to think with and yet delight when the math lets them understand something they knew but didn't understand why it was so. (Redish, 2021, S. 3)

Redish (2021) stellt zudem einen Einfluss dieser Überzeugungen auf die Problemlösestrategien der Lernenden fest. So beschreibt er, dass Überzeugungen von Lernenden beispielsweise beinhalten, dass es beim Lernen in der Physik um das Auswendiglernen von Gleichungen geht und daher das Finden von Gleichungen mit passenden Symbolen eine hilfreiche Lösungsstrategie ist. Auch ist eine Trennung der physikalischen und mathematischen Bedeutung bei Noviz:innen zu beobachten, sodass Berechnungen nicht weiter in ihrem Kontext evaluiert werden, sofern die mathematischen Lösungsschritte

richtig erscheinen. Er schließt daraus, dass die Überzeugung, dass Gleichungen vor allem Hilfsmittel zum Rechnen seien, die Lernenden derart beeinflusst, dass sie die funktionalen Zusammenhänge nicht weiter nutzen, um ihr konzeptuelles Wissen zu organisieren. Die Überzeugungen der Lernenden zeigen also unterschiedliche Vorstellungen zu den Zielen des Lernprozesses, welche somit Auswirkungen auf die Bewertung der Nützlichkeit verschiedener Lösungsstrategien haben.

Als Konsequenz formuliert Redish (2021) eine Reihe von Überzeugungen, die im Rahmen der Physiklehre erlangt werden sollten:

1. Algorithmische Transformationen sind vertrauenswürdig.
2. Physikalische Bedeutungen können mathematisch abgebildet werden.
3. Analogien sind gut, wenn die Mathematik konsistent ist.
4. Idealisierte Beispiele können zu Erkenntnissen über komplexe Zusammenhänge führen.
5. Die Konsistenz verschiedener Perspektiven ist entscheidend.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich der Problemlöseprozess von Noviz:innen nicht nur durch fehlende Wissensstrukturen kennzeichnet, sondern darüber hinaus auf Lösungsstrategien beruht, die durch die Vernachlässigung der konzeptuellen Merkmale der Problemsituationen geprägt sind. Die Überzeugungen von Noviz:innen begünstigen diese Strategien, sodass sie für das Erlangen belastbarer Lösungsstrategien berücksichtigt werden sollten.

3.2. Expertiseerwerb

Die dargestellten Unterschiede zwischen Expert:innen und Noviz:innen werden für die vorliegende Arbeit einerseits als Lernvoraussetzungen und andererseits als Lernziele bei der Planung der Lehrveranstaltung berücksichtigt. Da der eingeführte Expertisebegriff als erlernbares Konstrukt betrachtet wird (vgl. Abschnitt 2.1.3), werden zur Beantwortung dieser Frage im Weiteren verschiedene Erwerbstheorien bzw. Theorien zur Beschreibung kognitiver Strukturen vorgestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Erwerbsprozess hier grundsätzlich als langfristiger Prozess betrachtet wird. So wird für die Verwendung des Expertisebegriffs in der Regel ein Zeitraum von etwa zehn Jahren (vgl. Ericsson & Crutcher, 2014) oder 30.000 Übungsstunden (vgl. Chase & Simon, 1973a) genannt, der je nach Domäne variiert.

Nachfolgend werden zwei Erklärungsansätze des Expertiseerwerbs vorgestellt. Als erstes wird die *ACT-Theorie* von Anderson (1976) vorgestellt, welche die Bedeutung von deklarativem und prozeduralem Wissen in den Fokus stellt und anschließend folgt die Darstellung des *Deliberate Practice* nach Ericsson et al. (1993), die eine stärkere handlungsorientierte Perspektive beschreibt.

3.2.1. ACT-Theorie

Die erste Theorie, die im Kontext des Expertiseerwerbs vorgestellt wird, ist die *ACT-R-Theorie* (**adaptive control of thought**) von Anderson (1996). Aufgrund der Ausrichtung der vorliegenden Arbeit, werden an dieser Stelle nur die Grundannahmen der Theorie dargestellt, welche sich auf den Zusammenhang des deklarativen und prozeduralen Wissens beim Expertiseerwerb beziehen. Eine Differenzierung der Variationen der Theorie (z. B. *ACT-Theorie* (Anderson, 1976) oder *ACT*-Theorie* (Anderson, 1983)) wird daher an dieser Stelle vernachlässigt.

Das deklarative Wissen beschreibt Anderson (1996) als Faktenwissen, welches aus einem Netzwerk von *chunks* besteht, die bereits von Miller (1956) eingeführt wurden (s. Abschnitt 3.1.1). Dieses lässt sich nach de Jong und Ferguson-Hessler (1996) als konzeptuelles Wissen und nach Hailikari et al. (2007) als *knowledge of facts* beschreiben. Ähnlich zu Hailikari et al. (2007) führen auch Anderson und Schunn (2000) an, dass zum Prozess des Verstehens sowohl deklaratives als auch prozedurales Wissen gehören.

According to the ACT-R theory, understanding requires nothing more or less than such a set of knowledge units. Understanding of a concept results when we have enough knowledge about the concept that we can flexibly solve significant problems involving the concept. (Anderson & Schunn, 2000, S. 3)

Das prozedurale Wissen, welches sich gleichermaßen bei de Jong und Ferguson-Hessler (1996) und Hailikari et al. (2007) findet, wird von Anderson (1996) in Form von Produktionsregeln beschrieben. Diese Produktionsregeln vereinen dabei stets eine Kondition und eine Handlung, die in Form von deklarativem Wissen vorliegen. Als mögliche Formulierung einer Produktionsregel führt Anderson (1996, S. 357) für das Beispiel des schriftlichen Addierens aus:

IF the goal is to add n_1 and n_2 in a column
and $n_1 + n_2 = n_3$
THEN set as a subgoal to write n_3 in that column

Nach Anderson (1996) gehören zu Produktionsregeln immer konkrete Ziele, zu denen meistens Zwischenziele gebildet werden. Für das angegebene Beispiel des schriftlichen Addierens können beispielsweise die Additionsvorgänge der einzelnen Spalten und das Übertragen einer Zehnerpotenz als Zwischenziele gezählt werden (vgl. ebd.). Diese abstrakte und hierarchische Struktur von Zielen und Subzielen betont er als wesentliches Merkmal menschlicher Erkenntnis.

Die *ACT-R*-Theorie beschreibt zudem, wie diese beiden Wissenarten erstmalig erworben werden und wie das passende Wissen für einen Problemlöseprozess bereitgestellt wird (vgl. Anderson & Schunn, 2000). Der Erwerb von deklarativem Wissen kann nach Anderson und Schunn (2000) über zwei Wege erfolgen. Einerseits können *chunks* von deklarativem Wissen durch Enkodierung der Umwelt erzeugt werden und andererseits durch das Speichern vorheriger Ziele. Als Beispiel führen Sie die Berechnung der Summe $3 + 4 = 7$

an. Im Fall der Enkodierung der Umwelt kann die Information z. B. durch das Lesen dieser Gleichung erfolgen, während im zweiten Fall die Berechnung bereits durchgeführt wurde (z. B. durch Abzählen) und das Ergebnis dieser Rechnung gespeichert wurde. Die erste Methode gilt als effizient und genau, während die zweite Methode den Vorteil einer nützlichen Strategie darstellt, sofern die erste Methode versagt (vgl. ebd.). Sie sprechen sich außerdem dafür aus, dass keine der Methoden grundsätzlich zu bevorzugen ist, da immer verschiedene Umstände zu berücksichtigen sind. Der Erwerb prozeduralen Wissens funktioniert über Analogiebildung (vgl. ebd.). Damit diese ermöglicht wird, muss die lernende Person einerseits gewillt sein das vorliegende Problem zu lösen und andererseits ein Beispiel zur Verfügung haben, das die Lösung eines vergleichbaren Ziels zeigt. Für die Berechnung der oben angeführten Summe kann beispielsweise eine ähnliche Summe $4 + 5 = 9$ bekannt sein. Um eine Produktionsregel zu erstellen, würde das Prinzip der bekannten Produktionsregel abstrahiert, um eine Anwendung auf das aktuelle Problem zu ermöglichen.

Thus, ACT-R's theory of procedural learning claims that procedural skills are acquired by making references to past problem solutions while actively trying to solve new problems. Thus, it is both a theory of learning by doing and a theory of learning by example. (Anderson & Schunn, 2000, S. 5)

Die Auseinandersetzung mit Beispielen führt jedoch nicht automatisch zu dem Erzeugen neuer Produktionsregeln, sondern erfordert das Verständnis der lernenden Person (Anderson & Schunn, 2000). Dieser Prozess gleicht dabei dem Erzeugen von Problemschemata anhand von Beispielproblemen im Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (2001). Dabei beschreibt Friege (2001) zusätzlich die Anforderungen der Vernetzung und Hierarchisierung des deklarativen Wissens, während bei Anderson und Schunn (2000) eine Betonung der hierarchischen Struktur des Ziels erfolgt. Die Unterteilung des Ziels und weiterer Zwischenziele führt dazu, dass das Wissen auf eine sehr spezifische Art und nach einer vorgegebenen Ordnung angewendet werden muss (vgl. ebd.). Diese Bedingungen definieren die Zielstruktur bzw. Zielstrukturen für den Lösungsprozess (vgl. ebd.).

Anderson und Schunn (2000) diskutieren weiter, dass die Konsequenzen für die Lehre sehr unterschiedlich sind, abhängig davon welche Ziele verfolgt werden. Sie unterscheiden dabei einerseits das Erwerben langfristiger Kompetenzen und andererseits das Erreichen einer guten Performanz in spezifischen Tests. Für Ersteres betonen sie die Relevanz des Übens, während sie für Letzteres die Bedeutung des Erwerbens und Abrufens der Informationen betonen, welches z. B. durch mnemonische Techniken unterstützt werden kann (vgl. ebd.).

Das Problemlösen in der Physik wird an dieser Stelle als eine langfristig zu erwerbende Kompetenz eingeschätzt, sodass die Bedeutung des Übens entsprechend hervorzuheben ist. Die *ACT-R*-Theorie ermöglicht für das Anliegen dieser Arbeit ein Verständnis des Erwerbs zugrundeliegender Wissensstrukturen. Die erwähnten Konsequenzen für die Lehre bleiben hingegen vergleichsweise vage:

The ACT-R theory of performance and learning [...] places an emphasis on practice. But it places little emphasis on the conditions of learning, except for the importance of accurate diagnosis and feedback. (Anderson & Schunn, 2000, S. 23)

Ergänzend zu der *ACT-R* Theorie, wird daher nachfolgend der *deliberate practice* Ansatz von Ericsson et al. (1993) vorgestellt, der den hier angesprochenen Aspekt des Übens explizit differenziert und Merkmale für einen optimalen Expertiseerwerb beschreibt.

3.2.2. Deliberate Practice

Der Ansatz des *Deliberate Practice* wurde von Ericsson et al. (1993) eingeführt und ist seitdem eine zentrale Theorie, wenn es um den Erwerb von Expertise geht. Die Grundidee beruht dabei auf einer kritischen Perspektive der Anlage-Umwelt-Debatte, wobei eine Abwendung von angeborenen Eigenschaften als primäre Erklärung für Leistungsexzellenz und Betonung weiterer umweltbedingter Einflüsse auf unsere Entwicklung vorgenommen wurde (vgl. ebd.). Diese Perspektive führte zu einer Reflexion des bisherigen Verständnisses des Expertiseserwerbs, bei der die Art und Qualität des Übens eine nachrangige Bedeutung hatte:

The view that merely engaging in a sufficient amount of practice, regardless of the structure of that practice, leads to maximal performance has a long and contested history. (Ericsson et al., 1993, S. 365)

Als Gegenbeispiel führen sie die Ergebnisse von Thorndike (1921) an. Sowohl für das Kopfrechnen als auch handschriftliches Schreiben, das oft regelmäßig oder sogar täglich ausgeführt wird, wird nicht notwendig ein hohes Leistungsniveau erreicht. Dabei werden fehlende Motivation, Priorisierung und Zielgerichtetheit als Gründe angeführt (ebd.). Ericsson et al. (1993) stellen daher die entgegengesetzte Theorie des *Deliberate Practice* auf, bei dem die Struktur des Übungsprozesses den entscheidenden Unterschied für den Erfolg des Expertiseerwerbs darstellen. Die genaue Definition des *Deliberate Practice* wurde dabei von Ericsson und Harwell (2019) neu formuliert. Danach beinhaltet das Verständnis von *Deliberate Practice* folgende Merkmale (vgl. ebd.):

1. Individualisiertes Training durch eine gut qualifizierte Lehrperson
2. Die Lehrperson muss in der Lage sein, das zu erreichende Ziel zu kommunizieren und die lernende Person muss während des Übungsprozesses in der Lage sein dieses Ziel innerlich zu repräsentieren.
3. Die Lehrperson kann eine Übungsaktivität beschreiben, um dieses Ziel zu erreichen. Die Aktivität ermöglicht der lernenden Person dabei ein sofortiges Feedback über den Versuch.
4. Die lernende Person hat die Möglichkeit, wiederholt Korrekturversuche durchzuführen, um dem Ziel schrittweise näher zu kommen.

Das erste Kriterium ist insbesondere entscheidend für die Abgrenzung zu anderen Übungsformen. Ericsson und Pool (2016) geben an, dass für einen angeleiteten, zielgerichteten und individuellen Übungsprozess der Entwicklungsstand der gesamten Domäne ausschlaggebend ist. Erst wenn bekannt ist, was Expert:innen einer Domäne auszeichnet, kann eine Ausrichtung auf eben jene Verhaltensweisen vorgenommen werden, die insbesondere durch Personen höherer Expertise (beispielsweise Lehrer:innen oder Trainer:innen) vermittelt werden kann, da die notwendigen Strategien dazu bekannt sind (vgl. ebd.). In Abgrenzung zu weiteren, weniger effektiven Formen des Übens führen Ericsson und Pool (2016) die Begriffe des *Naïve Practice* und *Purposeful Practice* ein. Danach verstehen sie unter dem *Naïve Practice*, dass domänenrelevante Tätigkeiten lediglich wiederholt durchgeführt werden und eine entsprechende Leistungsverbesserung erwartet wird. Als nächstbessere Form des Übens stellen sie das *Purposeful Practice* dar, welches durch spezifische, wohldefinierte Ziele charakterisiert ist und somit Überschneidungen zum *Deliberate Practice* zeigt. Diese Einschränkung ermöglicht somit ebenfalls Feedback zu dem eigenen Prozess, der nun an diesen Zielen gemessen werden kann. Ohne ein solches Feedback ist es nicht möglich festzustellen wie und an welcher Stelle das eigene Handeln verbessert werden muss. Dazu wird einerseits fokussiertes Vorgehen genauso wie das Verlassen der eigenen Komfortzone vorausgesetzt. Als wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen *Purposeful Practice* und *Deliberate Practice* nennen sie daher die Informiertheit über den Prozess. Es wird nicht nur ein spezifisches Ziel verfolgt, sondern es besteht ein Bewusstsein darüber, wodurch sich eine Expert:innenleistung bei der Ausführung dessen auszeichnen würde und beruht daher auf der Anleitung von Personen höherer Expertise. Auch wenn die Bedeutung dieses Ansatzes nach 30 Jahren seit Erstveröffentlichung aufgezeigt werden kann (vgl. Ericsson & Harwell, 2019), so besteht eine inhärente Einschränkung dieses Ansatzes, der eine Übertragung in die Praxis in vielen Fällen einschränkt. Die Voraussetzung der individuellen Gestaltung des Lernprozesses und sogar explizite Anpassung seitens der Lehrperson auf die spezifischen Bedürfnisse des Lernenden verhindern eine direkte Übertragung auf konventionelle Lehr-/Lernsituationen, wie sie in der Schule oder Universität anzutreffen sind. So müssen trotz etablierter Erkenntnisse die-

ser aktuellen Forschungsrichtung der Expertiseforschung weiterhin Ansätze gefunden werden, die auch das Vermitteln von Expert:innenstrategien in den ebenso verbreiteten Gruppensettings wie dem Schulunterricht oder der universitären Lehre beschreiben. Dennoch sind die erarbeiteten Grundannahmen relevant für alle denkbaren Lernszenarien, da der externe Einfluss auf den Lernprozess anhand der Kenntnisse domänenspezifischer Expertise hier deutlich herausgestellt wird. Somit kann sowohl die anhaltende Bedeutung der Expertiseforschung für Lernprozesse im Allgemeinen festgehalten werden, als auch die konkrete Relevanz für handlungsorientierte Konzepte, die insbesondere durch die verschiedenen Fachdidaktiken genutzt werden sollten, um Lernprozesse zu gestalten.

3.3. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden zentrale Unterschiede zwischen Expert:innen und Noviz:innen dargestellt. Dieser Vergleich bietet Anhaltspunkte, die genutzt werden können, um eine Förderung der Problemlösekompetenz zu verfolgen (Funke & Zumbach, 2006). Daher wurden Elemente des Problemlöseprozesses von Expert:innen herausgearbeitet, die im weiteren Verlauf der Arbeit für eine explizite Förderung von Noviz:innen berücksichtigt werden sollen. Die dargestellten Aspekte, die hier separat aufgeführt werden, sollen dabei nicht isoliert betrachtet werden, sondern ein Gesamtbild verschiedener Merkmale von Expertise zeigen.

Zunächst wurden die herausragenden Gedächtnisleistungen von Expert:innen dargestellt, die auf das Erkennen bekannter Muster in der jeweiligen Domäne zurückgeführt wurden (vgl. Abschnitt 3.1.1). Außerdem konnten Unterschiede in der Verwendung verschiedener Wissensarten für den Problemlöseprozess festgestellt werden (vgl. Abschnitt 3.1.2). Für die Unterschiede im Bereich der Problemrepräsentation konnte neben der erneuten Betonung der Problemschemata als wertvolle Ressource außerdem die Unterscheidung von Tiefenstruktur und Oberflächenstruktur als wichtige Fähigkeit identifiziert werden, die es Expert:innen ermöglicht, Probleme schnell zu klassifizieren und anhand konzeptuell relevanter Informationen zu betrachten (vgl. Abschnitt 3.1.3). Zuletzt wurden physikspezifische Problemlösestrategien von Noviz:innen in den Blick genommen (vgl. Abschnitt 3.1.4). Dazu wurden verbreitete Strategien und deren Schwierigkeiten vorgestellt. Außerdem wurde die Bedeutung der Überzeugungen der Noviz:innen und deren Unterschiede zu den Überzeugungen von Expert:innen aufgezeigt.

Die angeführten Unterscheidungen werden in der vorliegenden Arbeit für die Einordnung des Expertisegrades zugrunde gelegt, sodass ihre positiven Ausgestaltungen als Ziel einer Intervention zur Förderung des wissenszentrierten Problemlösens betrachtet werden, wohingegen die negativen Ausprägungen als mögliche Lernausgangslage der Noviz:innen berücksichtigt werden.

Im nächsten Abschnitt wurden zwei Theorien vorgestellt, die den Prozess des Expertiseerwerbs näher charakterisieren. Zunächst wurde die *ACT-R-Theorie* als Modell kognitiver Architektur (3.2.1) von Anderson (1996) vorgestellt. Dabei wurde der Einfluss und der initiale Erwerbsprozess des deklarativen und prozeduralen Wissens näher beschrieben. Für den Erwerb langfristiger Kompetenzen wurde die Bedeutung des Übens hervorgehoben, dessen Gelingensbedingungen nachfolgend im Rahmen der Theorie des *deliberate practice* von Ericsson et al. (1993) weiter ausgeführt wurden (3.2.2). Als zentrale Merkmale kann ein zielgerichteter, individueller Lernprozess hervorgehoben werden, welcher durch eine Lehrperson hoher Expertise gestaltet wird und ein sofortiges Feedback während des Übungsprozesses erlaubt. Beide Theorien stellen Grundannahmen dar, die bei der Förderung des Expertiseerwerbs beachtet werden sollten. Im Rahmen dieser Arbeit werden sie daher für die Gestaltung des Lehrkonzepts weiter berücksichtigt.

4. Einflussfaktoren auf das Problemlösen

In diesem Kapitel werden verschiedene Aspekte dargestellt, die einerseits das Problemlösen als Prozess und andererseits als Kompetenz beeinflussen (vgl. Abb. 4.1). Dazu werden zunächst die Cognitive Load Theorie (s. Abschnitt 4.1.1) und das Konzept des trägen Wissens (s. Abschnitt 4.1.2) dargestellt, um Grenzen aufzuzeigen, die aufgrund kognitiver Ansprüche bestehen. Anschließend werden Einflussfaktoren dargestellt, die die Problemlösekompetenz beeinflussen (s. Abschnitt 4.2) und im Sinne äußerer Faktoren zu berücksichtigen sind. Zuletzt werden Aufgabenmerkmale vorgestellt, die die Schwierigkeit der Probleme selbst beeinflussen (s. Abschnitt 4.3). Diese werden in Merkmale aufgeteilt, die einerseits die Tiefenstruktur (s. Abschnitt 4.3.1) und andererseits die Oberflächenstruktur (s. Abschnitt 4.3.2) der Aufgaben betreffen. Die dargestellten Einflüsse sollen dabei in der Konzeption der zugrundeliegenden Lehrveranstaltung dieser Arbeit berücksichtigt werden. Inwiefern die dargestellten Aspekte als limitierende Faktoren eingeplant werden oder durch die Gestaltung des Lehrkonzepts kontrolliert werden können, wird im Rahmen der Methodik und Durchführung ausgeführt.

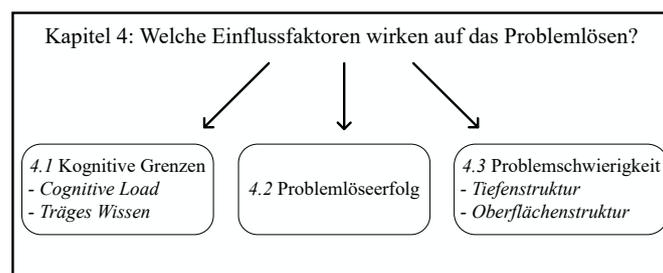


Abb. 4.1. Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge in Kapitel 4

4.1. Einflussfaktoren durch kognitive Grenzen

In den vorangehenden Kapiteln standen oftmals kognitive Prozesse im Vordergrund, die im Kontext von Expertise relevant sind (z. B. Gedächtnisleistungen, Problemlösestrategien, Wissensorganisation etc.). Aufgrund dieser Ausrichtung werden ebenfalls limitierende

Faktoren vorgestellt, die für das Problemlösen als kognitiven Prozess zu berücksichtigen sind. Dazu wird einerseits die *Cognitive Load Theory* und andererseits das Konzept des trägen Wissens vorgestellt. Die daraus entstehenden Limitationen sollen im Rahmen der weiteren Arbeit berücksichtigt werden.

4.1.1. Grenzen durch Cognitive Load

Die *Cognitive Load Theory* (CLT) wurde 1988 von Sweller begründet und widmet sich der Vorhersage von Lernzuwächsen unter der Berücksichtigung und Erklärung der Grenzen unserer kognitiven Strukturen (vgl. Plass, Moreno & Brünken, 2010). Diese Begrenzung wird dabei durch die kognitive Belastung („*cognitive load*“) beschrieben, die kognitive Prozesse verursachen (vgl. ebd.). Diese Belastung wird besonders für komplexe kognitive Prozesse wie das Problemlösen betont (z. B. Sweller, 1988). In diesem Kontext wird erneut die Bedeutung der Ausbildung von Schemata betont:

According to CLT, when learners are novices in a domain, the cognitive load associated with unguided discovery is too high to promote learning because novices lack well-developed schemas to guide their knowledge construction process. (Moreno & Park, 2010, S.22)

Um die kognitive Belastung für den Prozess des Problemlösens und des Expertiseerwerbs als limitierenden Faktor im Rahmen der Arbeit zu berücksichtigen, werden wesentliche Annahmen der *Cognitive Load Theory* dargestellt. Als Erklärungsansatz der kognitiven Belastungen werden die Strukturen unseres Gedächtnisses berücksichtigt, welche in das Arbeits- und Langzeitgedächtnis unterteilt werden (vgl. Paas, Renkl & Sweller, 2003). Die Belastungen resultieren aus der Annahme, dass unser Arbeitsgedächtnis, in dem alle aktiven kognitiven Prozesse ablaufen, nur über begrenzte Kapazitäten verfügt, während das Langzeitgedächtnis über eine deutlich überlegene Speicherkapazität verfügt und große Mengen von Informationen und Schemata über eine lange Zeit speichern kann (vgl. ebd.). Diese kognitiven Belastungen werden in drei Arten unterschieden (vgl. ebd.):

1. Extraneous (or ineffective) load
2. Intrinsic load
3. Germane (or effective) load

Paas et al. (2003) führen dazu weiter aus, dass unter dem *extraneous load* Faktoren verstanden werden, die durch die Gestaltung von Instruktionen oder Lernmaterial zu den eigentlich notwendigen kognitiven Anforderungen hinzukommen und dem Schemaerwerb und der Automatisierung im Weg stehen. Der *intrinsic load* kennzeichnet sich durch den Interaktionsgrad relevanter Informationen untereinander und wird somit von der Komplexität des dargebotenen Materials bestimmt (vgl. ebd.). Dabei ist umstritten, inwiefern die intrinsische Belastung als durch Instruktion beeinflussbar gilt (vgl. Moreno & Park, 2010). Der *germane load* wird als solcher deklariert, weil dieser als kennzeichnend

für die Prozesse gilt, welche für den Schemaerwerb und die Automatisierung zuständig sind (vgl. Paas et al., 2003), die für den Expertiseerwerb gewünscht werden.

Es wird angenommen, dass die drei vorgestellten Belastungsarten additiv zusammenspielen (vgl. Plass et al., 2010). Eine Entlastung des extraneous load ist daher vor allem dann wichtig und förderlich, wenn der intrinsic load bereits hoch ist und die verfügbaren Ressourcen benötigt werden. Diese Annahme wird auch als *additive load hypothesis* beschrieben:

According to CLT's additivity hypothesis, learning is compromised when the sum of intrinsic, extraneous, and germane loads exceeds available working memory capacity and any cognitive load effect is caused by various interactions among these sources of cognitive load. For example, many cognitive load effects occur because a reduction in extraneous cognitive load permits an increase in germane cognitive load, which in turn enhances learning. (Plass et al., 2010, S. 4)

Eine schematische Darstellung dieser Annahmen zeigt Abbildung 4.2, wobei die drei Belastungsarten, sowie die *additive load hypothesis* dargestellt werden und verdeutlichen, dass eine Verringerung dieser Belastungen die freien kognitiven Kapazitäten der Lernenden steigern kann.

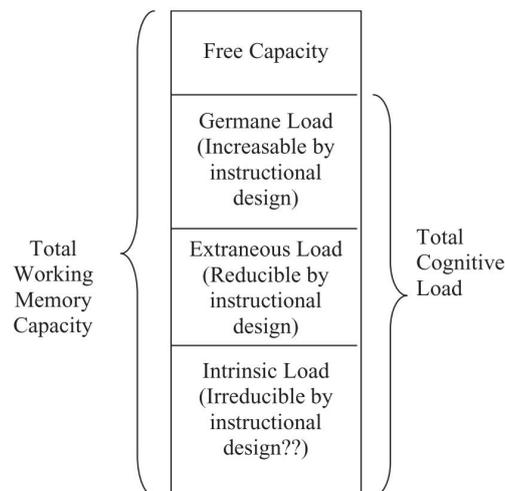


Abb. 4.2. Schematische Darstellung der Annahmen der *Cognitive Load Theory* (Moreno & Park, 2010, S. 18)

Aufgrund der begrenzten Arbeitsgedächtniskapazitäten muss somit eine Entlastung der Prozesse angestrebt werden. Die verschiedenen Belastungsarten sprechen dafür, dass eine Maximierung des *germane load* angestrebt werden sollte, während vor allem der *extraneous load* minimiert werden soll. Außerdem wird die Bedeutung des Schemaerwerbs betont, da Schemata als Bündel kognitiver Strukturen vom Langzeit- ins Arbeitsgedächtnis übertragen werden können und so die Menge der gleichzeitig verarbeiteten Informationen erhöhen (vgl. Paas et al., 2003).

4.1.2. Grenzen durch träges Wissen

It is a much-lamented fact that students often do not succeed in applying knowledge which they have acquired in lessons to solve problems given in school or in everyday life contexts. (Friege & Lind, 2006, S. 437)

Als weiterer kognitiver Einfluss für den Erfolg des Problemlösens lässt sich die Limitation durch träges Wissen anführen. Renkl et al. (1996) beschreiben Wissen, das verfügbar ist, aber nicht für das Problemlösen verwendet wird, als träge. Im Gegensatz dazu kann das erfolgreiche Problemlösen, das von einem Problem auf ein anderes übertragen wird, als Wissenstransfer bezeichnet werden (Funke & Zumbach, 2006). An dieser Stelle werden daher einerseits Erkenntnisse zum trägen Wissen ausgeführt und andererseits Konsequenzen dargestellt, die für einen erfolgreichen Wissenstransfer berücksichtigt werden sollten.

Trotz der Relevanz des Wissenstransfers stellt er dennoch eine große Herausforderung für Lernende dar. Das Unvermögen, gelerntes Wissen in andere Kontexte übertragen zu können, bewerten Renkl et al. (1996) als ein so schwerwiegendes Problem, dass aktuelle Lernsettings grundlegend hinterfragt werden. Gleichzeitig führen sie drei verschiedene Erklärungsansätze aus, die das Entstehen von trägem Wissen beschreiben (vgl. ebd.):

1. Metaprozesserklärungen:

Das benötigte Wissen ist vorhanden. Es kann jedoch nicht darauf zugegriffen werden.

2. Strukturdefiziterklärungen:

Das benötigte Vorwissen liegt in mangelhafter Struktur vor, die eine Anwendung nicht ermöglicht.

3. Situiertheitserklärungen:

Die Anwendung des Wissens ist stets kontextgebunden, sodass eine Übertragung auf andere Problemsituationen nicht gelingt.

Für eine metakognitive Erklärung konnten Renkl et al. (1996) verschiedene Varianten identifizieren: metakognitive, motivationale, volitionale, und Kosten-Nutzen-Erklärungen, sowie Erklärungen, die die Relevanz epistemologischer Überzeugungen betonen. Sie beschreiben dabei, dass metakognitive Erklärungen zugrunde legen, dass neben dem strategischen Wissen auch konditionales Wissen ausschlaggebend ist, um strategisch zu lernen. Nach dieser Perspektive sind neben dem eigentlich anzuwendenden Wissen zusätzliche metakognitive Prozesse notwendig für einen erfolgreichen Wissenstransfer. Die Erklärung anhand von Strukturdefiziten berücksichtigt hingegen die Möglichkeit, dass das anzuwendende Wissen selbst unzureichend vorliegt. Für diesen Ansatz unterscheiden sie verschiedene Ursachen: Fehlendes Konzeptwissen, fehlende Wissenszusammenstellung, separate Wissenssysteme für Verbalisierungs- und Handlungsanforderungen, sowie Wissensabschottung.

Sowohl der Metaprozess- als auch der Situiertheitserklärungsansatz zeigen, dass der Erwerb von deklarativem Wissen allein nicht zwingend ausreichend ist, um es anwenden oder transferieren zu können. Dies schließt sich an die Annahmen der *ACT-Theorie* (s. Abschnitt 3.2.1) und der *Cognitive Load Theory* (s. Abschnitt 4.1.1) an, die besonders die Vernetzung des Wissens und die Abrufbarkeit dieser Strukturen betonen. So kann das Phänomen des trägen Wissens als typisch für Noviz:innen einer Domäne betrachtet werden. Funke und Zumbach (2006) zeigen dabei ebenfalls einen Zusammenhang mit der Unterscheidung von Oberflächen- und Tiefenstruktur auf, die als unterscheidendes Merkmal von Expert:innen und Noviz:innen dargestellt wurde (vgl. Abschnitt 3.1.3). Für einen erfolgreichen Transfer ist danach die Orientierung an der Tiefenstruktur von Problemen notwendig, um eine Analogiebildung zu ermöglichen:

Transfer findet allerdings nicht immer erfolgreich statt, was sich sehr häufig in Unterrichtssituationen zeigt. Die hier zugrunde liegende Schwierigkeit besteht darin, dass zumeist nur die oberflächlichen Merkmale, nicht aber die eigentlich für die Problemlösung relevanten Tiefenmerkmale verschiedener Probleme oder Aufgaben gegenseitig verglichen und angepasst werden. (Funke & Zumbach, 2006, S. 211)

Mit dem Anspruch des Wissenstransfers für ein erfolgreiches Problemlösen bedarf es demnach methodischer Ansätze, die das Entstehen trägen Wissens vermeiden und die Transferfähigkeit stattdessen fördern. Für diese Förderung verweisen Funke und Zumbach (2006, S. 211) auf fünf Aspekte, nach Steiner (2001):

1. Trennung des neuen Wissens und Wissensstrukturen von irrelevanten Aspekten
2. Flexible Anwendung des Wissens in anderen Aufgaben
3. Multiple Repräsentation des Wissens
4. Systematische Dekontextualisierung
5. Reflexion des Wissens

Die Unterscheidung von Oberflächen- und Tiefenstruktur wird dabei einerseits durch die Trennung von relevantem und irrelevantem Wissen angestrebt und zusätzlich durch eine Flexibilisierung des relevanten Wissens unterstützt. Die Anwendung in anderen Aufgaben, multiple Repräsentation und Dekontextualisierung stellen jeweils Möglichkeiten dar, die Tiefenstruktur beizubehalten und gleichzeitig eine Variation der oberflächlichen Problemmerkmale umzusetzen. Sofern das erfolgreiche Erkennen der Tiefenstruktur vorausgesetzt werden kann, ist dies ein naheliegender Ansatz, um ein Loslösen von Oberflächenmerkmalen zu erzielen. Gleichzeitig wird jedoch auch die Problematik dieses Anspruchs deutlich, da das Identifizieren der Tiefenstruktur eines Problems bereits als solches eine Fähigkeit darstellt, die Noviz:innen in der Regel nicht besitzen (vgl. Chi et al., 1981). Eine Förderung der Transferierbarkeit scheint daher erst nach Erreichen eines grundlegenden Verständnisses konzeptueller Strukturen im Sinne von Problemschemata sinnvoll. Andernfalls droht eine Ablenkung auf der Oberflächenebene, die eine Erschließung der Tiefenstruktur vollkommen verhindert. Die Entwicklung von Problemschemata

steht somit im Spannungsverhältnis zur Transferfähigkeit der Problemlösekompetenz. Letztere ist daher als höherrangige Kompetenz einzustufen, deren Entwicklung von einer vorherigen Ausbildung von Problemschemata profitiert.

4.2. Einflussfaktoren auf den Problemlöseerfolg

Da das Problemlösen einen kognitiven Prozess darstellt, der von vielen verschiedenen Faktoren abhängt, müssen diese zunächst identifiziert werden, um eine Messung der entsprechenden Kompetenz zu ermöglichen. Mit Bezug auf das Modell des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001) lassen sich als erste mögliche Einflussfaktoren das (Fach-)Wissen und die Erfahrung in der Bearbeitung von Problemen identifizieren, da sie bereits Teil des Modells sind. Das Fachwissen und dessen Vernetzung werden als direkte Einflussfaktoren genannt, die sich auf alle Schritte des Lösungsprozesses beziehen (vgl. Abbildung 2.5). Die Erfahrung der Problemlöser wird hier indirekt ebenfalls als Einflussfaktor aufgezeigt, da die Ausarbeitung jeder Lösung eines Problems zu einer Erweiterung der Beispielprobleme führt (vgl. Friege, 2001). Diese sind eine wichtige Voraussetzung für die Ausbildung der Problemschemata, die den zweiten Schritt des Prozesses nämlich die Auswahl bzw. Erarbeitung dieses Problemschemas bestimmen (vgl. ebd.).

Für eine empirische Überprüfung dieses Zusammenhangs und auch der Identifikation möglicher weiterer Faktoren hat Brandenburger (2017) die Frage nach den Einflussfaktoren auf den Problemlöseerfolg in ihrer Dissertation für den Bereich der Physik, spezifisch die Mechanik, untersucht. Zur Untersuchung der Zusammenhänge wurde die Problemlösefähigkeit durch einen entsprechenden Test erhoben, der jede Phase des Problemlösens basierend auf Frieges Modell erfasst. So konnten die einzelnen Phasen der Problemrepräsentation, der Erarbeitung eines Problemschemas, der Ausführung der Lösung und des Nachvollziehens einer vorgegebenen Lösung separat getestet werden. Darüber hinaus wurden die erwarteten Prädiktoren mit entsprechenden Testinstrumenten erhoben (ebd.):

- Fachwissen Mechanik
- Fachwissen Mathematik
- Selbstkonzept
- Interesse
- Erfahrung
- Abiturnote
- Physiknote

Das hier aufgeführte Selbstkonzept wurde von Brandenburger (2017) in sieben weitere Skalen unterteilt, die einerseits das Selbstkonzept für jede der vier Phasen des Problemlösens umfassen und zusätzlich das Selbstkonzept in Physik, Mathematik und allgemeinem Problemlösen. Dabei konnten drei Klassen unter den Probanden identifiziert werden, die sich nach niedrigem, mittlerem und hohem Selbstkonzept unterscheiden. Darüber hinaus zeigte sie anstelle der erwarteten unterschiedlichen Schwierigkeiten der Problemlösephasen eine Abhängigkeit vom Inhaltsbereich. So waren die Aufgaben aus dem Bereich der Energie leichter zu lösen, als Aufgaben aus dem Bereich der Kinematik. Dieser inhaltliche Einfluss zeigte sich ebenfalls in dem entsprechenden Fachwissenstest zur Mechanik. Für das mathematische Vorwissen konnte hingegen keine inhaltliche Abstufung gefunden werden, sondern Unterschiede in der Art der Operation. Aufgaben, die Basiswissen mit einfacher Reproduktion verlangten (z. B. Stufenwinkel identifizieren) waren demnach einfacher für die Probanden als Anwendungen dieses Wissens (z. B. quadratische Gleichungen lösen).

Die z-transformierten Mittelwerte zeigten zunächst den erwarteten positiven Einfluss aller Größen auf den Problemlöseerfolg, da für höhere Klassen der Problemlöser:innen auch jeweils höhere Ausprägungen der Prädiktoren zu finden war. Ein direkter Einfluss auf den Problemlöseerfolg konnte jedoch nur für das Mechanikwissen und das Selbstkonzept gezeigt werden. Sowohl die Erfahrung beim Problemlösen, als auch die Abiturnote und das mathematische Fachwissen werden jeweils über das Fachwissen der Mechanik moderiert und haben nur einen indirekten Einfluss auf den Problemlöseerfolg (s. Abb. 4.3).

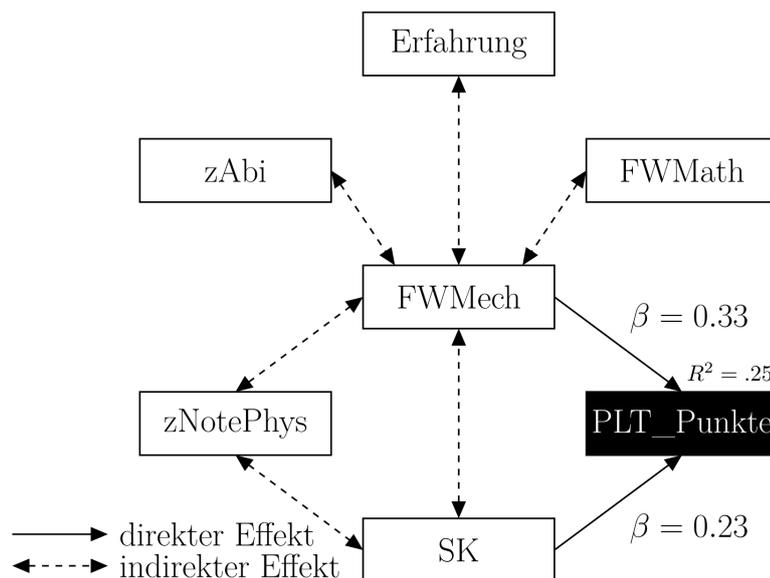


Abb. 4.3. Direkte und indirekte Einflussfaktoren auf die Problemlösekompetenz (Brandenburger, 2017, S.278)

Brandenburger (2017) zeigt weiter, dass die beiden direkten Prädiktoren sich ebenfalls indirekt beeinflussen, was aufgrund der inhaltlichen Ausrichtung der Skalen des Selbstkonzepts naheliegend ist. So wird der Einfluss des Selbstkonzepts mit durch das Mechanikwissen abgeschwächt. Es zeigt sich demnach das Fachwissen als stärkster Prädiktor gefolgt vom Selbstkonzept der Lernenden. Die lineare Regression für beide Variablen ergibt mit $R^2 = .25$ eine signifikant höhere Varianzaufklärung als das Model, dass nur das Fachwissen in Mechanik als Prädiktor voraussetzt ($R^2 = .21$). Die Effektstärke des Modells mit beiden Prädiktoren wird mit $f = .33$ als mittel bis groß eingeschätzt. Die standardisierten Regressionskoeffizienten β zeigen für das Mechanikwissen einen höheren Einfluss als für das Selbstkonzept (s. Abb. 4.3).

Neben den beschriebenen quantitativen Einflüssen, lassen sich auch qualitative Einflussfaktoren auf den Problemlöseerfolg identifizieren. Dazu wurde das Interesse der Lernenden anhand eines Fragebogens zu der Beliebtheit von Tätigkeiten untersucht (ebd.). So konnten drei verschiedene Profile unter den Probanden gefunden werden (ebd.):

- Theoretiker/Rechner
- Praktiker
- Unbeliebt

Die erste Gruppe kennzeichnet sich nicht nur durch die überdurchschnittliche Beliebtheit von theoretischen und rechnerischen Tätigkeiten sondern auch eine leicht überdurchschnittliche Beliebtheit praktischer Tätigkeiten. Die Praktiker bewerten diese Tätigkeiten am positivsten und liegen bei theoretischen Tätigkeiten knapp unter dem Durchschnitt. Die letzte Klasse zeichnet sich schließlich dadurch aus, dass physikalische Tätigkeiten allgemein unbeliebt sind, insbesondere die theoretischen.

Bei der Untersuchung von Kreuztabellen der Interessensklassen mit den Ergebnissen des Problemlöseerfolgs zeigt sich ein negativer Effekt der Unbeliebtheit physikalischer Tätigkeiten auf das Erreichen einer höheren Problemlösestufe. Brandenburger (2017) zeigt außerdem, dass beim Erreichen der höchsten Problemlösestufe trotz Unbeliebtheit physikalischer Tätigkeiten ein besonders hohes Fachwissen in der Mechanik vorliegt. Andersherum zeigen Personen, die ein hohes Interesse an physikalischen Tätigkeiten haben und nur die unterste Stufe des Problemlösens erreichen, ein besonders niedriges Fachwissen in der Mechanik. Der nachgewiesene Einfluss stellt jedoch den geringsten der vorgestellten Größen dar und wird von Brandenburger als nicht einfacher Zusammenhang eingeschätzt. Bei der Erfassung der Problemlösefähigkeit gelten die dargestellten Zusammenhänge demnach zu berücksichtigen, sodass insbesondere das domänenspezifische Fachwissen sowie das Selbstkonzept als direkte Einflussfaktoren bestimmt werden sollten, um eine Unterscheidung anderer Einflüsse auf den Problemlöseerfolg bestimmen zu können.

4.3. Einflussfaktoren auf die Problemschwierigkeit

Da das Problemlösen an dieser Stelle durch das Bearbeiten repräsentativer Aufgaben operationalisiert ist, müssen als weitere Einflussfaktoren eines jeden Problemlöseprozesses ebenfalls die Einflussfaktoren berücksichtigt werden, die auch für reguläre Physikaufgaben als schwierigkeitserschöpfend gelten. Dabei beziehen sich die vorgestellten Merkmale in den Originalen in der Regel auf Testaufgaben, sodass für eine Betrachtung von Lernaufgaben gegebenenfalls weitere Aspekte berücksichtigt werden müssen, da die verschiedenen Aufgabentypen grundsätzlich verschiedene Ziele verfolgen (vgl. Kauertz, Löffler & Fischer, 2015).

Da die Erforschung entsprechender Faktoren einen eigenen Forschungsbereich darstellt, kann an dieser Stelle kein umfassendes Bild gezeigt werden und es folgt eine kurze Übersicht der hier betrachteten Aspekte. Bereits in Abschnitt 2.3.1 zum Problembegriff wurden allgemeine Merkmale charakterisiert, die ein Problem, und somit aufgrund der hier getroffenen Verwendung, auch eine Aufgabe klassifizieren. Zusätzlich sind insbesondere die Erkenntnisse des Forschungsbereichs der Kompetenzmodellierung zu berücksichtigen. Dieser Bereich widmet sich der Klassifizierung von Kompetenzen, die zur Bearbeitung der entsprechenden Probleme notwendig sind (vgl. Kircher & Girwitz, 2020). Entsprechend eignen sie sich zur Konstruktion von Physikaufgaben anhand entsprechender Kategoriensysteme (vgl. Fischer & Draxler, 2007). Die nachfolgenden Kategorien wurden entsprechend aus derartigen Arbeiten abgeleitet und im Sinne des Verwendungsbereichs der vorliegenden Arbeit ausgewählt.

4.3.1. Einfluss der Tiefenstruktur

Als Erstes werden Aufgabenmerkmale dargestellt, die die Tiefenstruktur der Aufgaben betreffen. Darunter fallen der Inhaltsbereich, die Lösungsansätze, die hierarchische Komplexität, die Lösungsmöglichkeiten und die Mathematisierung der Aufgabe.

Inhaltsbereich Die Dimension des Inhaltsbereichs stammt aus dem Modell von Woitkowski (2015) und umfasst drei Themengebiete der Mechanik, die als klassisch für die Einführungsveranstaltungen der Physik an Hochschulen gelten: *Kinematik*, *Kräfte* und *Energie und Impuls*. Dabei wurden die Themen Energie und Impuls hier aus testökonomischen Gründen zusammengefasst, sowie aus der Tatsache heraus, dass oftmals eine gemeinsame Betrachtung der Größen erfolgt (ebd.). Die Ergebnisse von Brandenburger (2017) deuten ebenfalls eine Abhängigkeit vom Inhaltsbereich an, sodass diese Unterscheidung der Inhaltsbereiche sich als geeignet erweist.

Hierarchische Komplexität Eine weitere zentrale Aufgabeneigenschaften zur Beschreibung der Aufgabenschwierigkeit stellt die Komplexität dar. An dieser Stelle wird das Modell der hierarchischen Komplexität nach Bernholt (2010) dargestellt, das ebenfalls Teil des Strukturmodells der Nutzung von Fachwissen bei Woitkowski (2015) ist. Die unterste Stufe des *unreflektierten Erfahrungswissens* wird für die Verwendung in der Hochschullehre als ungeeignet eingeschätzt, sodass folgende vier hierarchische Abstufungen bleiben (vgl. ebd.):

1. Fakten
2. Prozessbeschreibung
3. Lineare Kausalität
4. Multivariate Interdependenz

Nach Bernholt (2010) gestaltet sich die hierarchische Struktur dadurch, dass höhere Stufen eine Organisation der Zusammenhänge unterer Stufen darstellen, sodass sowohl ein quantitativer als auch qualitativer Anstieg der Komplexität erreicht wird. Dabei ist vor allem der qualitative Anspruch durch die kausale Verknüpfung einzelner Elemente zentral für den Komplexitätszuwachs. So beschreibt er die Stufe der *Fakten* durch das einfache Nennen isolierter Begriffe oder Gesetzmäßigkeiten. An dieser Stelle werden jedoch keinerlei Erklärungen, Vergleiche oder Bewertungen vorgenommen, sodass es primär um die Reproduktion ebenjener Fakten geht. Für die *Prozessbeschreibungen* gibt Bernholt die zeitliche Komponente eines Vorgangs als ausschlaggebend an, wobei nun die Verknüpfung mehrerer Fakten und Zustände notwendig ist. Ein Beispiel stellt unter anderem die Verwendung oder Beschreibung von Diagrammen dar, wobei hierunter keine kausalen Verknüpfungen gefasst werden. Erst die Stufe der *linearen Kausalität* umfasst klassische Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, die ebenfalls eine Begründung seitens der Problemlöserin bzw. des Problemlösers verlangt. Schließlich zeichnet sich die *Multivariate Interdependenz* durch die Kombination mehrerer kausaler Zusammenhänge aus, deren wechselseitige Beziehung analysiert werden muss. Die Stufe zeichnet sich somit durch eine komplexe Argumentation aus, die sich durch das Zusammenspiel mehrerer Begründungszusammenhänge auszeichnet.

Lösungsmöglichkeiten Bei der Klassifizierung verschiedener Problemtypen (s. Abschnitt 2.3.2) wurde die Unterscheidung von wohl strukturierten und schlecht strukturierten Problemen als eine Dimension nach Jonassen (2012a) eingeführt. Danach werden Probleme unter anderem als schlechter strukturiert beschrieben, wenn keine Eindeutigkeit bezüglich der Lösung oder des Lösungsweges besteht. Der Problemraum ist in diesem Fall entsprechend größer, sodass ein Suchprozess erschwert wird. Vor diesem Hintergrund wird die Anzahl der Lösungsmöglichkeiten ebenfalls als schwierigkeiterzeugend festgehalten.

Mathematisierung Da Physikaufgaben neben ihren physikspezifischen Anforderungen oftmals auch mathematische Operationen verlangen, wird an dieser Stelle ebenfalls die Mathematisierung betrachtet. Dabei wird der Einteilung nach Schoppmeier, Borowski und Fischer (2012). gefolgt. Sie unterscheiden zwischen vier mathematischen Operationen:

1. Berechnen
2. Umformen
3. Umgang mit funktionalen Zusammenhängen
4. Modellieren

Schoppmeier et al. (2012) führen dazu weiter aus, dass die genannten Operationen als Teilaspekte beim Durchlaufen eines Modellierungskreislaufs relevant sind. Sie sind entsprechend ihrer steigenden Anforderung dargestellt. Die beiden Handlungsbereiche *Berechnen* und *Umformen* werden dabei als mathematische Routinefähigkeiten eingestuft, während der *Umgang mit funktionalen Zusammenhängen* und das *Modellieren* als Mathematisierung von Sachverhalten beschrieben wird. Das Berechnen umfasst hier die Berechnung von Variablen und Zahlenwerten anhand vorgegebener Gleichungen, die durch Rechenoperationen gelöst werden. Das Umformen bezieht sich außerdem auf Äquivalenzumformungen von Gleichungen, sowie Einsetzungsverfahren und der Umgang mit Termen. Der Umgang mit funktionalen Zusammenhängen beschreibt hier das „Verstehen, Interpretieren und Anwenden von Funktionsvorschriften und ihren grafischen Darstellungen“ (Schoppmeier et al., 2012, S.32). Zuletzt beschreiben sie das Modellieren als die Kompetenz der höchsten Anforderung, die an dieser Stelle jedoch keinen kompletten Modellierungskreislauf, sondern ausschließlich den Transfer der physikalischen Informationen in mathematische Informationen meint.

4.3.2. Einfluss der Oberflächenstruktur

Als nächstes werden die Oberflächenstrukturmerkmale vorgestellt, die ebenfalls die Schwierigkeit von Aufgaben beeinflussen können. Dazu wird in Teilen der Zusammenstellung von Stawitz (2010) gefolgt, bei der schwierigkeiterzeugende Merkmale bezüglich der Problemlöseaufgaben der PISA Studie 2003 betrachtet wurden. Auch wenn dabei komplexe Problemlöseaufgaben Gegenstand waren, sodass in Teilen eine andere Ausrichtung der Aufgaben berücksichtigt werden muss, eignen sich besonders die Darstellungen zu den oberflächlichen Merkmalen von Aufgaben ebenfalls für eine Betrachtung wissenszentrierter Probleme.

Kontext Der Kontext wird an dieser Stelle als ein wichtiges schwierigkeiterzeugendes Merkmal der Oberflächenstruktur eingeschätzt. Dorsch (2013) schlägt für dessen Beschreibung ein Modell der Merkmale kontextualisierter Aufgaben vor. Dabei konnte

sie zeigen, dass die Glaubwürdigkeit ein möglicher Einflussfaktor für die Schwierigkeit von Aufgaben darstellt. In einer Weiterentwicklung schlagen van Vorst et al. (2015) ein Modell zur Strukturierung dieser Dimension vor, die sowohl Merkmale auf Seiten der Schüler:innen als auch auf Seiten des Kontextes und der Beziehung zwischen beiden identifiziert (s. Abb. 4.4). Das Modell verdeutlicht, dass eine alleinige Betrachtung des Kontextes unabhängig von den betroffenen Lernenden und deren Interaktion mit dem Kontext keine Bewertung zulässt, die Aufschluss über eine objektive Schwierigkeit geben könnte.



Abb. 4.4. Modell zur Operationalisierung der Dimension Kontext (van Vorst et al., 2015, S.32)

Aufgrund der Perspektiven einerseits der Lernenden und andererseits der Interaktionsebene, müssen einige der Merkmale als personenspezifisch aufgefasst werden, sodass sich eine generelle Steuerung dieser Größen als nicht trivial gestaltet. Zudem können geschlechtsspezifische Unterschiede bei der Wirkung von Kontexten auf das Interesse festgestellt werden (Habig, van Vorst & Sumfleth, 2017), sodass eine einheitliche Kontrolle dieser Größe nicht möglich erscheint.

Art der Aufgabeninformation Die Art der Aufgabeninformation wurde von Stawitz (2010) zunächst nach den verschiedenen Repräsentationsformen sortiert, welche als Stimulus eingesetzt werden können. Dabei wird neben Grafiken, Diagrammen und Tabellen der Aufgabentext gesondert betrachtet. Entsprechend der Darstellungen der *Cognitive Load Theory* (s. Abschnitt 4.1.1 und 5.2.1) wird dabei besonders der Einsatz mehrerer Repräsentationsebenen auf einmal als schwierigkeiterzeugend eingeschätzt.

Relevanz der Aufgabeninformation Auch die Relevanz der bereitgestellten Aufgabeninformationen kann potentiell eine Hürde für Lernende darstellen, wenn diese nicht gegeben ist. So können bereits die Darstellungen zum Problembegriff und dem Konzept

des Problemraums (s. Abschnitt 2.3.2) verdeutlichen, dass die eigenständige Repräsentation der Problemsituation den Verstehensprozess des Problems darstellen. Somit können weiterführende Informationen, die jedoch keine weitere Relevanz für das eigentliche Problem haben, eine Ablenkung bedeuten, da zunächst eine weitere Bewertung dieser Information notwendig ist. Auch diese zusätzliche Schwierigkeit kann anhand der *Cognitive Load Theory* (s. Abschnitt 4.1.1) nachvollzogen werden.

Lesbarkeit Um ebenfalls den sprachlichen Anspruch von Texten zu bewerten, gibt es verschiedene Maße, die eine entsprechende Einordnung der Schwierigkeit ermöglichen sollen. So verweist Stawitz (2010) auf den Lesbarkeitsindex (LIX) nach Björnsson, der sich dabei aus der Summe der durchschnittlichen Satzlänge (SL) und die Anzahl langer Wörter (LW) zusammensetzt. Letztere zeichnen sich durch eine Länge von mehr als sechs Buchstaben aus. Somit kann für der Lesbarkeitsindex folgendermaßen berechnet werden (vgl. Lenhard & Lenhard, 2011):

$$\text{LIX} = \text{SL} + \text{LW}$$

Dabei wird die Einstufung des Wertes nach vier Stufen vorgenommen (ebd.):

1. unter 40: Kinder- und Jugendliteratur
2. 40 bis 50: Belletristik
3. 50 bis 60: Sachliteratur
4. über 60: Fachliteratur

Eine Einstufung der Lesbarkeit von Aufgaben kann somit anhand einer solchen Berechnung abgeschätzt werden.

4.4. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden verschiedene Herausforderungen skizziert, die den Prozess des Problemlösens beeinflussen. Als grundsätzliche Limitierungen wurden einerseits die Grenzen durch kognitive Belastungen anhand der *Cognitive Load Theory* ausgeführt (vgl. Abschnitt 4.1.1) und andererseits die Problematik des trägen Wissens dargestellt (vgl. Abschnitt 4.1.2), welche den hohen Anspruch des Wissenstransfers verdeutlicht. Nachfolgend wurden das Fachwissen und das Selbstkonzept als Einflussfaktoren vorgestellt, die im Bereich der Physik als relevant für den Problemlöseerfolg beobachtet wurden (Abschnitt 4.2). Außerdem wurden schwierigkeiterzeugende Merkmale dargestellt, die den Problemlöseprozess auf Aufgabenebene beeinflussen (Abschnitt 4.3). Diese wurden in Merkmale der Tiefenstruktur (vgl. Abschnitt 4.3.1) und der Oberflächenstruktur (vgl. Abschnitt 4.3.2) eingeteilt. Im nachfolgenden Kapitel wird das Problemlösen im Kontext der Lehre dargestellt.

5. Problemlösen in der Lehre

Dieses Kapitel gliedert sich einerseits in die Darstellung aktueller Herausforderungen universitärer Physiklehre und andererseits in die Darstellung bestehender Interventionsmaßnahmen zu deren Unterstützung (vgl. Abb. 5.1). Da die vorliegende Arbeit darauf zielt, ein Lehrkonzept zu entwickeln und zu evaluieren, welches die Förderung des Expertiseerwerbs in der Studieneingangsphase der Physik betrifft, werden an dieser Stelle aktuelle Rahmenbedingungen in der Studieneingangsphase beschrieben. Diese beziehen sich sowohl auf die Schwierigkeit des Studienabbruchs als auch auf die spezifischen Herausforderungen bezüglich des Problemlösens zu Beginn des Studiums. Darüber hinaus werden sowohl Merkmale klassischer Übungskonzepte dargestellt, als auch Interventionsansätze, die die bereits dargestellten Herausforderungen des Expertiseerwerbs adressieren. Anhand dieser Darstellungen soll nachfolgend ein Lehrkonzept entwickelt werden, welches sowohl Schwierigkeiten aktueller Lehrformate als auch Erkenntnisse erprobter Interventionskonzepte berücksichtigt.

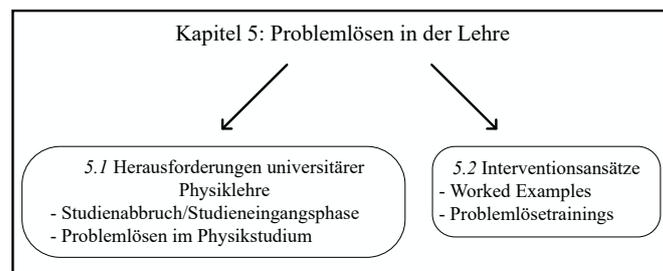


Abb. 5.1. Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge in Kapitel 5

5.1. Herausforderungen universitärer Physiklehre

Zur Berücksichtigung der Herausforderungen der Physiklehre in der Studieneingangsphase und deren Konsequenzen für das geplante Lehrkonzept, werden an dieser Stelle sowohl allgemeine Schwierigkeiten in der Studieneingangsphase als auch konkrete Herausforderungen bezogen auf Physikübungen und das Problemlösen in der Physik dargestellt.

5.1.1. Studienabbruch und Studieneingangsphase

Die vielfach zitierten Berichte von Heublein (z. B. Heublein, Schmelzer, Sommer & Wank, 2008; Heublein, Richter, Schmelzer & Sommer, 2014; Heublein & Schmelzer, 2018) berichten mittlerweile seit gut zwei Jahrzehnten über das Ausmaß und die Ursachen der Abbruchquoten an deutschen Hochschulen und Universitäten. Dabei fallen besonders die Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften immer wieder negativ durch hohe Abbruchquoten auf. Da die Einflüsse der seit 2020 herrschenden Corona-Pandemie auf die Abbruch- und Verbleibquoten noch nicht nachvollzogen werden können, werden an dieser Stelle die Daten des letzten Berichts vor der Pandemie angegeben (vgl. Heublein et al., 2022). So liegen die Abbruchquoten an Universitäten 2018 bei 43% für Mathematik und naturwissenschaftliche Fächer, sowie 35% für Ingenieurwissenschaften. An deutschen Hochschulen für angewandte Wissenschaften lassen sich ähnliche Tendenzen erkennen, wobei insgesamt geringere Abbruchquoten als an Universitäten zu beobachten sind. Die Abbruchquoten an HAWs liegen 2018 bei 39% für Mathematik und naturwissenschaftliche Fächer und bei 32% für Ingenieurwissenschaften. Bei der Beschreibung der Ursachen der Schwund- und Abbruchquoten werden vor allem Leistungs- und Prüfungsprobleme identifiziert (Heublein et al., 2010).

Eine der Konsequenzen der regelmäßigen Berichterstattungen dieser Statistiken zeigt sich in der vermehrten Erforschung der Studieneingangsphase durch die (naturwissenschaftlichen) Fachdidaktiken. Neben Arbeiten, die Faktoren des Studienerfolgs untersuchen (z. B. Sorge, Petersen & Neumann, 2016; Müller, 2019; Binder, 2021), werden ebenso Konzepte entwickelt, die unter der Berücksichtigung verschiedener Schwerpunkte eine Unterstützung dieser Phase anstreben (z. B. Haak, 2017).

Für eine solche Optimierung ist zuerst eine Betrachtung des Status Quo notwendig. So stellt Haak (2017) ebenfalls einen Überblick über die vorgestellte Problematik der Schwund- und Abbruchsquoten dar, welche sich speziell auf den Bereich der Physik fokussiert. Neben selbstregulatorischen und motivationalen Defiziten von Studienabbrecher:innen nennt sie ebenfalls die inhaltliche und strukturelle Gestaltung des Physikstudiengangs als mögliche Ursachen der Problematik. Haak identifiziert daher einen Bedarf der Verbesserung der Lehr-Lernqualität von Seiten der Universitäten.

Besondere Aufmerksamkeit lenkt Haak (2016) auf die Beschreibung der Charakteristika von Physikübungen und der damit verbundenen Vorstellungen von Dozierenden und Studierenden. Die Untersuchung bezieht sich dabei auf einen klassischen Aufbau eines Physikmoduls mit einer Vorlesung zur Vermittlung der Fachinhalte, einer Übung in der zuvor bearbeitete Hausübungen besprochen werden, um diese Fachinhalte zu vertiefen und einem Experimentalpraktikum. Dabei beschreibt Haak die „Vorrechenübung“ als klassisch an deutschen Universitäten. Daneben wird das Modell der Präsenzübung genannt, in der Aufgaben vor Ort gerechnet werden. Dieses findet sich jedoch vergleichsweise

seltener in der Physik. Eine erfolgreiche Teilnahme an den Übungen sowie ein erfolgreiches Bearbeiten der Hausübungen gelten oft als Voraussetzung für eine Klausurzulassung. Haak und Reinhold (2015) stellen im Rahmen der Implementierung eines Lernzentrums für Physikstudierende außerdem den seitens der Studierenden benannten Bedarf vor. Dabei identifizierten sie die Bearbeitung und Präsentation der Hausübungen als eine der Hauptbelastungen für Physikstudierende. Zur vertieften Darstellung dieser Bewertung werden einige der Ergebnisse von Haak (2016) aufgeführt, die die Vorstellungen von Übungsleiter:innen und Studierenden zum Übungsbetrieb untersucht hat. Die Stichprobe der Untersuchung umfasste 42 Dozierende und 24 Studierende an der Universität Paderborn. Während die Teilnehmendenzahl der Dozierenden 38,7% des Departments abbildete, entsprach die Teilnehmendenzahl der Studierenden nur etwa 10% der eingeschriebenen Studierenden. Aufgrund eines hohen Anteils von Parkstudierenden, ist der eigentliche Anteil der Studierenden jedoch höher einzuschätzen. Haak konnte hier Unterschiede in der Zielsetzung und Erwartungshaltung zwischen Studierenden und Dozierenden beobachten. Bei der Abfrage ergaben sich für die Dozierenden als wichtigste Ziele einerseits das Übertragen von Konzepten aus der Vorlesung ($M = 4.44$, $SD = .63$)¹ und andererseits das Verstehen mathematischer Konzepte zur Bearbeitung von Übungsaufgaben ($M = 4.39$, $SD = .83$). Den Studierenden ist hingegen das Vergleichen der Übungsaufgaben mit einem signifikanten Unterschied zu den Dozierenden ($t(62) = 4.510$, $p = .000$) am wichtigsten ($M = 4.33$, $SD = .70$).

Die Untersuchung von Haak (2016) verdeutlicht, dass Dozierende vor allem längerfristige, kompetenzorientierte Ziele verfolgen, während die Studierenden vor allem Wert auf kurzfristige Ziele wie einen Lösungsvergleich legen. Insgesamt kann sowohl bei Dozierenden als auch Studierenden ein großes Interesse an der Gestaltung der Übungsveranstaltungen beobachtet werden (vgl. ebd.), sodass der Eindruck eines entsprechenden Bedarfs bestätigt wird. Entsprechende Konzepte, werden bisher jedoch selten umgesetzt (Haak, 2016, S. 4):

Trotz der zentralen Bedeutung von Übungen für den Lernprozess der Studierenden gibt es zurzeit und auch in der Vergangenheit nur wenige Projekte, die sich im Fach Physik und angrenzenden Domänen mit der Verbesserung der Übungen beschäftigen.

5.1.2. Problemlösen im Physikstudium

Aufgrund der besonderen Bedeutung der Studieneingangsphase sowie der Physikübung für den Studiererfolg, wird nun die Rolle des Problemlösens und die damit einhergehenden Schwierigkeiten in eben jenem Bereich des Physikstudiums betrachtet. Dazu lassen sich die Arbeiten der Universität Paderborn betrachten, welche in den vergangenen Jahren die Studieneingangsphase im Fach Physik unter verschiedenen Blickwinkeln erforscht

¹Die Ergebnisse werden hier anhand der Mittelwerte (M) und Standardabweichung (SD) angegeben. Es wurde eine 6-stufige Likert-Skala eingesetzt.

und weiterentwickelt hat (z. B. Haak, 2017; Bauer, Lahme, Woitkowski, Vogelsang & Reinhold, 2019; Woitkowski, Rochell & Bauer, 2021). Im Rahmen des Projekts Kem Φ (Kompetenzentwicklung Physik in der Studieneingangsphase) wurde im Besonderen die Entwicklung sowohl der fachlichen Kompetenz als auch der Problemlösekompetenz längsschnittlich untersucht (z. B. Woitkowski, 2020a, 2021a, 2021b). Dabei konnten systematische Erkenntnisse zu aktuellen Problemlösefähigkeiten von Studierenden gewonnen werden, die speziell Probleme beim Bearbeiten von Übungsaufgaben in den Blick nehmen. Woitkowski (2021b) gibt dazu eine theoriebasierte Übersicht über zentrale Probleme der ersten drei Phasen des Problemlöseprozesses an:

- Scheitern bei der Problemrepräsentation, Problemstellung wird nicht verstanden und es wird kein mentales Modell erstellt
- Fehlende Kenntnis grundlegender physikalischer Terminologie
- Fehlende Struktur bei der Suche nach Informationen
- Es wird keine geeignete Formel oder Zusammenhang gefunden, die als Lösungsansatz dienen können
- Fehlende Strategie, um im Lösungsprozess weiterzukommen
- Fehlerhafte mathematische Notation, die den weiteren Problemlöseprozess nicht notwendig behindert
- Ungenügende algebraische Fähigkeiten
- Das Rechnen mit Variablen und physikalischen Größen wird als schwieriger empfunden und es wird trotz entsprechender Empfehlungen zu früh mit Zahlenwerten gerechnet

Die von Woitkowski (2021b) zusammengestellten Schwierigkeiten finden sich in Teilen bereits im Abschnitt zum Expert:innen-Noviz:innen Vergleich (Abschnitt 3.1). Sie lassen sich grob den Problemlösephasen nach Friege (2001) zuordnen. Die ersten drei Aspekte betreffen vor allem die Problemrepräsentation und finden sich vertieft in Abschnitt 3.1.3. Lediglich die fehlende Kenntnis grundlegender physikalischer Terminologie wird hier explizit ergänzt. Die Notwendigkeit dessen konnte vor allem anhand der Wissens Elemente im Modell des wissenszentrierten Problemlösens von Friege (2001) verdeutlicht werden. Die unstrukturierte Suche nach Informationen wurde sowohl anhand der Ausführungen zu Chi et al. (1981) als auch Tuminaro und Redish (2005) verdeutlicht, wobei einerseits die Bedeutung der Oberflächen- und Tiefenstruktur und andererseits die Bedeutung der mathematischen Lösungsstrategien aufgezeigt wurde. Die nächsten beiden Schwierigkeiten werden von Woitkowski (2021b) der Erarbeitung bzw. Auswahl eines Problemschemas zugeordnet. Dabei können sowohl fehlende Strategien als auch fehlendes Wissen dazu führen, dass diese Phase scheitert. Die letzten drei Punkte betreffen die Ausarbeitung einer Lösung und beziehen sich daher primär auf Schwierigkeiten des mathematischen

Vorgehens. Einige dieser Aspekte wurden bereits unter Abschnitt 3.1.4 zu Problemlösestrategien durch Tuminaro und Redish (2005) und Redish (2021) dargestellt. Die finale Phase der Evaluation findet hier keine Beachtung, da sie oftmals in der Praxis vollständig ausbleibt (vgl. Woitkowski, 2021b).

Woitkowski (2021b) nutzt diese typischen Schwierigkeiten als Kategorien, um den Lösungsprozess von 35 Fach- bzw. Lehramtsstudierenden zu analysieren. Der zugrunde gelegte Problemlösetest besteht dabei aus einem Übungszettel zum Thema gleichmäßig beschleunigte Bewegung und Würfe, dessen Aufgaben alle demselben Problemschema folgen. Lediglich neun der Studierenden waren in der Lage, einen geeigneten Lösungsansatz für alle vier Aufgaben zu erstellen und vier Studierende waren für keine der Aufgaben dazu in der Lage. Die Übertragbarkeit des gleichen zugrunde liegenden Problemschemas gelang daher oftmals nicht und es ließ sich eine große Varianz bezüglich des Lösungserfolgs feststellen. Bezüglich der zuvor identifizierten Kategorien lassen sich Schwierigkeiten bezüglich der Problemrepräsentation besonders bei schwachen Problemlöser:innen beobachten. Das Finden eines geeigneten Lösungsansatzes bereitet sogar über der Hälfte der Studierenden Schwierigkeiten. Auch die Herausforderungen bezüglich der Ausarbeitung der Lösung lassen sich alle wiederfinden, fallen jedoch etwas seltener aus. Es kann bei 32 der 35 Studierenden mindestens eine der zuvor benannten Schwierigkeiten beobachtet werden. Als Ergebnisse der Untersuchung beschreibt Woitkowski insgesamt mangelnde Problemlösefähigkeiten der Studierenden, die sich besonders in Schwierigkeiten bei der Problemrepräsentation und dem Finden eines Lösungsansatzes, also den ersten beiden Problemlösephasen, äußern.

Darüber hinaus wurden im gleichen Projekt ebenfalls Interviews geführt, die den Lösungsprozess weiter in den Fokus nehmen (Woitkowski & Reinhold, 2018; Woitkowski, 2021a). Dabei sollten die Studierenden die Aufgaben unter möglichst authentischen Bedingungen im Vergleich zur eigentlichen Vorlesung lösen. Sie konnten daher alle üblichen Unterlagen und Taschenrechner verwenden und wurden nach einer entsprechenden Einführung in die Methode dazu angehalten „laut zu denken“ (vgl. Woitkowski, 2019). Die Interviews wurden gemeinsam mit den Lösungsprotokollen und den Transkripten des lauten Denkens untersucht. Es wurde einerseits der Lösungserfolg und andererseits die Nutzung von Problemschemata betrachtet (ebd.). Woitkowski (2019) formuliert für beide Aspekte fünf Stufen, die jeweils in unabhängigen Ausprägungen voneinander auftreten können (vgl. Tab. 5.1).

Vor allem die Daten der Interviews verdeutlichen die Nutzung der Problemschemata seitens erfolgreicher Problemlöser:innen, während Studierende mit geringem Problemlöseerfolg an dieser Stelle Schwierigkeiten zeigen (vgl. Woitkowski, 2019). Eine Analyse der gegenseitigen Abhängigkeit der Entwicklung von Fachwissen und Problemschemata, ist

Tabelle 5.1. Stufen des Lösungserfolgs und der Nutzung von Problemschemata (Woitkowski, 2019)

Stufe	Lösungserfolg (je Aufgabe)	Nutzung des Problemschemas (gesamt)
A	Scheitert an Fachwissen oder Repräsentation	Kein Schema
B	Kein/falscher Lösungsansatz	Erste Ansätze
C	Unvollständiger Ansatz	Schema wird weitgehend erarbeitet
D	Richtiger Lösungsansatz mit Problemen im weiteren Verlauf	Schema als Rechenregel
E	Vollständig richtige Lösung	Schema liegt voll vor

noch nicht erfolgt (vgl. Woitkowski, 2021a). Im Verlauf des Projekts konnten diese Daten ergänzt und weiter ausgewertet werden (vgl. ebd.). Dabei bestätigen sich die Problemrepräsentation und das Finden eines Ansatzes als zentrale Schwierigkeiten. So werden Problemschemata oft gar nicht erkannt und nur in Ausnahmen sicher angewendet. Außerdem zeigen sich auch für erfolgreichere Problemlöser:innen Unsicherheiten im Umgang mit Fachbegriffen und mathematischen Operationen. Die längsschnittliche Untersuchung zeigt dabei nur vereinzelt einen Lerneffekt der Studierenden auf, sodass die Zuordnung der Probanden nach hohem und niedrigem Lösungserfolg als stabil eingeschätzt wird. Die Ergebnisse der Studie wurden zur Umgestaltung von Lehrangeboten an der Universität Paderborn genutzt, die im nächsten Kapitel dargestellt werden (vgl. 5.2.2).

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den Untersuchungen von Redish (2021) zu den besonderen Herausforderungen der Repräsentation physikalischer Inhalte. Er betrachtet vor allem die Bedeutung der Mathematik innerhalb der Physik, sodass eine weitere Differenzierung der Schwierigkeiten des Problemlösens vor diesem Hintergrund aufgezeigt werden kann:

Math in math classes tends to be about numbers. Math in science is not. Math in science blends physics conceptual knowledge with mathematical symbols. (Redish, 2021, S.1)

Diese Beobachtung betont noch einmal die inhärente Notwendigkeit des Problemlösenden, eine Interpretation der vorliegenden Problemstellung vorzunehmen, die eine einfache Reproduktion übersteigt, sondern immer auch eine Verortung mit bekannten Konzepten verlangt. Bei Woitkowski (2021a) lässt sich feststellen, dass diese Herausforderungen im Sinne einer angemessenen Problemrepräsentation oftmals scheitert. Redish (2021) führt als mathematische Schwierigkeiten im Rahmen der Problemrepräsentation weiter aus:

- die Verwendung einer Vielzahl von Symbolen mit teilweise mehrfach belegter Bedeutung
- die Bedeutung von Symbolen in der Physik ändert unsere Interpretation der zugehörigen Mengen
- die Bedeutung von Symbolen wechselt in der Physik oft von Konstante zu Variable, je nach gegebener Problemstellung
- Gleichungen dienen in der Physik oft Erklärungen und nicht Berechnungen

Die Bedeutung und Verwendung von Symbolen, Variablen und Gleichungen hat also eine fundamental andere im Kontext der Physiklehre als in der Mathematiklehre (vgl. Redish, 2021). Dieser Umstand verlangt zusätzliche Interpretation, dem die Lernenden nicht ohne weiteres gerecht werden können (vgl. ebd.). Redish hält daher fest, dass diese neue Verknüpfung von Konzepten und Mathematik ein explizites Unterrichten fordert: „That blending is neither obvious nor easy and needs to be taught.“ (Redish, 2021, S.2). Die mangelnden Problemlösestrategien der Studierenden, die bei Woitkowski (2021a) beobachtet wurden, stehen ebenfalls im Einklang mit den Ergebnissen von Tuminaro und Redish (2005), die in Abschnitt 3.1.4 vorgestellt wurden. Hier wurde beispielsweise das *Recursive Plug-and-Chug*-Verfahren vorgestellt, bei dem Noviz:innen einen Lösungssnatz allein aufgrund der beteiligten Formelzeichen auswählen, ohne jedoch die damit verbundenen physikalischen Konzepte zu berücksichtigen (vgl. ebd.). Diese Strategie ist somit an der Oberflächenstruktur orientiert und vernachlässigt gleichzeitig die Tiefenstruktur der Probleme. In Anlehnung an die Ergebnisse von Chi et al. (1981) bezüglich der Kategorisierung von Problemen durch Expert:innen und Noviz:innen (s. Abschnitt 3.1.3), lässt sich das Vorgehen als typisch für Noviz:innen einordnen, sodass für einen besseren Problemlöseerfolg eine Umorientierung auf die Tiefenstruktur von Problemen trainiert werden sollte.

Insgesamt zeigen sich vielfältige Schwierigkeiten beim Problemlösen von Übungsaufgaben in der universitären Physiklehre. Dabei stellen vor allem die ersten beiden Phasen der Problemrepräsentation und der Auswahl eines Problemschemas Studierende vor eine Herausforderung (vgl. Woitkowski, 2021a). Diese Schwierigkeiten können einerseits auf eine unzureichende Verknüpfung von Mathematik und Physik (Redish, 2021) und andererseits auf die fehlende Entwicklung von Problemschemata (vgl. Woitkowski, 2021a) zurückgeführt werden. Durch die hohe Relevanz des Übungsbetriebs in universitären Physikveranstaltungen (vgl. Haak, 2016) eignet sich hier eine Neuausrichtung zur Unterstützung des entsprechenden Lernzuwachses. Mit diesem Ziel werden im nächsten Kapitel 5.2 bisherige Förderansätze vorgestellt.

5.2. Interventionsansätze

In diesem Kapitel werden anschließend an die Perspektiven der Expertiseforschung und die identifizierten Herausforderungen des Problemlösens in der universitären Physiklehre Maßnahmen zur Förderung des Expertiseerwerbs vorgestellt. Dazu werden zum einen die Methode der Worked Examples als aufgabenbasierter Ansatz und zum anderen Charakteristika instruktionsbasierter Ansätze vorgestellt, sodass ein Überblick über bestehende Förderansätze gegeben wird.

5.2.1. Worked Examples

Worked Examples (bzw. „worked-out examples“ oder im deutschsprachigen Raum „Lösungsbeispiele“) stellen einen speziellen Aufgabentyp dar, der sich als besonders geeignet für Noviz:innen erwiesen hat (z. B. Renkl, 1997). Dabei wird gezielt der Lösungsprozess von Expert:innen veranschaulicht, um Noviz:innen ein analoges Vorgehen zu ermöglichen (Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2000). Die Methode wird insbesondere in gut strukturierten Fachgebieten wie Mathematik, Programmierung und Physik als vorteilhaft angesehen (Atkinson, Renkl & Merrill, 2003), sodass sie an dieser Stelle für die Betrachtung des wissenszentrierten Problems in der Physik geeignet ist. Trotz einer fehlenden Definition des Aufgabentyps können zentrale Gemeinsamkeiten festgehalten werden (Atkinson et al., 2000). So umfasst ein Worked Example neben der eigentlichen Problemstellung auch einen schrittweise dargestellten Lösungsweg und die Problemlösung (vgl. ebd.). Für ein erfolgreiches Lernen mit Worked Examples steht somit nicht die Lösung selbst, sondern die aktive Auseinandersetzung mit dem Beispiel im Vordergrund (VanLehn, 1996; Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989). Dies qualifiziert die Aufgaben besonders für den Beginn eines Lernprozesses, da zunächst die Strukturen und Bezüge der gelernten Informationen oft nicht ausreichend verstanden werden, um direkt eigenständig Probleme zu lösen (Atkinson et al., 2003). Daher müssen Noviz:innen oftmals auf oberflächlichere Strategien zurückgreifen (vgl. Abschnitt 3.1), die jedoch deutlich fehleranfälliger sind (z. B. Friege, 2001; Woitkowski, 2021a). Die Überlegenheit der Verwendung von Worked Examples gegenüber dem eigenständigen Problemlösen für den Erwerb kognitiver Fähigkeiten, insbesondere in der Anfangsphase, wird als *Worked-example effect* bezeichnet (Sweller & Cooper, 1985).

Wirkungsweise von Worked Examples

Der Einsatz von Worked Examples kann durch die Gestaltung der Aufgaben weiter variiert werden. Dabei lassen sich verschiedene Effekte beobachten, die die Limitierung durch kognitive Belastung (vgl. Abschnitt 4.1.1) adressieren. Moreno und Park (2010)

bieten eine Übersicht über einige dieser Effekte:

1. Goal-free effect
2. Worked-example effect
3. Split-attention effect
4. Completion effect
5. Redundancy effect

Der *Goal-free effect*, der *Worked-example effect* und der *Completion effect* beschreiben jeweils Ansätze, bei denen eine Abwendung von der klassischen Mittel-Ziel-Analyse erfolgt und der Fokus der Lernenden auf spezifische Teilaspekte des Problems gelenkt wird (vgl. Moreno & Park, 2010). Der *Goal-free effect* beschreibt, dass bei Problemen, die kein zugewiesenes Ziel beinhalten die Aufmerksamkeit stärker auf die gegebene Problemstellung und Operatoren gelenkt wird (z. B. Sweller, Mawer & Ward, 1983). Der *Worked-example effect* nutzt das klassische Aufgabenformat, das bereits Lösungsschritte und -erklärungen bereitstellt, sodass die Lernenden sich auf das Nachvollziehen dieser Begründungszusammenhänge konzentrieren können (z. B. Sweller & Cooper, 1985). Zuletzt wird beim *Completion effect* ein bereits teilweise gelöstes Problem bearbeitet, sodass die zu analysierende Distanz des aktuellen Problemzustandes zu dem gewünschten Zielzustand verringert wird und eine niedrigere Belastung auf die Lernenden zukommt (z. B. Paas, 1992). Der *Split-attention effect* und der *Redundancy effect* beschreiben hingegen, wie bei der Nutzung von Informationsquellen und -repräsentationen keine zusätzlichen externen Belastungen erzeugt werden (vgl. Moreno & Park, 2010). Nach dem *Split-attention effect* (z. B. Sweller, Chandler, Tierney & Cooper, 1990) ist eine Quelle, die alle notwendigen Informationen enthält, weniger anspruchsvoll und somit hilfreicher als verschiedene Quellen, deren Informationen ineinander integriert werden müssen. Der *Redundancy effect* (z. B. Chandler & Sweller, 1992) beschreibt ein ähnliches Phänomen für die Wiederholung bei der Informationsverarbeitung mehrerer Quellen.

Bei einigen der beschriebenen Effekte handelt es sich um Gestaltungsaspekte, die eine positive Unterstützung darstellen (*Goal-free effect*, *Worked-example effect*, *Completion effect*), während andere Effekte zu vermeiden sind, um eine Reduktion der kognitiven Belastung zu erreichen (*Split-attention effect* und *Redundancy effect*). Zu letzterer Kategorie kann auch der *Expertise reversal effect* gezählt werden, der beschreibt, dass mit zunehmender Expertise der positive Effekt von Unterstützungsmaßnahmen abnimmt oder sich sogar umkehrt, sodass Lernende mit hoher Expertise auch durch zusätzliche Maßnahmen belastet werden können, die sie nicht benötigen (Sweller, 2010). In diesem Fall werden Aktivitäten, die für Noviz:innen noch einen Beitrag zum relevanten *germane load* leisten, für Expert:innen zunehmend zum *extraneous load*, der dem Lernen im Wege steht (vgl. ebd.). Eine Sammlung weiterer Effekte, die ebenfalls auf *intrinsic* und *germane load* zurückgeführt werden, findet sich in Sweller (2010). Aufgrund der

verschiedenen dargestellten Effekte beim Einsatz von Worked Examples, wird nachfolgend die Einbettung in den Lernkontext und die Gestaltung der Aufgaben selbst näher beschrieben.

Einsatz von Worked Examples

Neben der reinen Gestaltung einer Aufgabe als Worked Example, bringt auch der konkrete Einsatz derer in der Lernsituation bestimmte Anforderungen mit sich (Wittwer & Renkl, 2010). Die Verwendung von Worked Examples in einem Lernsetting, wird von Wittwer und Renkl (2010) als *example-based learning* beschrieben. Danach setzt sich der Prozess aus drei Phasen zusammen (ebd.):

1. Allgemeine Einführung: Konzepte der jeweiligen Domäne werden vorgestellt
2. Auseinandersetzung mit passenden Worked Examples
3. Eigenständiges Problemlösen

Es wird also zunächst das deklarative bzw. konzeptuelle Wissen der Domäne eingeführt, sodass im Anschluss die Worked Examples eine weitere Vernetzung dieses Wissens ermöglichen. Renkl (2017) grenzt dabei die bloße Verwendung von Worked Examples zum *example-based learning* ab. Letzteres setzt voraus, dass zunächst eine Auswahl von Beispielen bzw. Beispiel-Problem-Paaren bearbeitet wird, bevor der Übergang zum eigenständigen Problemlösen erfolgt. Die Nutzung des *example-based learnings* konnte sich zuverlässig als lernförderlich erweisen:

There is abundant empirical evidence showing that example-based learning designed in this way is more effective than learning by solving problems alone. (Wittwer & Renkl, 2010, S. 394)

Um den Prozess des Lernens dabei näher zu beschreiben, eignet sich die Betrachtung des Phasenmodells von Anderson et al. (1997 zitiert nach Tropper (2019, S.59)), das den Fähigkeitserwerb unter Verwendung von Beispielen zeigen soll:

1. Problemlösung durch Analogiebildung
2. Entwicklung abstrakter, deklarativer Regeln zum Problemlösen
3. Entwicklung von Produktionsregeln
4. Abrufen spezifischer Beispielprobleme

Das Modell betont die besondere Eignung für Noviz:innen, da zunächst die Analogiebildung zwischen Beispiel und Problem die Anwendung der zugrundeliegenden Lösungsstrategien ermöglicht, ohne sie bereits vollständig durchdrungen haben zu müssen. Tropper (2019) führt dazu aus, dass erst durch die Auseinandersetzung mit weiteren Beispielen das Vorgehen bei spezifischen Problemtypen erarbeitet werden kann. Bis dahin sind die Lernenden also in der Lage, anhand geeigneter Beispiele neue Probleme zu lösen und die

dazu notwendigen Regeln nachzuvollziehen. Den nächsten Schritt stellt Tropper (2019) als besonders herausfordernd dar, da das deklarative Wissen nun durch prozedurales Wissen angereichert werden muss, welches die Produktionsregeln bereitstellen, um eine Verknüpfung von neuen Problemstellungen und passenden Lösungsstrategien herzustellen. Sie beschreibt daher als implizite Voraussetzung, dass die vorliegenden Probleme richtig klassifiziert werden müssen, um die geeignete Regel anwenden zu können. In der letzten Phase wird ein Zugriff auf ausreichend viele Beispiele vorausgesetzt, sodass nicht mehr nur eine Verknüpfung neuer Probleme mit einer passenden Lösungsstrategie durchgeführt wird, sondern sogar passende Lösungen spezifischer Probleme abgerufen werden.

Als wichtige Gelingensbedingung für den förderlichen Effekt der Worked Examples ist die zentrale Bedeutung der aktiven Auseinandersetzung mit dem Beispiel zu berücksichtigen, die von Chi et al. (1989) als *Self-Explanation Effect* nachgewiesen wurde. Um diese Selbsterklärung der Lernenden zu initiieren werden daher in der Regel „Prompts“ (also Aufgaben) eingesetzt, die eine solche Reflexion des zuvor gelesenen Lösungsbeispiels zum Ziel haben (z. B. Atkinson et al., 2003). Dabei soll der Fokus auf zugrundeliegende Prinzipien gelenkt werden (Renkl, 2017), um eine Analogiebildung für den eigenen Lösungsprozess zu unterstützen. Weiterführende Untersuchungen von Renkl (1997) konnten vier Selbsterklärungs-Stile identifizieren:

- antizipative (vorausschauende) Erklärungen
- prinzipienbasierende Erklärungen
- passive Erklärungen
- oberflächliche Erklärungen

Dabei haben erfolgreiche Problemlöser:innen primär die ersten beiden Erklärungsstile genutzt, während die meisten Proband:innen jedoch die weniger erfolgreichen passiven und oberflächlichen Erklärungen nutzten (ebd). Auch hier zeigen sich daher noch einmal Unterschiede des strategischen Vorgehens von Expert:innen und Noviz:innen, sodass eine Unterstützung dieses Prozesses anzustreben ist.

Aufgrund der intensiven Beforschung des Themengebiets kann an dieser Stelle kein umfassender Einblick in den Bereich des *example-based learning* und die damit zusammenhängenden Untersuchungen der *Cognitive Load Theory* gegeben werden. Für eine Vertiefung sei daher auf Atkinson et al. (2000) und Renkl und Atkinson (2010) verwiesen, die einen Überblick zum *example-based learning* anbieten. Insgesamt zeigen die Erkenntnisse zum Einsatz von Worked Examples einen förderlichen Effekt beim Expertiseerwerb von Noviz:innen.

Herausforderungen beim Einsatz von Worked Examples

Trotz des etablierten Einsatzes von Worked Examples zur Förderung der Problemlösekompetenz (Wittwer & Renkl, 2010), weist auch diese Methode noch Grenzen und Herausforderungen auf, die eine weitere Entwicklung dieses Ansatzes nahelegen. So zeigt Moreno (2006) in einer systematischen Einordnung verschiedener Ansätze zur Nutzung von Worked Examples neben bereits erreichten Vorzügen der Methode ebenfalls Aspekte auf, die anhand bestehender Arbeiten noch nicht gelöst werden konnten. Als zentrale Probleme nennt sie dabei (ebd.):

1. Probleme beim Identifizieren relevanter Informationen der Worked Examples
2. Entwicklung von Verstehensillusionen
3. Probleme bei der Generalisierung und Transfer auf neue Probleme
4. Lernende fokussieren nicht auf die relevanten kognitiven Prozesse zum Ausbilden von Problemschemata

Darüber hinaus lassen sich weitere Bedenken bezüglich der Nutzung von Worked Examples nennen. Renkl (2017) beschreibt unter anderem, dass oftmals eine Skepsis seitens Lehrender beobachtet werden kann, die befürchten, dass die Methode lediglich ein prozedurales Lernen fördert, nicht aber ein tatsächliches Verstehen anhand des konzeptuellen Wissens. Tatsächlich finden sich jedoch genau gegenteilige Effekte, sodass Untersuchungen wie von Berthold und Renkl (2009) zeigen, dass zwar das konzeptuelle Verständnis von Lernenden durch den Einsatz von Worked Examples mit zugehörigen Sekbsterklärungsaufgaben gestärkt werden kann, dies jedoch dazu führen kann, dass andere Aspekte wie prozedurales Lernen vernachlässigt werden und sogar negative Effekte erzielt werden. Dieser Effekt verschwindet jedoch bei erfahreneren Lernern wie Studierenden (ebd.).

Renkl (2017) warnt dennoch, dass die Förderung konzeptuellen Wissens teilweise auf Kosten prozeduralen Wissens in den Vordergrund rücken kann. Er führt ebenfalls an, dass Worked Examples dennoch mehr als nur Wissen über algorithmisches Vorgehen fördern, da es ebenfalls Untersuchungen gibt, die die Förderung heuristischer Fähigkeiten sowie Transferfähigkeiten zeigen. Bezüglich der Transferfähigkeit unterscheidet er in *near-transfer problems* und *far-transfer problems*. Erstere beschreiben nach ihm eine Übertragung bekannter Strategien auf ein Problem, das über eine identische Tiefenstruktur und Lösungsschritte verfügt und lediglich in oberflächlichen Aspekten wie verwendeten Zahlen und Objekten abweicht. Als *far-transfer* führt er Prozesse an, bei denen ein Lösungsweg adaptiert werden muss, sofern eine abweichende Tiefenstruktur vorliegt. Insbesondere die Förderung des *far-transfer* ist jedoch umstritten. So hinterfragt Moreno (2006) in ihrem Artikel „*When worked examples don't work: Is cognitive load theory at an Impasse?*“ die Interpretation einiger bestehender Arbeiten und geht davon aus, dass oftmals kein signifikanter Lerneffekt erzielt werden konnte. Die weiterhin bestehenden Schwierigkeiten beim Expertiseerwerb im Allgemeinen und bei der Förde-

rung dessen durch Worked Examples im Besonderen, verlangen somit nach zusätzlichen didaktischen Konzepten, wenn eine Weiterentwicklung aktueller Lehrkonzepte in dieser Hinsicht realisiert werden soll.

5.2.2. Problemlösetrainings

In Anbetracht der Ausführungen zur Expertiseforschung und den dabei vorgenommenen Beschreibungen einerseits von Expert:innenhandeln (s. Abschnitt 3.1) und andererseits von Erwerbstheorien (s. Abschnitt 3.2), die als potentielle Wege zu eben jenem Verhalten führen, ist es naheliegend, dass ebenfalls Lehrkonzepte entwickelt werden, die versuchen dieses Expert:innenhandeln als eigenes Lernziel zu betrachten und Noviz:innen explizit beizubringen. In diesem Kapitel werden daher Merkmale entsprechender Ansätze vorgestellt sowie ein entsprechendes Konzept exemplarisch dargestellt.

Gestaltung von Problemlösetrainings

Eine Darstellung der verschiedensten instruktionalen Konzepte zur Förderung der Problemlösekompetenz kann in diesem Rahmen nicht erfolgen, sodass vor allem grundlegende Aspekte derartiger Ansätze vorgestellt werden. So lassen sich nach Dörner (1987) vier Trainingsansätze unterscheiden:

1. Übungstraining
2. Taktisches Training
3. Strategisches Training
4. Denktraining

Dörner (1987) beschreibt Übungstrainings als Wiederholung eigenständigen Problemlösens, wobei die Struktur der Inhalte zwar unterstützend gegliedert sein kann, aber keine spezifische Instruktion kennzeichnend für ein solches Training ist. Als taktisches Training beschreibt er das Vorhaben einen Teilaspekt des Lösungsprozesses zu trainieren. Darunter fallen „geistige Grundoperationen“, wie z. B. die Fähigkeit zu abstrahieren oder Unterschiede zu identifizieren. Als strategisches Training werden hingegen Maßnahmen bezeichnet, die sich auf den gesamten Prozess des Problemlösens beziehen. Es werden also allgemeinere Strategien vermittelt, die sich beispielsweise auf das Lösen bestimmter Problemtypen beziehen. Zuletzt nennt Dörner die Option von Denktrainings, die sich aus den drei vorherigen Trainingstypen zusammensetzen. Trotz bisher mangelnder Erprobung beschreibt Dörner ein solches Denktraining als vielversprechenden Ansatz.

Für eine Einschätzung von Problemlösetrainings in den Naturwissenschaften lässt sich zudem die Metaanalyse von Taconis, Ferguson-Hessler und Broekkamp (2001) betrachten. Danach konnten diejenigen Ansätze einen positiven Effekt erzielen, bei denen ein Fokus

auf die Struktur und Funktion des Wissens, also die Ausbildung von Problemschemata, gelegt wurde. Dem entgegen konnten Trainings, die eine direkte Vermittlung von Strategiewissen oder das Üben von Problemlöseprozessen verfolgten, kaum einen Effekt erzielen. Die Ausbildung einer Wissensbasis zu problemspezifischen Informationen wird danach der Aneignung allgemeiner Heuristiken übergeordnet. Als weitere Merkmale erfolgreicher Interventionen identifizierten sie außerdem direktes Feedback und externe Kriterien zur Beurteilung des Problemlöseprozesses. Auch die Verwendung von Worked Examples und Concept Maps werden als unterstützende Methoden genannt. Obwohl die gezielte Weiterentwicklung der Wissensbasis durch Schemaerwerb hier als zentrale Gelingensbedingung der Förderung der Problemlösekompetenz identifiziert wird, können zu diesem Zeitpunkt nur vereinzelte Untersuchungen gefunden werden, die sich diesem Schwerpunkt widmen.

Auch in den mehr als 20 Jahren seit dieser Veröffentlichung können nur wenig Arbeiten gefunden werden, die den beschriebenen Fokus verfolgen und dabei sowohl in der Physik verortet sind, als auch einem instruktionalem Design unterliegen. Ein Großteil der Untersuchungen zur Förderung der Problemlösekompetenz in der Physik konzentrierten sich hingegen auf aufgabenbasierte Konzepte wie den unter Abschnitt 5.2.1 vorgestellten Worked Examples. Aufgrund der eher allgemeinen Natur der gesammelten Gestaltungsmerkmale, folgt zusätzlich die exemplarische Beschreibung eines derartigen Trainings. Die Auswahl der dargestellten Untersuchung begründet sich dabei in den besonders ähnlichen Rahmenbedingungen zur vorliegenden Arbeit.

Exemplarisches Projekt „Physikalische Denk- und Arbeitsweisen“

Das Lehrkonzept mit dem Titel „Physikalische Denk- und Arbeitsweisen“ von Woitkowski (2018) umfasst einerseits die explizite Nutzung von Problemschemata und andererseits die Verwendung mathematischer Werkzeuge. Es umfasst eine eigenständige Veranstaltung neben der klassischen Experimentalphysik-Vorlesung und besteht ebenfalls aus einer Kombination von Vorlesung und Übung. Das Konzept verfolgt dabei drei zentrale Ziele:

1. Konstruktiver Einsatz mathematischer Werkzeuge beim Lösen physikalischer Probleme
2. Entwicklung und Erprobung von Problemschemata
3. Modellgeleitete Strukturierung des eigenen Problemlöseprozesses

Dabei wird die hohe Mathematisierung universitärer physikalischer Probleme besonders berücksichtigt, indem das ACER-Modell (Wilcox, Caballero, Rehn & Pollock, 2013) als Grundlage der Vermittlung mathematischer Kenntnisse einbezogen wird. Dadurch sollen die vielseitigen Probleme berücksichtigt werden, die Studierende bei den mathematischen Aspekten der Lösung physikalischer Aufgaben haben, wie z. B. fehlende Fachkenntnisse,

Überführung der physikalischen Aufgabenstellungen in eine Gleichung oder der mathematischen Lösung als solcher (Woitkowski, 2018). Das zugrundegelegte ACER-Modell wird in diesem Fall genutzt, um die wesentlichen Aspekte eines Lösungsprozesses für die Studierenden explizit zu machen. Dabei beruht das Modell auf den vier Schritten: *i)* Aktivierung der mathematischen Werkzeuge, *ii)* Konstruktion eines Modells, *iii)* Ausführung der mathematischen Lösung und *iv)* Reflexion der Ergebnisse (s. Abbildung 5.2).

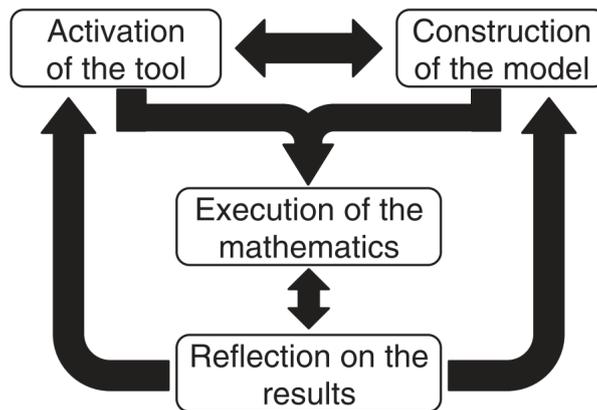


Abb. 5.2. ACER Modell (Wilcox et al., 2013, S.020119-4)

Woitkowski (2018) nutzt das Modell im Rahmen der Vorlesung, um neben der Vermittlung mathematischer Inhalte den Problemlöseprozess explizit zu thematisieren. Darüber hinaus wird der physikalische Teil der Vorlesung genutzt, um im Sinne der Schemaentwicklung eine große Auswahl an klassischen Beispielproblemen zu präsentieren. Die Übungen werden anders als in einem klassischen Übungsbetrieb (vgl. Haak, 2016) studierendenzentriert gestaltet, indem jeweils eine komplexere Übungsaufgabe vorab durch die Studierenden aufbereitet wird und während der Übung in einer Gruppendiskussion gelöst werden soll. Dieses Vorgehen bietet zusätzlich den Vorteil, dass eine deutlichere Trennung von Lern- und Leistungssituation erreicht werden kann, als bei der üblichen Bewertung von entweder der Abgabe der Lösungen oder der Präsentation ebener (Woitkowski, 2018).

Als Ergebnis des Vorhabens präsentiert Woitkowski (2018) einen Erfahrungsbericht des beschriebenen Konzepts. Dieser zeigt, dass Studierende teilweise aufhören die Veranstaltung zu besuchen, obwohl sie das Angebot als hilfreich einschätzen. Als Grund werden dafür andere Veranstaltungen genannt, die als schwieriger und wichtiger eingeschätzt werden, sodass diese als vorrangig bewertet werden. Auch die formalen Bedingungen führen zur Konkurrenz mit parallelen Lehrveranstaltungen, insbesondere der Experimentalphysik in denen umfangreichere Vorbereitungen der Studierenden geleistet werden müssen. Eine intrinsisch hohe Bewertung der Relevanz der thematisierten Methoden scheint daher fraglich. Bezüglich der Relevanz der mathematischen Inhalte kann sogar

eine Ablehnung seitens der Studierenden beobachtet werden. Die Übung wird insgesamt besser angenommen als die Vorlesung, was auf die Eingebundenheit in den Lernprozess zurückgeführt wird. Dabei zeigen die leistungsstärkeren Studierenden eine aktivere Rolle in der Gruppendiskussion, sodass zu beachten ist, dass die schwächeren Studierenden nicht ein rein passives Lernverhalten annehmen. Es fällt zudem die Tendenz auf, primär leistungsorientiert statt prozessorientiert zu arbeiten, sodass trotz der beobachtbaren Aneignung der gelernten Problemlöseprozesse und Nutzung der zugehörigen Mathematik, dennoch weiterhin auf unreflektierte Strategien (wie z. B. die Übernahme von Lösungen aus dem Internet) zurückgegriffen wird.

Der beschriebene Ansatz berücksichtigt bereits viele strukturelle Aspekte zur Vermittlung von Problemlösestrategien, sodass er nach Dörner (1987) mindestens die Aspekte eines Übungstrainings und taktischen Trainings erfüllt und ggf. auch als Kombination aller Ansätze als Denktraining beschrieben werden kann. Der Erfahrungsbericht zeigt jedoch, dass neben der rein didaktischen Ausgestaltung besonders auch organisatorische und formale Rahmenbedingungen ausschlaggebend scheinen, um eine ausreichende Relevanz der methodischen Inhalte bei den Studierenden zu generieren. Darüber hinaus liegt eine Evaluation im Sinne einer Messung der angestrebten Ziele nicht vor.

5.3. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das Problemlösen im Rahmen der Physiklehre beschrieben. Dazu wurde ein Überblick über ein aktuelles Bild der universitären Physiklehre im Hinblick auf den Aspekt des Problemlösens dargestellt (vgl. Abschnitt 5.1). Dabei wurde die sensible Phase des Studieneinstiegs und die Bedeutung der Übungsveranstaltungen hervorgehoben (Abschnitt 5.1.1), sowie die derzeit mangelnden Problemlösekompetenzen auch nach den ersten Semestern des Studiums problematisiert (Abschnitt 5.1.2). Anhand dieser Ausgangslage wurden nachfolgend Ansätze vorgestellt, die bisher als Förderansätze im Hinblick auf die Problemlösekompetenz in der Physik Verwendung finden. Zu diesem Zweck wurden sowohl Merkmale aufgabenbasierter (Abschnitt 5.2.1) als auch instruktionsbasierter (vgl. Abschnitt 5.2.2) Ansätze dargestellt. Der Aufgabentyp der Worked Examples wird vorgestellt, indem sowohl lernförderliche Effekte (Abschnitt 5.2.1) als auch relevante Gestaltungsbedingungen für den Einsatz (vgl. Abschnitt 5.2.1) beschrieben werden. Gleichzeitig werden mögliche Grenzen der Methode angesprochen (vgl. Abschnitt 5.2.1).

In Ergänzung zu dieser Methode wurde außerdem ein Einblick in die Gestaltung von Problemlösetrainings gegeben, welche auf instruktionaler Ebene konzipiert sind (Abschnitt 5.2.2). Dabei konnten einige Erkenntnisse der Expertiseforschung bereits als zielführend

für die Praxis bewertet werden (Abschnitt 5.2.2). Als zentrales Anliegen wird dabei erneut die Ausbildung von Problemschemata hervorgehoben, um den Problemlöseerfolg zu verbessern. Eine konkrete Ausgestaltung solcher Problemlösetrainings findet sich jedoch selten, sodass weitere Anknüpfungsmöglichkeiten für Lehrkonzepte bestehen, die besonders die flexible Anwendung von Problemschemata als Ziel verfolgen sollten. Als Beispiel wurde das Lehrkonzept „Physikalische Denk- und Arbeitsweisen“ (Woitkowski, 2018, 2021a) angeführt, dessen Beobachtungen zusätzliche formale und motivationale Herausforderungen bei der Gestaltung eines solchen Konzepts aufzeigen. Eine Übertragung derartiger Ansätze in die Praxis findet jedoch selten statt (vgl. Haak, 2016).

Insgesamt lassen sich somit sowohl die Nutzung von Worked Examples als auch ein Fokus auf die Vermittlung von Problemschemata für Physikübungsveranstaltungen an deutschen Universitäten als Schwerpunkt identifizieren, um eine explizite Förderung der Problemlösekompetenz von Studierenden zu verfolgen.

Teil II.

Durchführung und Methodik

6. Forschungsfragen und -hypothesen

Die bisher dargestellten Untersuchungen zur Expertiseforschung und zum Prozess des wissenszentrierten Problemlösens stellen die Aneignung von Problemschemata als zentral für einen effektiven und fehlerfreien Problemlöseprozess heraus (vgl. Abschnitte 2.5.2, 3.1.2, 4.1.1 und 5.1.2). Diese gelten bisher als kognitive Ressource, die primär Expert:innen zur Verfügung steht, da sie über die Bearbeitung einer Vielzahl von Beispielpunkten erworben werden und somit stark mit der bisherigen Erfahrung zusammenhängen. Noviz:innen so früh wie möglich zu diesen Strukturen zu verhelfen, um das vorhandene Fachwissen bestmöglich für den Problemlöseprozess nutzen zu können, kann daher als vielversprechendes Ziel eingeschätzt werden.

Ein bereits etabliertes Konzept zur Förderung des Problemlösens von Noviz:innen stellt der Aufgabentyp des Worked Examples dar (vgl. Abschnitt 5.2.1). Dieser unterstützt eine kognitive Entlastung, um die vorhandenen Ressourcen im Lernprozess bestmöglich zu nutzen (vgl. Sweller & Cooper, 1985). Eine Vielzahl von Studien konnte mit dem *Worked-example Effect* Vorteile für den Lernprozess gegenüber dem eigenständigen Problemlösen nachweisen (z. B. Sweller & Cooper, 1985; VanLehn, 1996; Renkl & Atkinson, 2010).

In der Praxis zeigt sich jedoch, dass Studierende zu Beginn ihres Studiums dazu neigen, schwache Lösungsstrategien anzuwenden und nicht in der Lage sind, ihr Fachwissen auf vorgestellte Probleme zu übertragen (vgl. Abschnitt 5.1.2). Dabei kann beobachtet werden, dass in entsprechenden Lehrveranstaltungen eine Vermittlung des Wissens über das Problemlösen zwar stattfindet, jedoch nur implizit thematisiert wird (Woitkowski, 2018).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Konzeption und Evaluation eines Physikübungskonzepts, das den Fokus auf die Ausbildung von Problemschemata und Vermittlung von Problemlösestrategien setzt. Da der Einsatz von Worked Examples bereits als etablierte Methode zur Förderung des Lernerfolgs beim Problemlösen und zur Verringerung der kognitiven Belastung der Lernenden gilt (vgl. Wittwer & Renkl, 2010), können sie als Grundlage eines solchen Konzepts gewählt werden. Die Verwendung zielt dabei auf eine Erhöhung des *germane cognitive load*, der den Schemaerwerb und die Automatisierung beim Lernen anzeigt und auf eine Verringerung des *extraneous cognitive Load*, der ebenfalls Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses verwendet (vgl. Abschnitt 4.1.1). Da sich

diese Methode zwar als förderlich erweist, aber auch Grenzen in ihrer Wirkung zeigt (vgl. Moreno, 2006), steht die Entwicklung eines darauf aufbauenden Strategietrainings im Fokus der Arbeit. Dieses verfolgt die explizite Förderung der Problemschemaentwicklung. Es ergeben sich an dieser Stelle drei Forschungsfragen, die die Evaluation des geplanten Übungskonzepts betreffen.

F.1: Inwiefern gelingt unter der Verwendung von Worked Examples durch ein zusätzliches Strategietraining die Entwicklung von Problemschemata?

Die Verwendung von Problemschemata ist ein zentrales Merkmal von Expert:innenhandeln (z.B Sweller, 1988; Friege, 2001; Woitkowski, 2021a). Die Ausbildung solcher Schemata wird im Rahmen von Theorien des Expertiseerwerbs diskutiert (vgl. Abschnitt 3.2). Dabei verfolgt unter anderem die *ACT-Theorie* eine Trennung von deklarativem und prozeduralem Wissen, die sich in den meisten Beschreibungen von Wissensstrukturen wiederfindet (vgl. Abschnitt 2.4.1). Diese Trennung kann nach dem Modell von Hailikari et al. (2007) in weitere Wissenskomponenten unterteilt werden. Die erste Komponente des *knowledge of facts* wird hier als Fachwissen verstanden, das durch die Vorlesung vermittelt wird und daher nicht weiter im Fokus der Arbeit steht. Die weiteren Wissenskomponenten können im Hinblick auf die hier zu untersuchenden Problemschemata interpretiert werden. Die Verknüpfung von Wissens-elementen, die Problemschemata voraussetzen, findet sich sowohl in der Kategorie des *knowledge of meaning* als auch der *integration of knowledge* wieder. Ersteres wird dem Wissensprozess als Teil des deklarativen Wissens und letzteres dem Verstehensprozess als Teil des prozeduralen Wissens zugeordnet (vgl. ebd.). Schließlich wird die Wissensanwendung als weiterer Teil des prozeduralen Wissens betrachtet, die beim Problemlösen selbst beobachtet werden kann (vgl. ebd.). Diese drei Aspekte sind bei der Untersuchung von Problemschemata zu unterscheiden. Auch die empirischen Ergebnisse von Friege und Lind (2006) sprechen für eine getrennte Betrachtung verschiedener Wissenskomponenten. In diesem Fall wurde eine relevante Unterscheidung zwischen deklarativem, konzeptuellem Wissen und Wissen über Problemschemata festgestellt. Für den Nachweis der Entwicklung von Problemschemata wird daher zunächst das deklarative Wissen über Problemschemata untersucht:

H.1.1: Es lässt sich eine Entwicklung von Problemschemata durch gewonnenes deklaratives Wissen über Problemschemata nachweisen, die auf das eingesetzte Strategietraining zurückgeführt werden kann.

Die Hypothese H.1.1 kann als bestätigt betrachtet werden, wenn ein signifikant höherer Lernzuwachs für das deklarative Wissen über Problemschemata nachgewiesen werden kann. Für die Verknüpfung zum eingesetzten Strategietraining muss dieser Lernzuwachs mit dem einer Kontrollgruppe verglichen werden. Aufgrund des Gruppenvergleichs müssen daher Unterschiede der Gruppen im Hinblick auf bekannte Prädiktoren kontrolliert

werden, sodass die Interventionsgruppe keine besseren Voraussetzungen bezüglich des Fachwissens oder des Selbstkonzepts haben sollte.

Sofern eine verbesserte Entwicklung von Problemschemata nach **H.1.1** nachgewiesen werden kann, besteht der nächste Schritt in der Anwendung dieses Wissens, welche im Rahmen der zweiten Forschungsfrage untersucht wird:

F.2: Inwiefern gelingt unter der Verwendung von Worked Examples durch ein zusätzliches Strategietraining eine Verbesserung des Problemlöseerfolgs?

Für die Anwendung des Wissens wird der Einteilung des prozeduralen Wissens nach Hailikari et al. (2007) gefolgt, sodass zunächst die Integration des Wissens und im zweiten Schritt das Problemlösen selbst evaluiert wird. Im Modell von Friege (2001) entspricht dies der Erarbeitung eines geeigneten Problemschemas sowie der Ausarbeitung der zugehörigen Lösung. Bei erfolgreicher Aneignung der Problemschemata, wird zunächst eine Verbesserung des Auswahlprozesses der Problemschemata erwartet:

H.2.1: Es lässt sich eine verbesserte Auswahl bzw. Erarbeitung von Problemschemata nachweisen, die auf das Strategietraining zurückgeführt werden kann.

Die Hypothese H.2.1 kann als bestätigt betrachtet werden, wenn für die Interventionsgruppe ein signifikant höherer Zuwachs der Angabe geeigneter Lösungsansätze zu physikalischen Problemen nachgewiesen werden kann.

Da der Prozess des wissenszentrierten Problemlösens nach Friege (2001) aus vier verschiedenen Lösungsphasen besteht und unterschiedliche Herausforderungen für Noviz:innen darstellt (vgl. Woitkowski, 2021b), kann überprüft werden, ob unter der Voraussetzung einer positiven Beantwortung der ersten beiden Hypothesen ebenfalls eine positive Verbesserung des gesamten Problemlöseerfolgs beobachtet werden kann. Woitkowski (2021a) zeigt in seinen qualitativen Untersuchungen zu den Problemlösefähigkeiten von Studierenden, dass die ersten beiden Phasen des Problemlöseprozesses eine besonders hohe Herausforderung für die Lernenden darstellen. Unter der Annahme, dass durch die Ausbildung der Problemschemata der zweite Problemlöseschritt gefördert werden konnte (H.2.1), ist es lohnenswert, zu überprüfen, ob diese Schwierigkeiten eine erfolgreiche Bewältigung der übrigen Phasen ggf. erschwert haben und sich somit ebenfalls ein erhöhter Problemlöseerfolg für den gesamten Prozess beobachten lässt.

H.2.2: Sofern die Hypothesen H.1.1 und H.2.1 angenommen werden können, lässt sich eine Verbesserung des Problemlöseerfolgs für den weiteren Problemlöseprozess nachweisen, die auf das Strategietraining zurückgeführt werden kann.

Die Hypothese H.2.2 kann als bestätigt betrachtet werden, wenn für die Interventionsgruppe ein signifikant höherer Lernzuwachs für

- den gesamten Problemlöseerfolg
- die Problemrepräsentation
- die Ausführung des Lösungsansatzes
- oder die Evaluation der Lösung

nachgewiesen werden kann. Da nicht der vollständige Problemlöseprozess Fokus des Strategietrainings ist, wird nur ein schwacher Effekt (Cohens $d \leq .2$) erwartet.

Da in anderen Untersuchungen bereits verschiedene Profile von Physiklernenden herausgearbeitet wurden, die unter anderem Unterschiede im Bezug auf die Beliebtheit verschiedener Tätigkeiten zeigen (Brandenburger, 2017), ist bei einem theoretischeren Lernformat zu berücksichtigen, welche Einstellungen die Studierenden zu den eingesetzten Maßnahmen haben. Da Studierende mitunter kurzfristige und lösungsorientierte Ziele bei der Teilnahme an einer Übung verfolgen (vgl. Haak, 2016), könnte ein strategiebezogener Ansatz diesen Wünschen entgegenstehen. Darüber hinaus beeinflussen die Überzeugungen von Studierenden ihre Problemlösestrategien (vgl. Redish, 2021), sodass ihre Einstellungen zur Relevanz der geübten Methoden bedeutungsvoll ist. Aus diesem Grund sollen die Einstellungen der Studierenden sowohl zu den Worked Examples als auch zu den strategischen Lösungsverfahren, die dem Strategietraining zugrunde liegen, untersucht werden. Dabei soll eine ablehnende Haltung als möglicher Störfaktor für den Erfolg des Strategietrainings ausgeschlossen werden.

F.3: Inwiefern können ablehnende Einstellungen der Studierenden bezüglich des besonderen Lernsettings festgestellt werden?

Aufgrund der klaren Forschungslage zur Effektivität von Worked Examples für Noviz:innen (vgl. Wittwer & Renkl, 2010), wird davon ausgegangen, dass der unterstützende Effekt der Aufgaben spätestens nach der Verwendung (also am Ende des Semesters) für die Studierenden deutlich wird und sie diese somit als eher hilfreich einschätzen. Auch die beobachtete Leistungsorientierung der Studierenden (Woitkowski, 2018) legt nahe, dass die Worked Examples als sinnvoll erachtet werden, da die Möglichkeit der Übertragung auf eigene Lösungswege gut erkennbar ist. Daher werden keine ablehnenden Haltungen bezüglich der Worked Examples erwartet:

H.3.1. Es liegen keine ablehnenden Einstellungen bezüglich der Methode der Worked Examples vor.

Die Hypothese H.3.1 kann als bestätigt betrachtet werden, wenn der Durchschnitt der Studierenden Eigenschaften von Worked Examples als eher hilfreich bewertet. Es werden keine Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe erwartet.

Da das Verhalten der Studierenden stärker auf Leistung und weniger auf den Prozess des Problemlösens ausgerichtet ist (Woitkowski, 2018), könnte die Auseinandersetzung mit strategischen Elementen des Lösungsprozesses als weniger relevant eingeschätzt werden, da die Übertragbarkeit der Lerninhalte eine direkte Analogiebildung weniger deutlich macht als die Nutzung von Worked Examples. Daher kann es zu negativen Einstellungen der Studierenden gegenüber diesem Ansatz kommen:

H.3.2: Es liegen ablehnende Einstellungen bezüglich der Auseinandersetzung mit strategische Lösungsverfahren bei den Studierenden der Interventionsgruppe vor.

Die Hypothese H.3.2 kann als bestätigt betrachtet werden, wenn der Durchschnitt der Studierenden Eigenschaften strategischen Lernens als weniger hilfreich bewertet. Da nur die Interventionsgruppe eine explizite Auseinandersetzung mit strategischen Lösungsverfahren erfährt, können hier eventuell Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe insbesondere zu Semesterende aufkommen.

7. Forschungsdesign

Der folgende Teil der Arbeit beschreibt die Durchführung und das methodische Design der Studie. In diesem Kapitel wird das Forschungsdesign der Studie vorgestellt, das die zuvor formulierten Forschungsfragen berücksichtigt (vgl. Abschnitt 6). Im zweiten Kapitel wird das entwickelte Übungskonzept vorgestellt (vgl. Abschnitt 8). Dazu werden zunächst das Lehrkonzept und das eingesetzte Lernmaterial beschrieben (vgl. Abschnitte 8.1 und 8.2), bevor auf die methodische Entwicklung eingegangen wird (vgl. Abschnitte 8.3 und 8.4). Im dritten Kapitel folgt die Darstellung der Datenerhebung für die Vor- und Hauptuntersuchung (vgl. Abschnitt 9).

7.1. Anlage des Forschungsdesigns

Zur Untersuchung der vorgestellten Forschungsfragen wird eine Interventionsstudie durchgeführt, die die Neugestaltung eines Physikübungskonzepts zum Ziel hat. Zielgruppe sind Studierende zu Beginn ihres Studiums. Die Lernenden können zu diesem Zeitpunkt als Noviz:innen in Bezug auf das wissenszentrierte Lösen von Physikaufgaben eingeschätzt werden (vgl. Woitkowski, 2021a).

Die Gestaltung des Konzepts orientiert sich an den Erkenntnissen, die über das erfolgreiche Problemlösen von Expert:innen bekannt sind (vgl. Kapitel 2). Die Expertiseentwicklung der Studierenden soll durch die Fokussierung auf die Vermittlung von Problemschemata und Problemlösestrategien gefördert werden. Die Ausarbeitung dieses Konzepts wird in Kapitel 8 erläutert. Um sowohl die Förderung der Entwicklung von Problemschemata (F.1), als auch die Förderung des Problemlöseerfolgs (F.2) auf das entwickelte Konzept zurückführen zu können, wird dieses mit dem bestehenden Physikübungskonzept kontrastiert. Dieses Konzept wird als klassische „Vorrechnübung“ (vgl. Haak, 2016) umgesetzt. Die Evaluation der Forschungsfragen erfolgt somit im klassischen Kontrollgruppendesign. Entsprechende Maßnahmen zur erfolgreichen Vergleichbarkeit der Gruppen werden in Abschnitt 7.2 dargestellt. Das Übungskonzept, das im Rahmen der Studie als Intervention zur Beantwortung der Forschungsfragen entwickelt wurde, wird im Folgenden als Strategietraining bezeichnet. Die Gruppe, die an diesem Strategietraining teilnimmt, wird dementsprechend als Interventionsgruppe bezeichnet. Die Gruppe der Studierenden,

die an der klassischen Übung teilnimmt, wird als Kontrollgruppe bezeichnet. Ausgehend von den dargestellten Forschungsfragen werden Worked Examples entwickelt, die als Grundlage für das Strategietraining dienen. Da der positive Einfluss der Worked Examples selbst bereits als belegt gilt (z. B. Wittwer & Renkl, 2010), stellen die Worked Examples keinen Teil der Intervention dar und werden in beiden Gruppen gleichermaßen eingesetzt.

Die Testinstrumente zur Evaluation des Konzepts werden sowohl in der ersten Vorlesungswoche als auch in der letzten Vorlesungswoche eingesetzt, um einen Prä-Post-Vergleich zu ermöglichen. Die abhängigen Variablen der Untersuchung umfassen das deklarative Wissen über Problemschemata, die Auswahl von Problemschemata und die Problemlösekompetenz. Als Kontrollvariablen werden neben personenbezogenen Daten das Fachwissen in Physik und das Selbstkonzept als bekannte Prädiktoren erhoben (vgl. Brandenburger, 2017). Zur Berücksichtigung der Einstellungen der Studierenden zu den Interventionsmaßnahmen werden diese ebenfalls als Kontrollvariablen betrachtet (F.3). Eine genaue Beschreibung der entsprechenden Testinstrumente und der Datenerhebung erfolgt in Abschnitt 9.4.

7.2. Methodische Rahmenbedingungen des Kontrollgruppensigns

Da für eine valide Evaluation der Forschungsfragen die methodische Umsetzung der Intervention von großer Bedeutung ist (s. auch „interne Validität“ in Abschnitt 9.3.2), werden an dieser Stelle die organisatorischen Rahmenbedingungen der Intervention dargestellt. Da sich die Intervention mit einem ganzen Semester über einen vergleichsweise langen Zeitraum erstreckte und eine Aufteilung der Stichprobe vorlag, wurden Maßnahmen ergriffen, um einen vergleichbaren Ablauf der Lehrveranstaltungen zu ermöglichen und zusätzliche Störeinflüsse zu vermeiden. Aufgrund des stark interaktiven Lehrkonzepts wurde die Gruppengröße zu Beginn des Semesters begrenzt, sodass eine Aufteilung in insgesamt fünf Gruppen erfolgte. Dabei wurde die Gruppenstärke schrittweise erhöht, um eine zufällige und gleichzeitig gleichmäßige Belegung durch die Studierenden zu ermöglichen. Weitere Einflüsse durch ähnliche Tageszeiten und Räume wurden ebenfalls berücksichtigt. Ein wesentlicher Aspekt zur Vermeidung von Störeinflüssen während der Lehrveranstaltung bestand darin, dass die Lehre in allen betroffenen Gruppen von der Doktorandin selbst durchgeführt wurde. Ein Vorteil bestand somit allein darin, dass es sich immer um die gleiche Lehrperson handelte. Einflüsse durch Lehrstil oder Personenmerkmale wie Geschlecht, Alter, Fachwissen etc. konnten somit nicht auftreten. Darüber hinaus konnte so die Unterscheidung zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe

besonders strikt durchgesetzt werden. Dies wurde durch eine strenge Dokumentation vor, während und nach jeder Veranstaltung sichergestellt. So wurden vorab explizite Vorgaben dokumentiert, welche Elemente die Erklärungen in den jeweiligen Gruppen enthalten durften. Dabei wurde darauf geachtet, dass alle Gruppen den Anspruch auf eine gleichwertige fachliche Unterstützung hatten und nur in der Art der Hinweise unterschieden wurde. Während der Veranstaltungen wurde zudem der zeitliche Ablauf der einzelnen Phasen genau festgehalten, sodass einerseits alle Interventions- und Kontrollgruppen untereinander gleich behandelt wurden und andererseits analoge Phasen auch zwischen den Gruppen gleich eingeteilt wurden. Darüber hinaus wurden Fragen, die einen fachlich relevanten Beitrag darstellten, notiert und auch in den anderen Gruppen aufgegriffen. Dieser Prozess konnte dadurch unterstützt werden, dass ein Teil der Fragen bereits im Vorfeld erfasst wurde, sodass bereits vor der Veranstaltung in der ersten Gruppe Transparenz über die zu thematisierenden Fragen bestand.

8. Physikübungskonzept

In diesem Kapitel wird das Physikübungskonzept als zentrales Produkt dieser Arbeit vorgestellt. Zunächst wird die Umsetzung des Konzepts beschrieben. Dies umfasst sowohl eine Beschreibung des Strategietrainings als auch des verwendeten Lernmaterials (vgl. Abschnitte 8.1 und 8.2). Das Konzept wird zunächst anhand der Rahmenbedingungen der Implementierung und der Struktur des Strategietrainings im Überblick dargestellt (vgl. Abschnitt 8.1), bevor eine detaillierte Beschreibung der methodisch-didaktischen Entscheidungen erfolgt (vgl. Abschnitt 8.3). Das Lernmaterial wird anhand von drei Elementen beschrieben. Diese umfassen die entwickelten Worked Examples (vgl. Abschnitt 8.2.2), klassische Übungsaufgaben (vgl. Abschnitt 8.2.1) und zusätzliche Lernhilfen (vgl. Abschnitt 8.2.1). Abschließend werden die methodischen Überlegungen zur Gestaltung des Lernmaterials dargestellt (vgl. Abschnitt 8.4). In diesem Zusammenhang wird eine systematische Aufgabenanalyse präsentiert, die als Grundlage für die Problemauswahl entwickelt und angewendet wurde (vgl. Abschnitt 8.4.1).

8.1. Struktur des Strategietrainings

In diesem Abschnitt wird die Intervention in Form des entwickelten Strategietrainings vorgestellt. Vorab werden die praktischen Rahmenbedingungen der Lehrveranstaltung, sowie deren curriculare Verortung angegeben (s. Abschnitt 8.1.1). Anschließend folgt eine Darstellung der Struktur des Strategietrainings sowie eine Übersicht der Lernziele und ihrer Verteilung auf die einzelnen Seminareinheiten. Eine detaillierte Beschreibung einzelner Elemente und deren methodischer Begründung findet sich in Abschnitt 8.3.

8.1.1. Rahmenbedingungen der Lehrveranstaltung

Die Lehrveranstaltung wurde im Rahmen des Moduls *Naturwissenschaften* an der Hochschule Ruhr West durchgeführt. Die Inhalte beziehen sich auf das Teilgebiet der Mechanik, das in die Inhaltsbereiche Kinematik, Kräfte, Energie und Impuls unterteilt wird. Das Modul gliedert sich in ein Seminar (2 SWS), eine Übung (2 SWS) und ein Praktikum (1 SWS). Das Seminar erfüllt in diesem Fall die Funktion der klassischen Vorlesung. Da diese in Form des Flipped Classroom Konzeptes¹ durchgeführt wird, findet eine

¹Unter „Flipped Classroom“ wird dabei ein Lehrformat verstanden, bei dem der instruktionale Teil des Lernens in einem individuellen Rahmen durchgeführt wird (beispielsweise durch Lehrvideos durch

Vertiefung der Inhalte in der Lehrveranstaltung vor Ort statt. Das Seminar gliedert sich zum einen in eine Diskussion der Fragen der Studierenden und zum anderen in das im Folgenden dargestellte Strategietraining. Weitere Details zum Seminaaraufbau folgen in Abschnitt 8.3.1.

Im Rahmen der freiwilligen Übung können die Übungsaufgaben vor Ort bearbeitet werden. In dieser Zeit können die Studierenden einerseits in Gruppen die Aufgaben bearbeiten und diskutieren und andererseits inhaltliche Fragen klären, die von der anwesenden Lehrperson beantwortet werden. Eine zusätzliche aktive Unterstützung ist hier explizit nicht vorgesehen, sondern soll sich auf die Zeit während des Seminars beschränken. Dies ermöglicht zusätzlich eine hohe Vergleichbarkeit der Gruppen, da über das Seminar hinaus stark kontrollierte Bedingungen herrschen. Der stärkste nicht kontrollierbare Faktor besteht in der unterschiedlichen Auseinandersetzung der Studierenden mit den Modulinhalten in ihrer Freizeit. Die Übung wird also nicht durch weitere Inhalte beeinflusst, sondern nur aus Gründen des Forschungsdesigns. Die Einteilung in Interventions- und Kontrollgruppe wird daher auch in der Übung beibehalten. Das Praktikum findet wie in den vergangenen Semestern unabhängig von der Intervention statt. In einer klassischen Modulaufteilung in Vorlesung und Übung entspricht das hier beschriebene Seminar der Physikübung, da hier die Diskussion der bearbeiteten Aufgaben im Vordergrund steht und wird daher als solches Konzept vorgestellt.

8.1.2. Ziele und Elemente des Strategietrainings

Im folgenden Abschnitt wird die Struktur des Strategietrainings anhand der enthaltenen Elemente sowie einer Übersicht der Lernziele dargestellt. Die zentralen Ziele des Strategietrainings richten sich entsprechend der Forschungsfragen (vgl. Kapitel 6) auf den Aufbau von Problemschemata und die Vermittlung von Problemlösestrategien, wie sie üblicherweise bei Expert:innen zu beobachten sind (vgl. Abschnitt 3.1). Das Konzept lässt sich nach Dörner (1987) als Denktraining klassifizieren, da es sowohl die Übung des eigenständigen Problemlösens, als auch das gezielte Trainieren einer bestimmten Problemlösephase, sowie allgemeine Problemlösestrategien umfasst.

Dies soll erreicht werden, indem die Studierenden in einem ersten Schritt für die Notwendigkeit belastbarer Problemlösestrategien sensibilisiert werden und ihr eigenes Vorgehen vor diesem Hintergrund reflektieren.

Das Strategietraining besteht insgesamt aus einer übergeordneten Einführung, vier Erarbeitungszyklen der inhaltsspezifischen Problemschemata und Heuristiken und einem Abschluss (vgl. Abb. 8.1). Die Einführung dient zunächst der Sensibilisierung und Motivation für die Notwendigkeit belastbarer Problemlösestrategien bei der Bearbeitung von

den/die Lehrende:n) und die Präsenzzeit der Lehre für gemeinsames, vertiefendes Lernen genutzt wird (vgl. Bergmann & Sams, 2014)

Physikaufgaben. Im Mittelpunkt steht ein kognitiver Konflikt, der durch die Reflexion der eigenen Lösungsverfahren aufgelöst werden soll. Die inhaltliche Arbeit des Strategietrainings orientiert sich, wie bei einem klassischen Übungskonzept, an der Besprechung der zuvor bearbeiteten Übungsaufgaben. Da die Veranstaltung in vier Inhaltsbereiche gegliedert ist, wird für jeden Inhaltsbereich ein strukturgleicher Erarbeitungszyklus durchlaufen. Primäres Ziel ist die strategische Analyse der Problemsituation und die Überführung in einen geeigneten Lösungsansatz. Dazu werden die Kenntnisse zum Problemlöseprozess von Expert:innen (vgl. Abschnitt 3.1) genutzt, um den strukturellen Ablauf des Lösungsprozesses nachzuahmen und als methodisches Schema anzueignen. Der Prozess vom Verstehen der Problemsituation bis zur Formulierung des Lösungsansatzes wird also in einer Art Übersetzungsprozess durchlaufen. Um den Prozess selbst zu strukturieren und nachvollziehbar zu gestalten, wird der Transfer von der Aufgabenebene über die konzeptuelle Ebene zum Lösungsansatz als Dreischritt eingeführt und während des gesamten Semesters beibehalten. Mit Hilfe dieses Dreischritts wird Wissen über charakteristische Aufgabenmerkmale, Problemtypen und Lösungsansätze erarbeitet. Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von Problemtypen je Inhaltsbereich variiert auch die zeitliche Umsetzung dieser Phase. Darüber hinaus wird jeweils eine inhaltspezifische Heuristik erarbeitet, die abstrahierte Schritte zur Bearbeitung von Aufgaben aus dem jeweiligen Inhaltsbereich enthält. Die Anwendung der Heuristik wird jeweils exemplarisch eingeübt. Nach der Erarbeitung der Problemtypen und Heuristiken für die einzelnen Inhaltsbereiche wird in einer abschließenden Sitzung der Transfer des Wissens über Problemschemata geübt. Dabei entwerfen die Studierenden eigene Aufgaben nach dem Vorbild eines selbst gewählten Problemtyps und überprüfen gegenseitig die Einhaltung dieser Struktur durch eine selbständige Bearbeitung.

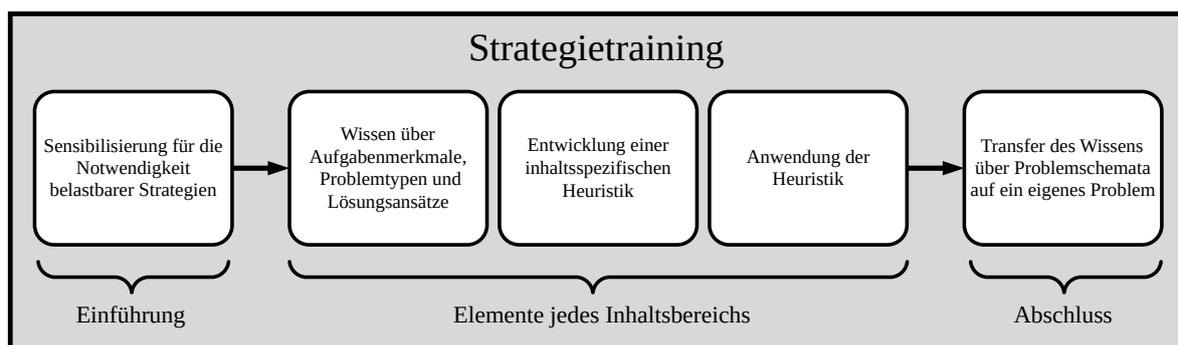


Abb. 8.1. Übersicht der Struktur des Strategietrainings

Zur Übersicht werden die Lernziele der einzelnen Sitzungen angegeben (s. Tab. 8.1 und 8.2). Eine ausführliche Dokumentation der einzelnen Sitzungspläne und des Lehrmaterials ist zur Weiterverwendung bereits veröffentlicht (Plicht, 2023).

Tabelle 8.1. Übersicht der Lernziele des Strategietrainings für Sequenzen zu Einführung, Kinematik und Kräfte

Unterrichtseinheit	Lernziel
<i>Sequenz 1: Einführung</i>	Die SuS können ...
Einheit 0: Kognitiver Konflikt	... ihr methodisches Vorgehen beim Lösen von Physikaufgaben beurteilen und Stärken und Schwächen des eigenen Handelns benennen. ... den Mehrwert eines strategischen Vorgehens gegenüber dem Plug-and-Chug-Verfahren benennen.
<i>Sequenz 2: Kinematik</i>	Die SuS können ...
Einheit 1:	... die vier Schritte eines klassischen Problemlöseprozesses benennen und beschreiben. ... diese Schritte auf die Strukturierung von Physikaufgaben beziehen und anhand eines Beispiels erläutern. ... die drei Aspekte Aufgabenmerkmale, konzeptuelle Merkmale und Lösungsansatz als Strukturierungshilfe beschreiben, um einen Problemtyp zu erarbeiten.
Einheit 2:	... die zentralen Merkmale eines exemplarischen Problemtyps der Kinematik benennen. ... den Lösungsansatz eines exemplarischen Problemtyps der Kinematik benennen und anwenden. ... die (bisherigen) Problemtypen aus dem Bereich der Kinematik benennen.
Einheit 3:	... exemplarische Problemtypen für mehrdimensionale Bewegungen benennen und beschreiben. ... die Heuristik aus dem Bereich der Kinematik benennen und beschreiben.
Einheit 4:	... die Heuristik aus dem Bereich der Kinematik für die relevanten Problemtypen anwenden.
<i>Sequenz 3: Kräfte</i>	Die SuS können ...
Einheit 5:	... die zentralen Merkmale eines exemplarischen Problemtyps der Kräfte benennen. ... den Lösungsansatz eines exemplarischen Problemtyps der Kräfte benennen und anwenden. ... die (bisherigen) Problemtypen aus dem Bereich der Kräfte benennen
Einheit 6:	... die zentralen Merkmale weiterer Problemtypen aus dem Bereich der Kräfte benennen. ... die konkreten Lösungsansätze weiterer Problemtypen aus dem Bereich Kräfte benennen. ... weitere Problemtypen aus dem Bereich der Kräfte benennen. ... eine allgemeine Heuristik für die relevanten Problemtypen aus dem Bereich Kräfte benennen.

Tabelle 8.2. Übersicht der Lernziele des Strategietrainings für Sequenzen zu Energie und Impuls

Unterrichtseinheit	Lernziel
<i>Sequenz 3: Energie</i>	Die SuS können ...
Einheit 7:	... die Heuristik aus dem Bereich der Energie für die relevanten Problemtypen beschreiben und anwenden.
Einheit 8:	... die zentralen Merkmale der relevanten Problemtypen aus dem Bereich der Energie benennen. ... die Lösungsansätze der (bisherigen) Problemtypen der Energie benennen. ... die (bisherigen) Problemtypen aus dem Bereich der Energie benennen.
<i>Sequenz 4: Impuls</i>	Die SuS können ...
Einheit 9:	... die Heuristik aus dem Bereich der Impulserhaltung beschreiben und für die relevanten Problemtypen anwenden.
Einheit 10:	... die zentralen Merkmale der relevanten Problemtypen aus dem Bereich der Impulserhaltung benennen. ... die Lösungsansätze der Problemtypen der Impulserhaltung benennen. ... die Problemtypen aus dem Bereich der Impulserhaltung benennen. ... den passenden Problemtyp und Lösungsansatz einer Aufgabe aus den verschiedenen Inhaltsbereichen erkennen.
<i>Sequenz 5: Abschluss</i>	Die SuS können ...
Einheit 11:	... selbst eine lösbare Aufgabe zu einem Problemtyp erstellen, die bekannte Aufgabenmerkmale und konzeptuelle Merkmale berücksichtigt. ... den passenden Problemtyp einer Aufgabe aus einem bekannten Inhaltsbereichen erkennen und den passenden Lösungsansatz anwenden.

8.2. Struktur des Lernmaterials

In diesem Abschnitt wird das eingesetzte Lernmaterial beschrieben. Das verbreitete Vorgehen, den Studierenden wöchentlich Übungsaufgaben zu stellen (vgl. Haak, 2016), die als wissenszentrierte Probleme klassifiziert werden können (vgl. Woitkowski, 2019), wurde bewusst beibehalten und als Ausgangspunkt für die Intervention genutzt. Aus diesem Grund wurde die Gestaltung der Übungsblätter systematisch in die Planung des Übungskonzepts einbezogen.

Das Lernmaterial ist für alle Studierenden identisch und unterscheidet nicht zwischen den Gruppen. In diesem Abschnitt werden alle Gestaltungsmerkmale der Übungsblätter dargestellt, die im Folgenden unter dem Begriff Lernmaterial zusammengefasst werden. Davon zu unterscheiden ist das Vorlesungsmaterial, das für die Intervention nicht verändert, sondern lediglich inhaltlich abgestimmt wurde. Dieses umfasst sowohl Präsentationsfolien als auch Lehrvideos des Dozenten, die eine Aufzeichnung des Vortrags synchron zu den jeweiligen Folien enthalten.

Das Lernmaterial besteht jeweils aus einem Worked Example und weiteren klassischen Übungsaufgaben. Sowohl die Abstimmung der klassischen Übungsaufgaben untereinander als auch in Bezug auf das Worked Example standen im Fokus der Entwicklung. Im Folgenden werden zunächst die Gestaltungsmerkmale der klassischen Aufgaben vorgestellt. Anschließend wird der Aufbau der Worked Examples beschrieben. Nähere Erläuterungen zur methodischen Umsetzung und dem dafür entwickelten Kodiermanual folgen in Abschnitt 8.4.

8.2.1. Struktur klassischer Übungsaufgaben

Die Kompetenz zur Unterscheidung von Oberflächen- und Tiefenstruktur stellt ein wesentliches Merkmal von Expert:innen dar (vgl. Abschnitt 3.1). Um diese Strukturebenen im Rahmen der Studie bewusst zu steuern, wurde eine Aufgabenanalyse durchgeführt, die diese Aufgabenmerkmale kategorisiert (vgl. Plicht, Härtig & Dorschu, 2021, 2020). In diesem Abschnitt werden zunächst allgemeine Lernhilfen vorgestellt, die für das Lernmaterial berücksichtigt wurden, bevor die Steuerung der Aufgabenmerkmale beschrieben wird. Dabei wird zwischen der Steuerung der Tiefenstruktur und der Steuerung der Oberflächenstruktur unterschieden.

Lernhilfen

Neben der Auswahl und Adaption geeigneter Aufgaben auf Basis der Aufgabenanalyse werden weitere Gestaltungsaspekte festgelegt, die als allgemeine Lernunterstützung gelten. Dazu werden zusätzliche Hinweise formuliert, die die Bearbeitung einer Teilaufgabe weiter

strukturieren. Ziel ist es, einerseits den Studierenden, die insbesondere zu Beginn des Semesters noch Schwierigkeiten mit der eigenen Strukturierung des Lösungsprozesses haben, eine zusätzliche Hilfestellung zu geben und andererseits auch auf diesem Wege Parallelen zwischen dem Vorgehen bei verschiedenen Lösungsprozessen aufzuzeigen. Die Zerlegung in einzelne Vorüberlegungen, die für eine Aufgabe angestellt werden müssen, soll zusätzlich verdeutlichen, dass eine sofortige Suche nach einer passenden Formel nicht zielführend ist, sondern eine eigenständige Analyse des Problems notwendig ist. Dies soll eine weitere Unterstützung darstellen, um die mangelnde Eignung üblicher Lösungsstrategien, wie des recursive Plug-and-Chug-Verfahrens (vgl. Abschnitt 3.1.4), zu verdeutlichen.

Um den Studierenden das Ziel und die Funktion der Lernhilfen zu erläutern, wird neben der mündlichen Instruktion immer auch ein Hinweis auf dem Lernmaterial angegeben (vgl. Abb. 8.2). Die Lernhilfen (hier: *Zwischenaufgaben*) werden dabei immer als Ergänzung zu den regulären Aufgaben angegeben, sodass sie lediglich als Hinweis und nicht als obligatorische Aufgabenschritte zu verstehen sind. Zur besseren Unterscheidung werden Aufgaben mit Lernhilfen als Lernaufgaben und Aufgaben ohne Lernhilfen als Testaufgaben bezeichnet. Diese Terminologie folgt nicht einer klassischen Begriffsverwendung in der Didaktik (z. B. Kauertz et al., 2015), sondern wird funktional für die Studierenden verwendet, um zu unterscheiden, welche Aufgaben der Einübung neuer Fachinhalte dienen und welche Aufgabenformulierungen dem Prüfungsformat entsprechen.

Die Lernhilfen sind kleinschrittig formuliert, um die Rolle der für viele Aufgaben notwendigen Grundüberlegungen zu verdeutlichen und gleichzeitig die aufgabenspezifischen Schritte aufzuzeigen. Für das angeführte Beispiel der Kinematik (vgl. Abb. 8.3) kann so z. B. die Relevanz eines Bezugssystems betont werden, das für jede Aufgabe definiert werden muss. Außerdem wird der Teil der Aufgabenstellung hervorgehoben, der für den spezifischen Lösungsansatz dieser Aufgabe berücksichtigt werden muss (hier Schritt *iv.* in Abb. 8.3).

Die Aufgaben auf diesem Übungsblatt werden in zwei Kategorien eingeteilt: Lern- und Testaufgaben. Dies dient dazu Ihnen einen realistischeren Eindruck von der abschließenden Prüfung zu ermöglichen.

Es gibt Aufgaben, die dazu dienen das neu gelernte Fachwissen anzuwenden und gleichzeitig Tipps zum strategischen Bearbeiten der Aufgabe geben. Diese Hilfestellungen werden in Form von eingerückten Zwischenaufgaben gegeben, die jeweils zur darüberstehenden Teilaufgabe gehören. **Es müssen nicht immer alle Zwischenaufgaben zur Lösung der Aufgabe bearbeitet werden.** Sie dienen vielmehr dazu Ihnen eine zielführende Herangehensweise an derartige Aufgaben aufzuzeigen. **Bedenken Sie jedoch, dass sie Hinweise zur erfolgreichen Bearbeitung enthalten und daher an die erforderlichen Teilschritte angelehnt sind.** Die Zwischenaufgaben werden vor allem zu Beginn eines Themas eingesetzt, um mit den zugehörigen Ansätzen vertraut zu werden.

Diese **Lernaufgaben** werden mit folgendem Symbol gekennzeichnet: 

Neben den Lernaufgaben gibt es Testaufgaben. Sie werden ohne entsprechende Zwischenaufgaben verwendet. Dies soll Ihnen einen Eindruck vermitteln, welche Teilschritte und Zwischenüberlegungen in der Prüfungssituation eigenständig getroffen werden müssen.

Diese **Testaufgaben** werden mit folgendem Symbol gekennzeichnet: 

Abb. 8.2. Instruktionstext zu Lernhilfen

Aufgabe: Ballwurf

Ein Ball wird senkrecht nach oben geworfen. Die Abwurfhöhe beträgt $s_{0,y} = 1,8\text{ m}$ und die Anfangsgeschwindigkeit $v_{0,y} = 12\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

a) Berechnen Sie, wann der Ball den höchsten Punkt erreicht.

- Legen Sie ein Bezugssystem (Nullpunkt und Richtung) fest.
- Geben Sie an, welcher Bewegungstyp vorliegt.
- Geben Sie die entsprechenden Bewegungsgleichungen zunächst allgemein an und vereinfachen Sie diese dann entsprechend der vorliegenden Bewegung.
- Geben Sie an, was Sie über den höchsten Punkt der Bahnkurve wissen und formulieren Sie dies als Gleichung.
- Stellen Sie die Gleichung nach der gesuchten Größe um.

Abb. 8.3. Beispiel von Lernhilfen zu einer Teilaufgabe aus dem Bereich der Kinematik

Steuerung der Aufgabenmerkmale

Zur gezielten Steuerung der Aufgabenmerkmale wurde eine Aufgabenanalyse durchgeführt. Die Aufgabenmerkmale teilen sich einerseits in Kategorien, die gezielt variiert werden und sich primär auf die Tiefenstruktur der Aufgaben beziehen (vgl. Tab. 8.10) und andererseits in Kategorien, die konstant gehalten werden und sich auf die Oberflächenstruktur der Aufgaben beziehen (vgl. Tab. 8.11). Mit Hilfe dieser Steuerung wird die Aufgabenschwierigkeit sowohl über die einzelnen Themenbereiche als auch über das Semester hinweg kontinuierlich gesteigert.

Die zentrale Funktion ist der Vergleich der Tiefenstruktur der Aufgaben in Bezug auf die verwendeten Problemschemata. Zur Operationalisierung wurde ein Kodiermanual entwickelt, das eine systematische Kontrolle dieser Merkmale zulässt (s. Anhang). Die berücksichtigten Kategorien leiten sich aus den bereits dargestellten Einflussfaktoren der Problemschwierigkeit ab (vgl. Abschnitt 4.3). Nachfolgend werden zunächst die gewählten Ausprägungen der Aufgabenmerkmale beschrieben. Weitere Ausführungen zur methodischen Umsetzung der Aufgabenanalyse sowie zur Evaluation der Güte des Kodiermanuals werden im Rahmen der methodischen Entwicklung dargestellt (s. Abschnitt 8.4.1).

Tabelle 8.3. Variierte Aufgabenmerkmale

Aufgabenmerkmale	Quelle	Kategorien
Inhaltsbereich	Woitkowski (2015)	Kinematik, Kräfte, Energie, Impuls
Problemstruktur	Plicht et al. (2021)	Oberkategorien: gleichförmige Bewegung, beschleunigte Bewegung, mehrdimensionale Bewegung, Kreisbewegung, Kräfte, Energie, Impuls, mathematische Ergänzung
Hierarchische Komplexität für Lernaufgaben	adaptiert nach Bernholt (2010)	Grundlegende Prozessbeschreibung, Grundlegende lineare Kausalität, Adaptierte Prozessbeschreibung, Adaptierte lineare Kausalität, Zusammengesetzte multivariate Interdependenz, Multivariate Interdependenz
Lösungsmöglichkeiten	Plicht et al. (2021)	eine Lösung, mehrere Lösungen, eine zentrale Lösung
Mathematisierung	Schoppmeier et al. (2012)	keine Mathematisierung, Berechnen, Umformen, Umgang mit funktionalen Zusammenhängen, Modellieren

Tabelle 8.4. Konstante Aufgabenmerkmale

Aufgabenmerkmale	Quelle	Kategorien
Teilaufgaben	-	keine Teilaufgaben, unabhängige Teilaufgaben, abhängige Teilaufgaben
Art der Aufgabeninformation	Stawitz (2010)	Aufgabentext, Bild, Grafik, Tabelle, Diagramm, Zahlen, Andere
Relevanz der Aufgabeninformation	-	Lösungsrelevant, zusätzliche Textinformation, weitere zusätzliche Information
Lesbarkeitsindex	Björnsson nach Stawitz (2010)	

Steuerung der Tiefenstruktur

An dieser Stelle wird zunächst die Gestaltung der Aufgabenmerkmale beschrieben, die variiert werden. Diese gehören der Tiefenstruktur an.

Inhaltsbereich Die Einteilung folgt der bereits bestehenden inhaltlichen Strukturierung der Lehrveranstaltung in die vier Bereiche: Kinematik, Kräfte, Energie und Impuls.

Problemstruktur der Aufgaben Im Rahmen der Intervention wird darauf geachtet, dass die Studierenden zu Beginn des Semesters Aufgaben mit möglichst ähnlicher Problemstruktur erhalten. Der Begriff der Problemstruktur umfasst dabei sowohl den fachspezifischen Inhalt als auch Aspekte der Problemstellung und des Problemziels. Dies soll als Ausgangspunkt dienen, um die gleiche Systematik in der Problemrepräsentation und in der Lösung der Aufgaben hervorzuheben. Die ähnliche Problemstruktur trotz unterschiedlicher Oberflächenmerkmale² soll dazu dienen, genau diesen Unterschied mit den Studierenden zu thematisieren. Vor diesem Hintergrund ist die Abstimmung dieser Kategorie zentral für die Durchführung des Strategietrainings. Zur Operationalisierung dieser Dimension wurde ein System entwickelt, in dem den einzelnen Elementen der Problemstruktur Codes zugeordnet werden. Das Verfahren wird in Abschnitt 8.4.1 erläutert. Im Verlauf des Semesters wird die Ähnlichkeit der Problemstruktur sukzessive reduziert, um auch eine Flexibilität in der Anwendung des Wissens im Sinne eines Transfers zu ermöglichen. Dies ermöglicht es ebenfalls, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Problemstruktur in der Aufgabenstellung herauszuarbeiten und dient somit auch der Weiterentwicklung innerhalb des Strategietrainings.

²Unterschiede in der Oberflächenstruktur beziehen sich hier auf die Wahrnehmung der Lernenden, z. B. durch unterschiedliche Kontexte. Auf der Strukturebene werden die Merkmale wie dargestellt konstant gehalten.

Komplexität der Aufgaben Die Aufgaben eines jeden Inhaltsbereichs beginnen mit einer geringen Komplexität, die im Laufe des Themas ansteigt. Insgesamt wird im Laufe des Semesters eine zunehmende Komplexität der Aufgaben verfolgt, wobei zu Beginn eines neuen Themas eine Verringerung der Komplexität erfolgen kann (vgl. Tab. 8.5). Zur Steuerung der Komplexität über das Semester hinweg wird für jedes Übungsblatt eine durchschnittliche Komplexität ermittelt, die zunächst über die einzelnen Aufgaben und dann über das gesamte Übungsblatt normiert wird. Dabei werden auch die zusätzlichen Lernhilfen berücksichtigt, die sich in einer Verringerung der jeweiligen Komplexität widerspiegeln (vgl. Abschnitt 8.4.3). Sie dienen der weiteren Entlastung des Lösungsprozesses und werden im Laufe des Semesters reduziert. Die Übersicht über die Komplexität der einzelnen Aufgaben (s. Tab. 8.5) zeigt, dass die Lernhilfen etwa bis zur Mitte des Semesters eingesetzt wurden und bei den Aufgaben aus den Bereichen Energie und Impuls nicht mehr verwendet wurden.

Tabelle 8.5. Komplexität des Lernmaterials

Übungsblatt	Inhaltsbereich	Aufgabe 1		Aufgabe 2		Aufgabe 3		Durchschnittliche Komplexität des Übungsblattes
		ohne	mit	ohne	mit	ohne	mit	
Berücksichtigung von Lernhilfen								
Übungsblatt 1	Kinematik	2,50	1,30	5,00	0,83	5,00	0,71	0,95
Übungsblatt 2	Kinematik	4,00	-	4,00	0,78	5,00	1,08	1,95
Übungsblatt 3	Kinematik	6,00	0,67	5,00	-	7,00	0,88	2,18
Übungsblatt 4	Kinematik	6,00	-	3,66	-	4,80	-	4,82
Übungsblatt 5	Kräfte	4,66	3,42	5,00	-	4,50	-	4,31
Übungsblatt 6	Kräfte	5,00	-	4,40	-	6,00	-	5,13
Übungsblatt 7	Energie	5,25	-	4,00	-	-	-	4,63
Übungsblatt 8	Energie	5,00	-	5,25	-	-	-	5,10
Übungsblatt 9	Impuls	6,00	-	5,66	-	-	-	5,83
Übungsblatt 10	alle (Wiederholung)	6,33	-	5,50	-	-	-	5,92

Anmerkung. Die einzelnen Kategorien der hierarchischen Komplexität wurden hier von 1 bis 7 durchnummeriert, sodass ein Maximalwert von 7 nicht überschritten werden kann.

Um für dieses Merkmal auch gegenüber den Studierenden Transparenz zu schaffen, wird zusätzlich eine abgeleitete Kategorie der *Niveaustufen* eingeführt. Diese wird zur besseren Verständlichkeit und Übersichtlichkeit in vier Stufen unterteilt:

1. Niveaustufe: *grundlegende Prozessbeschreibung* und *grundlegende lineare Kausalität*
2. Niveaustufe: *adaptierte Prozessbeschreibung* und *adaptierte lineare Kausalität*
3. Niveaustufe: *zusammengesetzte multivariate Interdependenz*
4. Niveaustufe: *multivariate Interdependenz*

Diese Einteilung soll den Studierenden Rückmeldung darüber geben, welche Art von Aufgaben sie lösen können und welche nicht, um damit die Einschätzung ihrer eigenen Fähigkeiten erleichtern. Die Studierenden erhalten sowohl mündliche als auch schriftliche Instruktionen darüber, welche Bedeutung die Niveaustufen für sie haben (vgl. Abb. 8.4).

Die nachfolgenden Aufgaben werden im Sinne der Transparenz in Niveaustufen eingeteilt. Hintergrund ist, dass zu verschiedenen Phasen des Lernens unterschiedliche Funktionen der Aufgaben benötigt werden. Dadurch sind die eingesetzten Aufgaben unterschiedlich komplex.

Um Ihnen zur Vorbereitung auf die Prüfung einen Eindruck zu vermitteln, welches Aufgabenniveau sie bereits bewältigen können, wird die Komplexität der Aufgaben jeweils angegeben. Die Einteilung erfolgt nach folgendem Schema:

Niveau I:
Verwendung eines einfachen Zusammenhangs
(z.B. bloßes Einsetzen von Werten in eine bekannte Formel)

Niveau II:
Verknüpfen einfacher Zusammenhänge
(z.B. das Erkennen eines Kräftegleichgewichts oder eines Erhaltungssatzes)

Niveau III:
Mindestens ein vorstrukturierter, komplexer Zusammenhang
(z.B. Herleitung einer Formel, die durch Teilaufgaben vereinfacht wird)

Niveau IV:
Mindestens ein komplexer Zusammenhang
(z.B. eigenständige Herleitung einer allgemeinen Formel)

Abb. 8.4. Instruktionstext zu Niveaustufen

Lösungsmöglichkeiten Um den Schwierigkeitsgrad im Laufe des Semesters zu steigern, werden zunächst vor allem Aufgaben mit nur einer Lösungsmöglichkeit eingesetzt. Im Verlauf des Semesters werden zunehmend Aufgaben eingesetzt, die mehrere Lösungsmöglichkeiten zulassen und somit einen höheren Anspruch haben.

Mathematisierung der Aufgaben Bei der Gestaltung der Mathematisierung liegt der Schwerpunkt zu Beginn auf den Kategorien *Umformen* und *Umgang mit funktionalen*

Zusammenhängen. Zur Steigerung des Schwierigkeitsgrades wird im Laufe des Semesters zunehmend die Kategorie *Modellieren* mit einbezogen.

Steuerung der Oberflächenstruktur

Hier werden die Aufgabenmerkmale beschrieben, die konstant gehalten werden. Diese gehören alle zur Oberflächenstruktur.

Kontext Der Kontext kann als wesentliches Merkmal der Oberflächenstruktur von Aufgaben verstanden werden (vgl. Chi et al., 1981). Gleichzeitig wurde in Abschnitt 4.3.2 dargestellt, dass diese Dimension aufgrund der hohen Subjektivität der Einflussfaktoren zusätzliche Informationen seitens der Lernenden benötigt, um eine adäquate Klassifizierung vornehmen zu können. Da dies im Rahmen der vorliegenden Arbeit und im Hinblick auf deren Fokus einen unverhältnismäßig hohen Ressourcenaufwand bedeuten würde, kann diese Dimension hier nicht systematisch abgebildet werden. Um den Einfluss der Dimension dennoch zu berücksichtigen, werden Kontexte gewählt, die eher als alltäglich eingeschätzt werden.

Teilaufgaben Da die eingesetzten Aufgaben durch einen Problemlöseprozess bearbeitet werden sollen, der eine gezielte Problemrepräsentation voraussetzt, weisen nahezu alle Aufgaben eine Tiefenstruktur auf, die eine konzeptuelle Abhängigkeit zwischen den Aufgabenteilen bedingt. Die Konstruktion von Aufgaben mit unabhängigen Teilaufgaben würde häufig zu einer Abfrage isolierter Wissens Elemente führen, was nicht dem Fokus wissenschaftlicher Probleme entspricht. Aus diesem Grund wurden bis auf zwei Ausnahmen alle Aufgaben ohne Teilaufgaben oder mit abhängigen Teilaufgaben konstruiert.

Art der Aufgabeninformation Zur Einteilung der Aufgabeninformationen werden die Kategorien nach Stawitz (2010) verwendet (vgl. Abschnitt 4.3.2). Es wird die Verwendung von Grafiken, Diagrammen, Tabellen und Aufgabentexten erfasst. Der Aufgabentext wird zusätzlich nach seinem Umfang eingeteilt. Die Unterscheidung erfolgt hier nach der Anzahl der Propositionen in *kurz*, *mittel* und *lang*. Um eine zusätzliche Belastung des Cognitive Load durch unterschiedliche Darstellungsformen zu vermeiden (vgl. Abschnitt 4.1.1), wurde die Art der Aufgabeninformation überwiegend in Form von Texten und Zahlen dargestellt. Die Aufgabentexte wurden zudem eher kurz gehalten. Darüber hinaus wurde mit Ausnahme der Worked Examples maximal eine weitere Repräsentationsform verwendet. Dazu wurde entweder eine Grafik oder ein Diagramm und in seltenen Fällen eine Tabelle verwendet.

Relevanz der Aufgabeninformation Da eine Abstraktion zwischen relevanten und irrelevanten Aufgabeninformationen einen zusätzlichen Cognitive Load bedeutet (vgl. Abschnitt 4.3.2, Abschnitt 2.3.2 zum Konzept des Problemraums und Abschnitt 4.1.1 zur Cognitive Load Theory), wird hier eine entsprechende Entlastung angestrebt, indem ausschließlich lösungsrelevante Informationen in den Aufgaben dargestellt werden.

Lesbarkeit Die Lesbarkeit wird hier anhand des Lesbarkeitsindex (Björnsson (nach Stawitz, 2010), vgl. Abschnitt 4.3.2) geprüft. Um eine zusätzliche sprachliche Herausforderung zu vermeiden, wird ein Grenzwert von 50 festgelegt, der der Einstufung *Sachliteratur* entspricht.

8.2.2. Worked-Examples

In Abschnitt 5.2.1 wurde die Wirksamkeit von Worked Examples zur Förderung der Problemlösekompetenz dargestellt, sodass entsprechende Aufgaben als fester Bestandteil des wöchentlichen Lernmaterials integriert wurden. Lediglich in der vierten Woche der Intervention wurden keine Worked Examples integriert, da hier die Wiederholung der bereits erarbeiteten Problemtypen der Kinematik und deren Anwendung im Vordergrund stand.

Da die Worked Examples als Grundlage für das selbstständige Lösen weiterer Aufgaben dienen, werden sie immer als erste Aufgabe des Übungsblattes präsentiert. Die Worked Examples bestehen neben der Aufgabenstellung aus einer Lösung, die durch zusätzliche Beschreibungen und Grafiken die Vorgehensweise des Lösungsprozesses aufzeigt. Anhand dieser Beschreibungen sollen die Studierenden die Begründungszusammenhänge für ihren Problemlöseprozess nachvollziehen. Die Arbeiten von Chi et al. (1989) konnten zeigen, dass eine eigenständige Auseinandersetzung mit dem Worked Example für diesen Prozess entscheidend ist (vgl. *Self-Explanation Effect* in Abschnitt 5.2.1). Dementsprechend wurden Aufgaben formuliert, die von den Studierenden aufgabenbezogene Erklärungen verlangen. Ein Großteil dieser Aufgaben fokussiert auf die Begründung einzelner Lösungsschritte (vgl. Abb. 8.5).

Im Rahmen des vorliegenden Lehrkonzepts ist es von besonderer Bedeutung, dass die Problemstruktur der Worked Examples mit der Problemstruktur der klassischen Aufgaben des Übungsblattes abgestimmt wird, um eine Analogiebildung zu unterstützen. Zu Beginn des Semesters wird auf eine sehr hohe Übereinstimmung der Problemstruktur geachtet, um die Lernenden bei der Bearbeitung zu unterstützen. Im Verlauf eines Inhaltsbereichs und im Verlauf des Semesters nimmt diese Ähnlichkeit ab, um ein zu spezifisches Beispielwissen zu vermeiden und die Möglichkeit des Transfers zu berücksichtigen. Die methodische

Lösungsbeispiel: Schrottplatz

Auf dem Schrottplatz hebt ein Kran ein Autowrack mit einer Geschwindigkeit von $v_0 = 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ hoch. Plötzlich, in einer Höhe $s_0 = 15,0 \text{m}$ löst sich der Blechhaufen.

a) Stellen Sie die Bewegungsgleichungen für die vorgegebene Situation auf.

Zunächst wird die allgemeine Bewegungsgleichung für eine beschleunigte Bewegung mit Anfangsbedingungen aufgestellt.

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

Dabei kann für jede Raumrichtung eine eigene Bewegungsgleichung aufgestellt werden. Für die vorgegebene Situation können wir uns auf die y-Richtung beschränken. Wir wissen, dass die Erdbeschleunigung nach unten wirkt ($a = -g$), eine Anfangsgeschwindigkeit $v_{0,y}$ vorliegt und es sich um eine Anfangshöhe handelt $s_0 = s_{0,y}$. Es gilt demnach:

$$\begin{aligned} s_y(t) &= -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_{0,y} \cdot t + s_{0,y} \\ v_y(t) &= -g \cdot t + v_{0,y} \end{aligned}$$

Bearbeiten des Lösungsbeispiels

Betrachten Sie das oben gezeigte Lösungsbeispiel als Prototyp für eine spezielle Aufgabenklasse. Um die Systematik dieses Aufgabentyps zu erschließen, bearbeiten Sie die nachfolgenden Aufgaben mit Bezugnahme auf die Vorlesungsinhalte:

Zu a)

- 1) Bei der angegebenen Lösung wurde vergessen das Bezugssystem vorab festzulegen. Für eine sinnvolle Lösung muss dieses ergänzt werden!
Fertigen Sie eine aussagekräftige Skizze zu der Situation an und ergänzen Sie das Bezugssystem entsprechend der aufgestellten Gleichungen.
- 2) Begründen Sie, warum die genannten Bewegungsgleichungen an dieser Stelle für die beschriebene Bewegung zutreffen. Nehmen Sie dazu Bezug auf die einzelnen Summanden, Vorzeichen und die Richtung der Bewegung.
Berücksichtigen Sie außerdem wie $s(t)$ und $v(t)$ mathematisch zusammenhängen.

Hinweis: Die Elemente einer Addition werden Summanden genannt.

$$s(t) = \underbrace{\frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2}_{\text{Summanden}} + \underbrace{v_0 \cdot t}_{\text{Summanden}} + \underbrace{s_0}_{\text{Summanden}}$$

Summanden der Bewegungsgleichung

Abb. 8.5. Beispiel: Ausschnitt des Worked Examples zur beschleunigten Bewegung und zugehörige Bearbeitungsaufträge

Umsetzung anhand der Aufgabenanalyse wird in Abschnitt 8.4.1 beschrieben. Für eine erfolgreiche Analogiebildung zu den klassischen Aufgaben des Übungsblattes wird die Komplexität des Worked-Examples stets am höchsten gewählt, da ansonsten ein Transfer erfolgen müsste, der an dieser Stelle zu anspruchsvoll wäre und dem Ziel der Entlastung hier nicht zuträglich wäre. Auch bei den Worked Examples erfolgte ein wöchentliches Feedback zur Bearbeitung durch die Studierenden, um den individuellen Lernprozessen der Studierenden bestmöglich gerecht zu werden und spezifische Probleme mit dem Aufgabenformat zu identifizieren. Der Einsatz der Worked Examples in den Voruntersuchungen konnte zeigen, dass insbesondere das offene Aufgabenformat im Bereich der Physik für die Studierenden sehr ungewohnt war und eine stark erhöhte Bearbeitungszeit zur Folge hatte. Aufgrund der hohen Bedeutung als Ausgangspunkt für das Strategietraining und des hohen Aufwands für die Studierenden wurde im Rahmen der Hauptstudie die wöchentlich erreichte Punktzahl der Worked Examples zu einem Viertel in die Gesamtnote des Moduls eingerechnet. Dies sollte zu angemessener Sorgfalt und Ernsthaftigkeit bei der Bearbeitung der Aufgaben motivieren.

8.3. Methodische Darstellung des Strategietrainings

In diesem Abschnitt werden die zuvor dargestellten Elemente des Strategietrainings (vgl. Abschnitt 8.1) weiter ausgeführt und methodisch begründet. Zu diesem Zweck und um eine Weiterverwendung des Konzepts im Sinne guter wissenschaftlicher Praxis zu gewährleisten, werden einzelne Elemente der Durchführung im Sinne eines methodisch begründeten Unterrichtsverlaufs dargestellt. Neben den didaktischen Überlegungen werden auch forschungsmethodische Entscheidungen dokumentiert, die für die Datenerhebung und die anschließende empirische Auswertung relevant sind. Der Abschnitt gliedert sich in die Darstellung der Struktur des Seminars (vgl. Abschnitt 8.3.1), die einzelnen Phasen des Strategietrainings (vgl. Abschnitte 8.3.2 bis 8.3.5) und die Durchführung für die Kontrollgruppe (vgl. Abschnitt 8.3.6).

8.3.1. Aufbau des Seminars

Das Seminar gliederte sich in eine 30-minütige und eine 60-minütige Einheit. Der erste Teil wurde im Rahmen des Flipped Classroom Konzepts genutzt, um die Inhalte der Woche nachzubesprechen und Fragen der Studierenden zu klären, die diese zuvor in einem Padlet³ sammeln konnten. Im zweiten, einstündigen Teil des Seminars wurde das Übungskonzept

³Unter einem Padlet wird eine Webseite auf <https://de.padlet.com/> verstanden, die das Erstellen anonymer Beiträge ermöglicht. In diesem Fall wurden die Seiten vorab im Sinne der Vorlesungsinhalte und Lernmaterialien vorstrukturiert.

der jeweiligen Gruppe durchgeführt. Für die Interventionsgruppe entspricht dies dem Strategietraining. Für die Kontrollgruppe wurde hingegen ein klassisches Übungskonzept (vgl. Haak, 2016) verfolgt, bei dem der Lösungsweg der bearbeiteten Aufgaben des Übungsblattes besprochen wird. Allen Studierenden lag das gleiche Übungsblatt vor, das innerhalb der gleichen Bearbeitungszeit von jeweils einer Woche abzugeben war (vgl. Abschnitt 8.4).

Da nur die ersten 30 Minuten für alle Studierenden gleich strukturiert waren, wird dieser Teil hier gesondert beschrieben. Zu Beginn des Seminars wurde stets eine Umfrage auf der Plattform <https://app.wooclap.com/> durchgeführt. Hier konnten sich die Studierenden anonym einloggen, um in Echtzeit vorbereitete Fragen zu beantworten. Folgende Aspekte wurden wöchentlich abgefragt:

1. Die Verständlichkeit jeder Übungsaufgabe wird auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet.
2. Die Verständlichkeit des Worked Examples wird auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet.
3. Die Verständlichkeit der Vorlesungsunterlagen (Skript, Folien und Screencasts) wird auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet.

Die Ergebnisse wurden als Gesprächseinstieg genutzt, um die Bedürfnisse der Studierenden bezüglich der aktuellen Inhalte zu identifizieren. Diese Form des Feedbacks wurde aufgrund der geringen Nutzung des Padlets ergänzend eingesetzt. Die Abfrage zu Beginn der Lehrveranstaltung konnte somit eine zusätzliche Einbindung aller Studierenden anregen. Der erste Teil des Seminars wurde daher genutzt, um die durch die Wooclap-Umfrage und das Padlet identifizierten Probleme zu thematisieren und Verständnisschwierigkeiten zu adressieren. Die Ergebnisse aus Wooclap und Padlet wurden darüber hinaus im Rahmen der Vorstudie zur Weiterentwicklung sowohl der Lernmaterialien als auch des Strategietrainings genutzt.

8.3.2. Einführung des Strategietrainings

Aufbauend auf den dargestellten Lernzielen wird nun die methodische Umsetzung der einzelnen Phasen des Strategietrainings dargestellt. Als Voraussetzung für die Effektivität der geplanten Lehreinheit findet zu Beginn eine Einführungsveranstaltung statt, die den Studierenden die Relevanz der thematisierten Inhalte aufzeigen soll, um sowohl die Akzeptanz als auch die Motivation für das Konzept zu erhöhen.

Um diese Relevanz hervorzuheben, soll eine Sensibilisierung für bestehende Lösungsstrategien erfolgen. Die Auseinandersetzung mit weniger belastbaren Strategien wird an dieser Stelle besonders berücksichtigt, da mangelnde Problemlösestrategien der Studierenden den Ausgangspunkt des Forschungsvorhabens darstellen (vgl. Abschnitt 5.1.2). Darüber hinaus wird angenommen, dass eine explizite Reflexion der eigenen Problemlösestrategien im Falle erfolgreicher Problemlöser:innen an dieser Stelle ebenfalls hilfreich sein kann, um funktionierende Prozesse weiter zu festigen.

Zu diesem Zweck steht ein kognitiver Konflikt im Mittelpunkt der ersten Seminareinheit. Den Studierenden werden drei Aufgaben vorgelegt, die sie mit ihrem schulischen Vorwissen lösen können sollten (vgl. Abb. 8.6 bis 8.8). Zur Lösung werden die grundlegenden Bewegungsgleichungen der gleichförmigen und der beschleunigten Bewegung benötigt. Bei der Gestaltung der Aufgaben wurde darauf geachtet, dass nur die drei Größen Ort, Geschwindigkeit und Zeit explizit als Variablen benannt werden. Daher ist es prinzipiell möglich, für alle drei Aufgaben ein Ergebnis zu berechnen, indem man ausschließlich die Gleichung der gleichförmigen Bewegung verwendet. Für die richtige Lösung der zweiten und dritten Aufgabe muss jedoch konzeptuell verstanden worden sein, dass es sich bei einer Bremsung und bei einer Bewegung bergab jeweils um eine beschleunigte Bewegung handelt, sodass die Verwendung der Gleichung für eine gleichförmige Bewegung sachlich nicht angemessen ist. Da diese Themen auch in den ersten beiden Vorlesungswochen behandelt werden, ist ein späterer Rückgriff auf die Erfahrungen aus dieser Einheit möglich.

Aufgabe 1: Geschwindigkeit der Erde

Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der sich die Erde im Laufe eines Jahres (365 Tage) um die Sonne bewegt. Nehmen Sie an, dass die Erde sich auf einer Kreisbahn um die Sonne bewegt.

Hinweise:

Der mittlere Abstand zwischen Sonne und Erde beträgt $r = 150 \cdot 10^9 \text{ m}$.

Der Umfang eines Kreises berechnet sich über $U = 2\pi r$.

Abb. 8.6. Aufgabe 1 des kognitiven Konflikts

Aufgabe 2: Gefahrenbremsung

Ein Motorrad fährt auf einer Landstraße mit einer Geschwindigkeit von $v = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und sieht in der Ferne ein Reh auf der Straße. Das Motorrad führt sofort eine Vollbremsung aus und benötigt dafür 3 s.

Berechnen Sie den Bremsweg.

Abb. 8.7. Aufgabe 2 des kognitiven Konflikts

Aufgabe 3: Fahrradfahrerin

Eine Fahrradfahrerin fährt einen Berg hinunter. Sie stehen bei $s_B = 50 \text{ m}$ nach ihrem Start und messen ihre Geschwindigkeit mit $v_B = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Berechnen Sie die Zeit bis sie Sie erreicht.

Abb. 8.8. Aufgabe 3 des kognitiven Konflikts

Die Erarbeitung erfolgt an dieser Stelle ohne Hilfsmittel und in Einzelarbeit, um den Studierenden eine authentische Reflexion ihrer Strategien zu ermöglichen. Um den kognitiven Konflikt zu erzeugen, werden die falschen Lösungswege im Kontrast zu den Alltagserfahrungen der Studierenden gesetzt. Sowohl für den Bremsvorgang als auch für die Fahrt bergab kann die zeitliche Veränderung der Geschwindigkeit verdeutlicht werden. Dieser Konflikt wird weiter verwendet, um das recursive Plug-and-Chug-Verfahren als eine beliebte Lösungsstrategie anzusprechen, bei der lediglich eine Formel gesucht wird, die zu den vorkommenden Formelzeichen passt (vgl. 3.1.4). Da diese Strategie zwar verbreitet, aber stark fehleranfällig ist, wird dieses Vorgehen problematisiert. Dazu wird die Relevanz der Überprüfung der physikalischen Passung einer Formel diskutiert. Vor diesem Hintergrund wird eine verkürzte Form des Problemlöseprozesses nach Friege (2001) vorgestellt, bei dem die Phasen eines gelungenen Prozesses und deren Funktionen erläutert werden (vgl. Abb. 8.9). Diese alternative Perspektive stellte gleichzeitig den Abschluss der Sitzung und einen Ausblick auf den Fokus des Semesters dar.

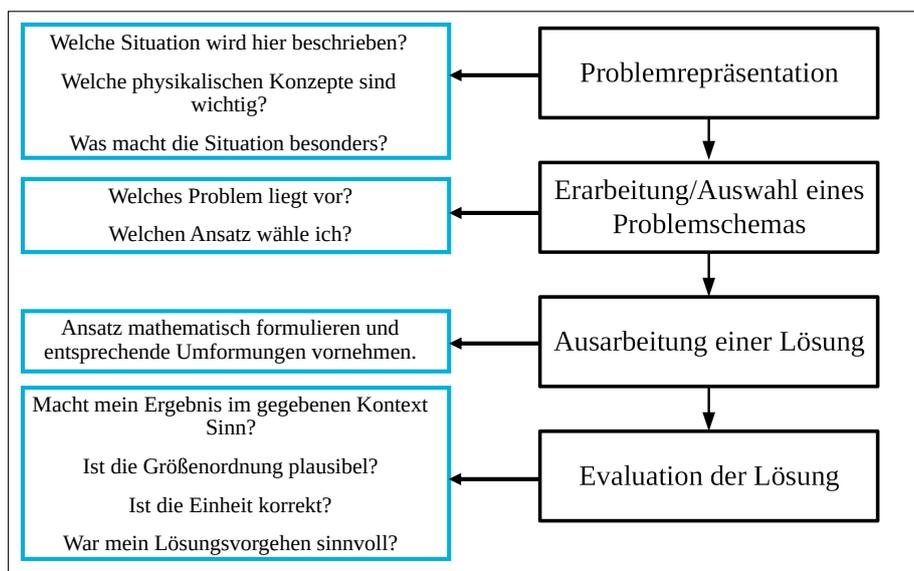


Abb. 8.9. Vereinfachte Darstellung des Problemlöseprozesses nach Friege (2001) im Rahmen des Strategietrainings

8.3.3. Erarbeitung der Problemrepräsentation und Problemtypen

In diesem Abschnitt wird der methodische Dreischritt begründet, der im Rahmen des Konzepts die Erarbeitung der Problemschemata abbildet. Dazu müssen zunächst konkrete Annahmen über die Struktur der Problemschemata vorgenommen werden. Im Abschnitt 2.4.2 über Wissensschemata wurden sowohl problemspezifische Lösungsansätze als auch zugehörige Anwendungsheuristiken als Teil von Problemschemata vorgestellt. Die Genese dieser Strukturen wird dabei über die Abstraktion von Beispielproblemen zu Problemklassen beschrieben (vgl. Woitkowski, 2020a). Als erster Schritt soll daher die

Entwicklung von Problemklassen erfolgen, welche im Weiteren als Problemtypen bezeichnet werden. Problemtypen beinhalten abstrahierte Informationen über eine Vielzahl von Beispielproblemen (vgl. Friege, 2001), sodass weitere Annahmen getroffen werden, die diesen Abstraktionsprozess betreffen. Da Beispielprobleme, die unter einem Problemtyp zusammengefasst werden können, mit gleichen oder sehr ähnlichen Lösungsansätzen gelöst werden können, muss eine entsprechende Ähnlichkeit der konzeptuellen Merkmale der Aufgaben vorliegen. Diese konzeptuellen Merkmale entsprechen der Dimension der Problemstruktur, die im Rahmen der Aufgabenanalyse weiter ausgeführt wird (vgl. 8.4.1). Dieser Aspekt der Tiefenstruktur ist teilweise über relevante Informationen der Aufgabenstellung zugänglich, die demnach die Oberflächen- und Tiefenstruktur verknüpfen. Während die konkreten Aufgabeninformationen immer nur zu einem spezifischen Beispielproblem zuzuordnen sind, kann eine Abstraktion in Form von charakteristischen Aufgabenmerkmalen als Teil der Problemtypen verstanden werden.

Im Folgenden wird in Anlehnung an Woitkowski (2020a) zwischen *Heuristiken*, *Lösungsansätzen* und *Problemtypen* unterschieden. Die Problemtypen stellen dabei eine Abstraktion von Beispielproblemen dar und umfassen sowohl charakteristische Aufgabenmerkmale als auch konzeptuelle Merkmale, die eine Abstraktion konkreter Aufgabeninformationen und konkreter konzeptueller Merkmale der Beispielprobleme darstellen.

Die angenommene Struktur der Problemschemata geht davon aus, dass bei der Verwendung der Problemschemata zunächst eine Informationsselektion vorgenommen wird, die relevante Informationen aus der Problemstellung identifiziert und diese mit fachlichen Konzepten abgleicht, um schließlich einen passenden Lösungsansatz auszuwählen. Bezogen auf das zugrundegelegte Modell nach Friege (2001) wird daher ein klarer Fokus auf die ersten beiden Phasen des Problemlöseprozesses, also die Problemrepräsentation und die Auswahl bzw. Erarbeitung eines Problemschemas gelegt. Besonders die dritte Phase der Lösungsausarbeitung wird hier nachrangig thematisiert.

Im Rahmen des Strategietrainings werden daher Problemschemata erarbeitet, die durch *charakteristische Aufgabenmerkmale*, *Konzeptuelle Merkmale* und *Lösungsansätze* operationalisiert sind. Die Studierenden sollen diese drei Ebenen gezielt beschreiben und voneinander trennen können. Zu diesem Zweck wurden Aufgaben der jeweiligen Woche ausgewählt und vor diesem Hintergrund diskutiert. Da die grundlegende Idee des Strategietrainings darin besteht, dass der Lösungsprozess von Expert:innen nachgeahmt werden soll, wird die Betrachtung dieser drei Aspekte im Sinne eines Übersetzungsprozesses aufgeteilt. Als zusätzliche strukturelle Hilfe, wird diese Abfolge stets als Tabelle erarbeitet, die eine Trennung der jeweiligen Schritte erzwingt. Die drei Schritte werden stets durch eine eigene Farbe repräsentiert, welche sich wiederfindet, wenn die entsprechende semantische Ebene von Bedeutung ist. So wird unterstützt, dass den Studierenden zu jeder Zeit bewusst ist, auf welcher Ebene sie sich gerade mit dem Problem auseinandersetzen. Zu

diesem Zweck wurden Aufgaben der jeweiligen Woche ausgewählt und vor diesem Hintergrund diskutiert. Dabei wird explizit darauf geachtet, dass die verschiedenen Ebenen nacheinander betrachtet werden. Diese besondere Vorgehensweise der Besprechung wird in der ersten inhaltlichen Seminarsitzung des Strategietrainings eingeführt. Aufgrund der zentralen Bedeutung wird dieser Prozess in seinen drei Schritten nachfolgend ausgeführt.

Erster Schritt: Informationsselektion Im Rahmen des ersten Schritts werden alle relevanten Aufgabenmerkmale aus der Aufgabenstellung identifiziert, die für eine Bearbeitung der Aufgabe notwendig sind. Dabei handelt es sich nicht bei allen dieser Merkmale, um die vorab erwähnten *charakteristischen Aufgabenmerkmale*. Stattdessen werden alle Merkmale betrachtet die für die spezifische Aufgabe relevant sind. Die Abstraktion zu der Entscheidung, welche dieser Aufgabenmerkmale als charakteristisch einzuschätzen sind, kann erst nach der Abstraktion der konzeptuellen Merkmale zu einem Problemtyp erfolgen.

Aufgrund von Strategien wie dem recursive Plug-and-Chug-Verfahren wird eine klare Abgrenzung von einer reinen Frage nach gegebenen und gesuchten Größen vorgenommen. Vielmehr liegt der Fokus darauf, welche Merkmale die Ausgangs- und Zielsituation des Problems beschreiben. Vor diesem Hintergrund wurde auch im Rahmen des Seminars auf den Begriff der Problemrepräsentation zurückgegriffen. An dieser Stelle wird ein Vorgriff auf konzeptuelle Beschreibungen der Problemsituation vermieden, um eine strikte Trennung der Ebenen beizubehalten und zu thematisieren, welche Aspekte einer Aufgabe eine konzeptuelle Interpretation ermöglichen und wie diese Interpretation abläuft.

Die gesamte Analyse wurde dabei stets im Plenum bzw. Gruppenarbeit durchgeführt. Für Gruppenphasen wurden entsprechende Arbeitsaufträge formuliert, die in Form von Arbeitsblättern erarbeitet wurden (vgl. Abb. 8.10). So können Begründungen und eine geeignete Kommunikation über den Prozess stärker betont werden, um auch dem prozeduralen Aspekt der Schemaauswahl gerecht zu werden.

Aufgabe

Sammeln Sie weitere Problemtypen der Kinematik.

Strukturieren Sie die Aufgaben des zweiten Übungszettels nach Aufgabenmerkmalen, konzeptuellen Merkmalen und Lösungsansätzen.

Hinweis:

Aufgabenmerkmal: Was steht wirklich in der Aufgabe?

Problemtyp (Konzeptuelle Merkmale): Was bedeutet das Aufgabenmerkmal physikalisch betrachtet?

Lösungsansatz: Welche Gleichungen oder Strategien kann ich dann für die Lösung verwenden?

Abb. 8.10. Aufgabenstellung Problemtypen

Zweiter Schritt: Übersetzung in konzeptuelle Beschreibung Nach der Identifikation relevanter Aufgabenmerkmale wird für jedes der genannten Merkmale überlegt, welche physikalisch relevanten Informationen sich daraus gewinnen lassen. In vielen Fällen bedeutet dies lediglich die Benennung der zugehörigen physikalischen Größen (z. B. Zeile 1 und 2 in Tab. 8.6). In anderen Fällen wird durch ein Aufgabenmerkmal direkt auf das zu verwendende Konzept hingewiesen (vgl. Tab. 8.7 „30° Laderampe“ zu „schiefe Ebene“). Da die Erarbeitung der Problemschemata die Studierenden darin unterstützen soll, Analogien zwischen Aufgaben zu identifizieren, wird am Ende dieses Schritts eine Zusammenfassung der Merkmale in Form eines Problemtyps festgehalten. Es wird herausgestellt, dass in einem ersten Schritt das Nachvollziehen eines Problemtyps und seiner Lösung wichtig ist, um danach möglichst ähnliche Probleme identifizieren und bekannte Lösungsmethoden übertragen zu können. An dieser Stelle wird auch die Bedeutung der Worked Examples verdeutlicht, welche besonders die ausführliche Erklärung eines Problemtyps darstellt. Eine explizite Verknüpfung findet im Hinblick auf das Kontrollgruppendesign jedoch nicht statt.

Tabelle 8.6. Tabellarische Darstellung des Übersetzungsprozesses:
Beispiel für zwei Aufgaben aus dem Inhaltsbereich Kinematik

Aufgabenmerkmale	Problemtyp (Konzeptuelles Merkmal)	Lösungsansatz
<ul style="list-style-type: none"> „ein Meter hohe Pflanzen“ „40 cm im Monat wachsen“ 	<ul style="list-style-type: none"> → 1 x s_0 → $v = \textit{konstant}$ <p>Problemtyp: Gleichförmige Bewegung eines Körpers mit Anfangsort</p>	$s(t) = v \cdot t + s_0$ $v(t) = v_0$
<ul style="list-style-type: none"> 2 Körper 2 x „Durchschnittsgeschwindigkeit“ „in Richtung Mülheim“ „...ist zu dieser Zeit noch in Bottrop“ „startet erst um...“ „in Richtung Bottrop“ 	<ul style="list-style-type: none"> → für beide Körper $v = \textit{konstant}$ → mögliche Richtung für das Bezugssystem → 1 x $s_{0,Bot}$ → 1 x $t_{0,Bot}$ → entgegengesetzte Richtung – |v_{BOT}| <p>Problemtyp: Gleichförmige Bewegung zweier Körper mit unterschiedlicher Richtung und unterschiedlichem Startpunkt (räumlich und zeitlich)</p>	$s_{Mh}(t) = |v_{MH}| \cdot t$ $s_{Bot}(t) = -|v_{Bot}| \cdot (t - t_{0,Bot}) + s_{0,Bot}$

Tabelle 8.7. Tabellarische Darstellung des Übersetzungsprozesses:
Beispiel für eine Aufgaben aus dem Inhaltsbereich Energie

Aufgabenmerkmale	Problemtyp (Konzeptuelles Merkmal)	Lösungsansatz
<ul style="list-style-type: none"> • 30° Laderampe • Gleitreibungs- koeffizienten $\mu=0,15$ • 3m Länge der Rampe • Gesucht: Geschwindigkeit 	<p>→ Schiefe Ebene → Reibungskraft, Reibarbeit → Strecke über die Reibarbeit verrichtet wird → Über l kann Delta h berechnet werden → potentielle Energie → Geschwindigkeit und kinetische Energie hängen zusammen</p> <p>Problemtyp: Energieentwertung durch Reibung, Energiebilanz mit Reibung</p>	$E_{\text{ges},A} = E_{\text{ges},B} + W_{\text{Reib},AB}$ $E_{\text{pot},A} = E_{\text{kin},B} + W_{\text{Reib},AB}$ <p>Mit $W_{\text{Reib},AB} = F_{\text{Reib},AB} \cdot l$ Mit $W_{\text{Reib},AB} = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot l$</p> $m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} m \cdot v_B^2 + \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot l$ $g \cdot (h_A - \mu \cdot \cos \alpha \cdot l) = \frac{1}{2} v_B^2$ $v_B = \sqrt{2g \cdot (h_A - \mu \cdot \cos \alpha \cdot l)}$ <p>Mit $h_A = l \cdot \sin \alpha$ $v_B = \sqrt{2g \cdot l(\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha)}$</p>

Dritter Schritt: Übersetzung in Lösungsansatz In einem letzten Schritt wird anhand der konzeptuellen Merkmale ein Lösungsansatz in Form einer Gleichung oder eines Gleichungssystems formuliert. An dieser Stelle müssen die Wissensselemente, die im Rahmen der Vorlesung erarbeitet wurden, berücksichtigt werden. Neben der Kenntnis relevanter Formeln, muss hier ebenfalls die mathematische Darstellung gewisser physikalischer Forderungen geleistet werden. Für die Kinematik kann dies beispielsweise bedeuten, dass eine Funktion zu einem gesuchten Zeitpunkt einem vorgegebenen Wert entspricht (z. B. $s(t_A) = \frac{1}{2}a \cdot t^2 \stackrel{!}{=} 0$).

Im Rahmen dieser Studie konnten für diesen Schritt verschiedene Schwierigkeiten festgestellt werden. Die Unterscheidung zwischen einer Funktion, einem Funktionswert und dem Argument einer Funktion stellt beispielsweise eine häufige Herausforderung dar. Derartige Schwierigkeiten zeigen eher fehlende mathematische als physikalische Kenntnisse. Weitere Beispiele, die hingegen einen stärkeren Fokus auf das physikalische Verständnis legen, sind das Aufstellen von Kräftegleichgewichten oder einer Energieerhaltung. An dieser Stelle ist die mathematische Anforderung der Gleichung vergleichsweise einfach, während die Berücksichtigung der physikalischen Gegebenheiten anspruchsvoller ist. So muss beispielsweise für eine Gleichung, die die Energieerhaltung berücksichtigt, verstanden worden sein, dass dabei jeweils die Gesamtenergie eines Systems zu verschiedenen Zeitpunkten beschrieben wird. Die Besprechung der Aufgaben wurde in der Regel mit der Ausarbeitung eines Lösungsansatzes beendet.

Während dieser Phase haben die Studierenden spezifisch eine stärkere Berücksichtigung

der mathematischen Berechnung des Ergebnisses eingefordert, die im Rahmen des Konzepts explizit nicht erfolgen sollte. Da die Studierenden der mathematischen Berechnung der Ergebnisse eine sehr hohe Relevanz zugeschrieben haben und diese Rückmeldung sowohl im Rahmen der Voruntersuchungen als auch innerhalb der Hauptstudie beobachtet wurde, wurde eine zusätzliche Erhebung der Einstellungen der Studierenden zu der Relevanz der Interventionsmaßnahmen und der Relevanz konzeptueller Begründungen in der Physik berücksichtigt (vgl. Abschnitt 9.4.4). Allen Studierenden, unabhängig von ihrer Gruppeneinteilung, wurden neben einer persönlichen Korrektur mit Feedback ebenfalls Beispiellösungen zur Verfügung gestellt, sodass sie stets Zugriff auf mögliche Lösungen für jede Aufgabe hatten.

8.3.4. Erarbeitung der Heuristiken

Als weiterer Teil des Strategietrainings werden inhaltspezifische Heuristiken verwendet. An dieser Stelle soll die Relevanz des Wissenstransfers und dessen hoher Anspruch berücksichtigt werden (vgl. Abschnitt 4.1.2). Da der bisher dargestellte Dreischritt zur Erarbeitung der Problemtypen ein sehr spezifisches Aufgabenwissen fördert, soll vermieden werden, dass die betrachteten Zusammenhänge als träges Wissen vorliegen (vgl. Abschnitt 4.1.2). Der nächste Schritt besteht daher in einer Abstraktion der zuvor erarbeiteten Problemschemata. An dieser Stelle werden nicht mehr die Gemeinsamkeiten der Aufgaben, sondern vielmehr die Gemeinsamkeiten des Lösungsprozesses selbst verglichen. Für die Inhaltsbereiche *Kinematik* und *Kräfte* leiten die Studierenden selbst eine derartige Heuristik her (vgl. Aufgabestellung in Abb. 8.11).

Aufgabe

Leiten Sie nun anhand der verschiedenen Aufgaben ein allgemeines „Rezept“ her, welche Schritte Sie immer durchlaufen müssen, um eine Aufgabe aus dem Bereich Kinematik zu lösen.

Orientieren Sie sich dazu an den Gemeinsamkeiten und Unterschieden der Aufgaben.

Tipp:

Da diese Handlungsschritte für alle Aufgaben aus diesem Bereich zutreffen sollen, können sie entsprechend allgemein sein, z. B. „Aufstellen einer Bewegungsgleichung“.

Abb. 8.11. Aufgabestellung zur Herleitung einer Heuristik

Es wird eine gemeinsame Heuristik festgehalten, die als exemplarisch gilt (vgl. Tab. 8.8). So könnte sowohl die Detailtiefe und teilweise auch die Reihenfolge einzelner Schritte variiert werden, ohne die Funktion zu verändern. Die einzelnen Schritte werden zusätzlich den Phasen des Problemlöseprozesses nach Friege (2001) zugeordnet. Diese

Zuordnung lässt sich nicht exakt abbilden, dient hier jedoch als weitere Orientierung für die Studierenden. Diese Darstellung wird zusätzlich genutzt, um den Studierenden zu verdeutlichen, dass bereits ein Großteil des Lösungsprozesses durchlaufen ist, bevor auch nur eine Formel ausgewählt wird. Nach der Herleitung der Heuristik, wird sie in einem nächsten Schritt angewendet. Dabei wird darauf geachtet, dass keiner der genannten Schritte übersprungen wird.

Für die Inhaltsbereiche Energie und Impuls wird die Reihenfolge des Vorgehens umgekehrt. Es wird zuerst eine Heuristik vorgegeben (vgl. Tab. 8.9) und zur Diskussion gestellt. Im nächsten Schritt wird die Heuristik angewendet und erst in einem letzten Schritt werden die Merkmale ausgewählter Problemtypen erarbeitet. Die Änderung im Vorgehen begründet sich in der unterschiedlichen Gestaltung der Problemtypen für die beiden Inhaltsbereiche. Während in der Kinematik sehr stereotypische Aufgaben verwendet werden konnten, deren Problemtyp eine hohe Übertragbarkeit zulässt (z. B. den Schnittpunkt zweier Bewegungen berechnen oder einen schiefen Wurf beschreiben), ist dies mithilfe der begrenzten Problemtypen für den Inhaltsbereich Energie und Impuls nicht äquivalent umsetzbar.

Mögliche Aufgaben aus dem Bereich der Energie könnten z. B. einen Prozess beschreiben, bei dem zu einem Zeitpunkt ausschließlich potentielle Energie und zu einem anderen Zeitpunkt ausschließlich kinetische Energie vorliegen. Da in derartigen Fällen oftmals die Lösung durch ein Gleichsetzen der beiden Energien zu dem jeweiligen Zeitpunkt erreicht wird, tritt jedoch die konzeptuelle Bedeutung dieser Gleichung für die Studierenden oft in den Hintergrund, sodass oft das Gleichsetzen der kinetischen und potentiellen Energie als Regel verstanden wird. Eine Begründung für diese Gleichung oder den exemplarischen Charakter ist hingegen oft nicht möglich. Aus diesem Grund wird zunächst ein Fokus auf die Vorgehensweise bei der Bearbeitung von Energie-Aufgaben gelegt, sodass der Einsatz der Heuristik vorangestellt wird. Ein weiterer Grund zeigt sich in der zeitlichen Verteilung der Seminareinheiten. Da für den Inhaltsbereich Kinematik am meisten Zeit aufgewendet wird, werden entsprechend viele Problemtypen in den Wochen durchlaufen, sodass die Systematik in der Bearbeitung für die Studierenden erkenntlich werden kann. Da die weiteren Inhaltsbereiche zeitlich kürzer bearbeitet werden, werden auch weniger Aufgaben bearbeitet, sodass diese einen stärkeren exemplarischen Charakter erhalten. Daher wird bereits zu Beginn der Themen ein Fokus auf die Heuristik gelegt und der exemplarische Charakter der Aufgaben so verdeutlicht. Für den Inhaltsbereich der Kräfte kann ebenfalls die induktive Struktur beibehalten werden, da in diesem Fall durch die Zielgruppe der Maschinenbaustudierenden eine ausreichende Auseinandersetzung mit vergleichbaren Aufgaben im Rahmen der parallelen Vorlesung der technischen Mechanik bearbeitet werden. Somit wird an dieser Stelle die eigene Erarbeitung der Heuristik als Priorität gesetzt.

Tabelle 8.8. Heuristik für die Kinematik

Handlungsschritt	Beispiel	Phase
Auswahl der zu betrachtenden Körper	z.B. geworfener Ball, zwei Züge etc.	PR
Bezugssystem (Richtung und Nullpunkt) festlegen	z.B. Der Nullpunkt des Systems liegt auf dem Boden und die positive Richtung zeigt nach oben	PR
Bewegungstyp(en) identifizieren	z.B. gleichförmig, gleichmäßig beschleunigt, mehrdimensional	PR
Randbedingungen identifizieren (Was wissen wir über die Situation?)	z.B. gegebene Nullstellen, Maxima, Minima etc, Startparameter: $x_0, y_0, v_{x,0}, v_{y,0}, y_{max}, v_{Aufprall}$ etc.	PR
Zielgröße bzw. Zielbedingung identifizieren (Über welchen Zustand möchten wir etwas sagen?)	z.B. der Aufprall mit dem Boden entspricht der Nullstelle von s_y	PR
Allgemeine Bewegungsgleichungen aufstellen & entsprechend der Situation vereinfachen	$s_x(t) = \dots$ $s_y(t) = \dots$ $v_x(t) = \dots$ $v_y(t) = \dots$	PA
Anhand der Bewegungsgleichungen die Zielbedingung als Gleichung formulieren	z.B. Eine Schnittstelle ist gesucht → Bewegungsgleichungen gleichsetzen Oder Berechnung eines Aufprallzeitpunkts: $s_y(t_A) \stackrel{!}{=} 0 \text{ m}$	PA
Ggf. Zwischenrechnungen, weitere Größen berechnen	z.B. für $s_{y,max}$ muss zunächst $t_{Hochpunkt}$ berechnet werden	PL
Nach gesuchter Größe umformen	z.B. $t_{Aufprall} = \frac{v_0}{g} \pm \sqrt{\frac{v_0^2}{g^2} + \frac{2y_0}{g}}$	PL
Evaluation	z.B. Plausibilitätsüberlegung: Ein schwerer Körper stößt einen leichteren, ruhenden Körper. Es macht Sinn, wenn dessen Geschwindigkeit nach dem Stoß größer ist als die des schweren Körpers	PE

Anmerkung. PR=Problemrepräsentation, PA=Ausarbeitung eines Problemschemas, PL=Problemlösung, PE=Problemevaluation

Tabelle 8.9. Heuristik für die Energie

Handlungsschritt	Anwendung	Phase
Zeitpunkte, zu denen die Gesamtenergie beschrieben werden kann, identifizieren.	z.B. beim senkrechten Ballwurf: Abwurf, maximale Höhe, Aufprall	PR
Vorkommende Energieformen für die jeweiligen Zeiten identifizieren.	z.B. beim senkrechten Ballwurf: z.B. $E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}}, E_{\text{kin,max}}, E_{\text{pot,max}}$	PR
Falls potentielle Energie vorhanden ist/betrachtet wird: Nullniveau festlegen.	z.B. auf dem Boden	PR
Energieentwertung identifizieren oder ausschließen	z.B. inelastischer Stoß: ja Fälle mit Reibung: ja	PR
Allgemeine Formeln für alle auftauchenden Energieformen und Energieentwertung aufstellen.	z.B. beim senkrechten Ballwurf: $E_{\text{pot,max}}$: Fallhöhe bestimmen,	PA
Bezug zwischen gesuchten Größen und zu betrachtenden Zeitpunkten herstellen.	$E_{\text{kin,max}}$: Aufprallgeschwindigkeit bestimmen	
Spezifische Formeln für alle auftauchenden Energieformen und Energieentwertung für jeden der in 1 identifizierten Zustände aufstellen. Dabei werden „Nullzustände“ identifiziert und berücksichtigt.	z.B. $E_{\text{kin,vorher}} = \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{vorher}}^2$	PL
Überprüfen, ob alle Größen zur Beschreibung der Gesamtenergie gegeben sind.	z.B. beim senkrechten Ballwurf: für den Abwurf muss gegeben sein: Höhe und Anfangsgeschwindigkeit	PL
Ggf. fehlende Größen zunächst über andere Konzepte berechnen	z.B. beim Looping: im obersten Punkt kann die Geschwindigkeit über die Kräftegleichheit bestimmt werden	PL
Energieerhaltung zwischen zwei Zuständen gleicher Gesamtenergie aufstellen und jeweilige Zusammensetzung der Energieformen einsetzen. (Nur falls keine Energieentwertung vorliegt.)	z.B. beim senkrechten Ballwurf: $E_{\text{ges,Aufprall}} = E_{\text{ges,Hochpunkt}}$ $E_{\text{kin,Aufprall}} = E_{\text{pot,Hochpunkt}}$	PL
Formeln der einzelnen Zustände in die Gleichung der Energieerhaltung aus 7 einsetzen.	z.B. $E_{\text{ges,vorher}} = E_{\text{pot,vorher}} + E_{\text{kin,vorher}}$ $= m \cdot g \cdot h_{\text{vorher}} + \frac{1}{2} m \cdot v_{\text{vorher}}^2$	PL
Nach gesuchter/n Größe/n umstellen.	z.B. $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$	PA
Evaluation	z.B. über Energiebilanz prüfen	

Anmerkung. PR=Problemrepräsentation, PA=Ausarbeitung eines Problemschemas, PL=Problemlösung, PE=Problemevaluation

8.3.5. Abschlusssitzung

Nach der Erarbeitung aller Inhaltsbereiche wird in einer letzten Abschlusssitzung der Fokus auf den Wissenstransfer gelegt. Dazu erhalten die Studierenden den Auftrag selbst Aufgaben zu einem selbst gewählten Problemtyp zu erstellen. Durch die vorangehende Wahl des Problemtyps sollen die Studierenden sich aus anderer Perspektive erneut vor Augen führen, welche charakteristischen Merkmale eine Aufgabe enthalten muss, damit sie einem bestimmten Problemtyp entspricht. Als Rahmenbedingungen, sollen ausschließlich Inhalte des Moduls verwendet werden, die Aufgabe solle in ca. 10 Minuten lösbar sein, und die verwendeten Zahlenwerte bzw. Ergebnisse müssen nicht vorab auf Plausibilität geprüft werden.

Zur weiteren Vertiefung dieser Phase werden in einem nächsten Schritt die Aufgaben unter den Kommilitonen getauscht. Als erstes sollen die Studierenden den intendierten Problemtyp identifizieren und in einem zweiten Schritt die Aufgabe regulär bearbeiten. In einem letzten Schritt werden die Aufgaben wieder zurückgegeben und von den Aufgabenkonstrukteuren kontrolliert. Dabei kann sowohl den bearbeiteten Studierenden Feedback zu ihrer Lösung gegeben werden, als auch mögliche Probleme bei der Aufgabenstellung diskutiert werden. Diese Sitzung gilt somit sowohl der Vertiefung, als auch der Flexibilisierung des gelernten Wissens.

8.3.6. Durchführung der Kontrollgruppe

Nachdem eine ausführliche Beschreibung für das Übungskonzept der Interventionsgruppe erfolgt ist, wird nun ebenfalls das Übungskonzept der Kontrollgruppe dargestellt. Dabei wurde ebenfalls ein starker Fokus auf die Bearbeitung der Übungsblätter durch die Studierenden gelegt. Im Kontrast zum Strategietraining wurden jedoch keine expliziten Problemlösestrategien oder Problemtypen besprochen. Stattdessen wurden die Lösungen der Aufgaben durch die Studierenden vorgestellt. Zu Beginn des Semesters konnten in der verfügbaren Zeit in der Regel noch alle Aufgaben des Übungsblattes vorgestellt werden, während nach einigen Wochen aus zeitlichen Gründen ein Fokus auf die Aufgaben gelegt wurde, die den Studierenden am meisten Schwierigkeiten bereiteten. Es wurde darauf geachtet, dass stets die Studierenden die Lösungen vorstellten, damit Bearbeitungsfehler besser identifiziert und diskutiert werden konnten, als wenn eine Vorstellung durch die Lehrperson durchgeführt worden wäre.

Als Anreiz erhielten die Studierenden beim Vorrechnen bis zu 5 Prozent Bonuspunkte für die Klausur. Im Rahmen des Strategietrainings wurde eine äquivalente Regelung für das Vorstellen von Ergebnissen der Arbeitsphasen praktiziert. Die Korrektheit der Lösung war in beiden Fällen ausdrücklich keine Voraussetzung für die Punkte. Vielmehr sollten die Studierenden die Aufgaben selbst an der Tafel erarbeiten.

Der Fokus lag bei dieser Vorgehensweise auf der Ausarbeitung der Lösung. Auch wenn hier explizit auf die Begründungen für die einzelnen Lösungsschritte geachtet wurde, fand kein expliziter Vergleich der Struktur der Aufgaben statt.

8.4. Methodische Darstellung des Lernmaterials

In diesem Abschnitt wird die methodische Gestaltung des zuvor vorgestellten Lernmaterials beschrieben. Dazu wird die Aufgabenanalyse der variierten Aufgabenmerkmale näher erläutert (vgl. Abschnitt 8.4.1), da in diesen Fällen eine weitere Operationalisierung notwendig war. Danach erfolgt eine Betrachtung der Güte des Kodiermanuals, auf dessen Grundlage die Aufgabenanalyse durchgeführt wurde. Abschließend wird die Berücksichtigung der Aufgabenanalyse für die Worked Examples (vgl. Abschnitt 8.4.2) und die Lernhilfen (vgl. Abschnitt 8.4.3) dargestellt.

8.4.1. Aufgabenanalyse

Im Folgenden wird die Operationalisierung der variierten Aufgabenmerkmale dargestellt. Da bei den konstanten Aufgabenmerkmalen keine wesentlichen Anpassungen der ursprünglichen Kategorien vorgenommen werden mussten, wird auf eine zusätzliche Darstellung verzichtet.

Inhaltsbereich

Als erste Unterscheidung der Tiefenstruktur wurde der Inhaltsbereich betrachtet. Bei Brandenburger (2017) konnte explizit eine Unterscheidung zwischen der Einfachheit von Kinematik- und Energieaufgaben beobachtet werden. Aus diesem Grund wird auch hier eine Einteilung der verschiedenen Inhaltsbereiche vorgenommen, die sich sowohl an den vorgegebenen Inhalten des Moduls als auch an bewährten Einteilungen aus anderen Forschungsarbeiten (z. B. Woitkowski, 2015; Brandenburger, 2017) orientiert. Im Gegensatz zu Brandenburger (2017) und Woitkowski (2015) wird der Inhaltsbereich *Impuls* an dieser Stelle als eigenständig behandelt, da die betreffenden Problemstellungen als deutlich unterschiedlich zu den anderen Inhaltsbereichen eingeschätzt werden, sodass die vier Bereiche *Kinematik*, *Kräfte*, *Energie* und *Impuls* unterschieden werden.

Die Kodierung des Inhaltsbereichs bezieht sich auf alle Lösungsmöglichkeiten der Aufgabe. Das bedeutet, dass bei Aufgaben, die anhand mehrerer Inhaltsbereiche gelöst werden können oder die eine Kombination der Inhaltsbereiche erfordern, alle Möglichkeiten kodiert werden. Damit wird gleichzeitig die Einsatzmöglichkeit einer Aufgabe zu verschiedenen Zeitpunkten im Semester ausgewiesen. So kann z. B. eine Aufgabe, die zu Beginn

des Semesters mit Hilfe von Bewegungsgleichungen gelöst wurde, zu einem späteren Zeitpunkt erneut eingesetzt und mit Hilfe einer Energiebetrachtung gelöst werden.

Problemstruktur

Die zentrale Aufgabe des Kodiermanuals besteht in der Operationalisierung der Problemschemata der Aufgaben, um eine Kontrolle der Ähnlichkeit der Problemstruktur der Aufgaben zu erzielen. Da Problemschemata jedoch sowohl Informationen über die Problemsituation als auch über den Lösungsansatz bzw. verschiedene Lösungsmöglichkeiten sowie die verwendete Lösungsmethode enthalten (vgl. Abschnitte 2.4.2 und 2.5.2), muss eine entsprechende Darstellung allen genannten Aspekten gerecht werden. Darüber hinaus soll nicht nur eine absolute Übereinstimmung erkennbar sein, sondern auch eine Beziehung der Nähe bzw. Ähnlichkeit zwischen den Aufgaben deutlich werden, um eine graduelle Steuerung umsetzen zu können.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Verfahren entwickelt, das einen dreistelligen nominalen Code verwendet, um die Probleme näher zu klassifizieren. Die erste Ziffer des Codes beschreibt das übergeordnete Thema (z. B. gleichförmige Bewegung, Kräfte oder Energie). Im Falle der Kinematik wird aufgrund der Vielfalt der verschiedenen Problemtypen bereits hier eine weitere Differenzierung durch verschiedene Ausprägungen (gleichförmige Bewegung, beschleunigte Bewegung, mehrdimensionale Bewegung und Kreisbewegung) vorgenommen. Für die anderen Teilgebiete gilt im Wesentlichen die Differenzierung der Inhaltsbereiche (Kräfte, Energie, Impuls). Die Funktion der beiden nachfolgenden Ziffern besteht in der Unterkategorie des Konzeptes (z. B. Zielgröße der Berechnung) und einer weiteren Spezifikation (z. B. Ort oder Zeit) (s. Abb. 8.12).

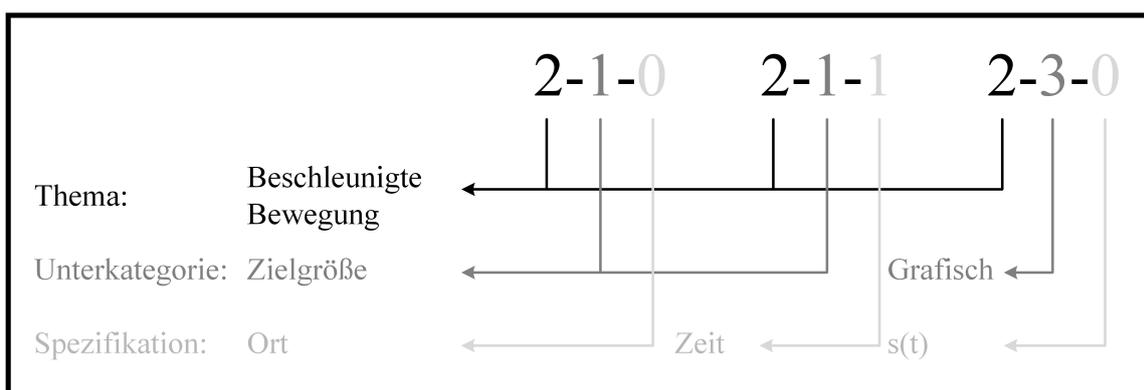


Abb. 8.12. Beispielcodes zur Beschreibung der Problemstruktur von Aufgaben

Als Beispiel werden hier drei Codes verwendet, die alle dem Thema der beschleunigten Bewegung zugeordnet sind und daher mit der gleichen ersten Ziffer beginnen. Bei den

ersten beiden Codes wird als Unterkategorie die zu berechnende Zielgröße spezifiziert, da diese einerseits explizit Teil der Aufgabenstellung ist und somit die Problemsituation charakterisiert und andererseits eine spezifische Berechnung impliziert. Es ist daher naheliegend, Schemata zu entwickeln, die bei bekannter Bewegungsform und bekannter Zielgröße eine spezifische Berechnung assoziieren. Die Aufteilung des Codes imitiert daher entsprechende Strukturen. Infolgedessen kann für diese Codes unterschieden werden, welche Zielgröße gesucht wird. In Abbildung 8.12 wird hier zwischen Ort und Zeit unterschieden.

Eine weitere exemplarische Unterkategorie ist die grafische Darstellung. Damit ist nicht das bloße Vorhandensein einer grafischen Darstellung gemeint, das durch die Art der Aufgabeninformation gegeben ist, sondern die eigenständige Erstellung eines Diagramms. In diesem Fall gibt die Spezifikation durch die dritte Ziffer an, welcher Zusammenhang grafisch dargestellt werden soll (hier z. B. $s(t)$).

Auch wenn die Codes aus drei Ziffern mit individuell festgelegten Bedeutungen bestehen, ist die Bedeutung der letzten Ziffern immer nur dann vergleichbar, wenn die ersten Ziffern identisch sind. So kann, wie im vorliegenden Beispiel, der Code $2-1-0$ mit dem Code $2-1-1$ verglichen werden, da die ersten beiden Ziffern identisch sind und sich nur die Spezifikation unterscheidet. Da jedoch die Spezifikation innerhalb des Codes hierarchisch ist (eine Ziffer ist immer die Spezifikation der vorangehenden Ziffer), ist es beispielsweise nicht möglich, die Bedeutung der mittleren Ziffern der Codes zu vergleichen, wenn die vorangehende Ziffer nicht identisch ist (z. B. $2-1-0$ und $5-1-2$). Die Wahl der einzelnen Ziffern hat keinen wertenden, sondern nur einen beschreibenden, nominalen Charakter. Es kann daher aus dem Vergleich zweier Codes nicht geschlossen werden, ob ein schwierigeres Problem zugrunde liegt, sondern nur, wie ähnlich die Problemstruktur ist. Da die verwendeten Probleme alle eine Sachstruktur aufweisen, die verschiedene dieser Lösungsansätze berücksichtigt (vgl. Abschnitt 8.4.1), werden auch in diesem Fall mehrere Variablen für die Kategorie kodiert. Die vollständige Problemstruktur lässt sich aus dem Gesamtbild aller vorkommenden Codes erkennen. Die Ähnlichkeit verschiedener Aufgaben kann sowohl durch das Vorkommen identischer Codes als auch durch das Vorkommen ähnlicher Codes erkannt werden. Das Gesamtmanual enthält insgesamt 64 verschiedene Lösungsansätze, die 8 übergeordneten Themen zugeordnet sind. Die Anzahl der Codes kann hier teilweise den Umfang und die Komplexität der Aufgabe verdeutlichen. Letztere wird jedoch explizit als eigene Größe kodiert (vgl. Abschnitt 8.4.1).

Hierarchische Komplexität für Lernaufgaben

Die Komplexität stellt ein zentrales Aufgabenmerkmal zur Beschreibung der Aufgabenschwierigkeit dar (z.B. Kauertz, 2008; Bernholt, 2010; Woitkowski, 2015). Im Rahmen dieser Arbeit wird zur Operationalisierung auf das Modell der hierarchischen Komplexität von Bernholt (2010) zurückgegriffen (vgl. Abschnitt 4.3.1). In der praktischen Anwendung zur Klassifikation der bestehenden Aufgabensammlung hat sich die Abstufung in der vorliegenden Form jedoch als nicht ausreichend trennscharf für die verwendeten Probleme erwiesen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass im vorliegenden Fall Lernaufgaben betrachtet werden. Dementsprechend wurde eine Anpassung vorgenommen, die den Charakter als Lernaufgabe berücksichtigt und einen Bezug zum verfügbaren Fachwissen aus der Vorlesung herstellt.

Die Ausführungen von Bernholt (2010) und auch Woitkowski (2015) zeigen für diese Dimension die Bedeutung der Begründungszusammenhänge. So werden die Stufen des Modells durch die Charakteristik ihrer notwendigen Begründungen bzw. Argumentationsschritte eingeteilt (ebd.). Um diesem Ansatz Rechnung zu tragen und eine bessere Passung zur vorliegenden Lehrsituation zu erreichen, werden die bestehenden Stufen weiter differenziert. Dabei wird zunächst unterschieden, ob die Zusammenhänge anhand der zugrunde gelegten Vorlesung und Materialien eine Reproduktion einer Prozessbeschreibung bzw. linearen Kausalität darstellen oder ob eigenständige Adaptionen vorgenommen werden müssen. Da im letzteren Fall zusätzliche Begründungen notwendig sind, um eine Anpassung an die neuen Gegebenheiten vornehmen zu können, werden sie dementsprechend einer höheren Stufe zugeordnet. Für den Fall, dass die Anpassung durch reine Reproduktion möglich ist, werden die Stufen *grundlegende Prozessbeschreibung* und *grundlegende lineare Kausalität* eingeführt. Für die nächsthöheren Stufen werden die *adaptierte Prozessbeschreibung* und *adaptierte lineare Kausalität* gewählt. Eine entsprechende Einteilung ist daher nur in Abstimmung mit der jeweiligen Lehrveranstaltung sinnvoll darstellbar und orientiert sich hier entsprechend an den Vorlesungsinhalten.

Darüber hinaus wird die Kategorie der multivariaten Interdependenz weiter eingeteilt, da hier aufgrund der Struktur der Lernaufgaben verschiedene Ausprägungen vorliegen. Die ursprüngliche Form bleibt als höchste Stufe der Dimension erhalten und zeichnet sich dadurch aus, dass die mehrstufigen Begründungen nicht weiter vorstrukturiert oder durch vorangegangene Teilaufgaben vorbereitet sein dürfen. Als Vorstufe wird zusätzlich die *zusammengesetzte multivariate Interdependenz* eingeführt. Diese beschreibt eine Aufgabe, die insgesamt die Anforderungen einer *multivariaten Interdependenz* erfüllt, jedoch durch Teilaufgaben entsprechend vorstrukturiert ist, sodass der Problemraum in kleinere Distanzen unterteilt ist. Diese Stufe unterscheidet sich von der *linearen Kausalität* dadurch, dass der Zusammenhang der Teilaufgaben überblickt werden muss und die aufeinander aufbauenden Begründungszusammenhänge eine gemeinsame Interpretation erfordern.

Dies ist demnach nicht der Fall, wenn verschiedene Teilaufgaben zusammen eine *multivariate Interdependenz* darstellen würden, die Bezugnahme der Aufgaben untereinander aber z. B. nur durch das Einsetzen entsprechender Ergebnisse gegeben ist. In diesem Fall werden einzelne *lineare Kausalitäten* kodiert, da eine zusätzliche Verknüpfung der Zusammenhänge zwischen den Aufgaben nicht notwendig ist und eine vergleichbare Anforderung bei Angabe entsprechender Zwischenergebnisse vorliegen würde.

Lösungsmöglichkeiten

Bei der Beschreibung der Einflussfaktoren auf die Problemschwierigkeit (vgl. Abschnitt 4.3) wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Möglichkeit verschiedener Lösungswege eine zusätzliche Herausforderung bei der Bewältigung eines Problems darstellt (vgl. Jonassen, 2012a). Eine weitere richtige Lösung stellt also keine Entlastung dar, sondern eine weitere Möglichkeit, die es abzuwägen gilt. Insbesondere bei mehreren Lösungen, von denen eine als einfacher oder weniger komplex eingestuft werden kann, besteht für eine:n Noviz:in eine zusätzliche Hürde, die für sie oder ihn geeignete Lösung zu identifizieren. Daher werden drei Kategorien unterschieden: eine Lösungsmöglichkeit, eine zentrale Lösungsmöglichkeit und mehrere Lösungsmöglichkeiten. Die Kategorie der zentralen Lösungsmöglichkeit grenzt sich dadurch ab, dass eine der verschiedenen Lösungsmöglichkeiten im Vergleich zu anderen Alternativen als deutlich ökonomischer einzuschätzen ist, während bei mehreren Lösungsmöglichkeiten keine eindeutige Bevorzugung einer der Alternativen festgestellt werden kann. Dabei ist zu beachten, dass hier nicht der Zugang verschiedener mathematischer Ansätze oder Umformungen gemeint ist, sondern lediglich das physikalische Problemschema, welches den gewählten Ansatz bestimmt (also z. B. die Verwendung von Bewegungsgleichungen oder einer Energieerhaltung).

Mathematisierung

Die Dimension Mathematisierung erfasst als eigene Kategorie die mathematischen Aspekte, die zur Lösung einer Aufgabe notwendig sind. Sie orientiert sich an der bereits im Abschnitt 4.3.1 vorgestellten Einteilung nach Schoppmeier et al. (2012). Neben den Kategorien *Berechnen*, *Umformen*, *Umgang mit funktionalen Zusammenhängen* und *Modellieren* wird die Ausprägung *keine Mathematisierung* ergänzt, um vereinzelt Aufgaben zu berücksichtigen, die sich ausschließlich auf konzeptuelle Zusammenhänge konzentrieren. Da für diese Dimension nur die höchste vorkommende Ausprägung pro Aufgabe kodiert wird, ist die Wahl der Kategorie *Berechnen* nur zu Beginn des Semesters sinnvoll, da hier ein reines Einsetzen der Werte in eine bereits umgestellte Formel erfolgt.

Objektivität der Aufgabenanalyse

Das entstandene Kodiermanual wurde anhand einer bestehenden Aufgabensammlung erprobt, die von den Lehrenden des Instituts regelmäßig in der Praxis eingesetzt wird. Damit sind alle Inhaltsbereiche und Schwierigkeitsgrade abgedeckt, die üblicherweise in der Lehrveranstaltung Anwendung finden. Damit sollte einerseits die Passung zur Zielgruppe gewährleistet werden und andererseits eine Varianz verschiedener Merkmalsausprägungen für die Erprobung des Kodiermanuals genutzt werden. Dazu wurden die 91 vorhandenen Aufgaben von der Doktorandin und zwei studentischen Hilfskräften nach dem entwickelten Kodiermanual kategorisiert.

Zur Überprüfung der Güte des Manuals wurde für jede Dimension eine Interraterreliabilität berechnet. Diese gibt die Übereinstimmung verschiedener Beurteiler („rater“) wieder und dient als Maß für die Objektivität (vgl. Fischer & Krabbe, 2015). Dazu wurde mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS ein Fleiss-Kappa ermittelt, das für mehr als zwei Beurteiler geeignet ist (vgl. ebd.). Werden für eine Kategorie mehrere Fleiss-Kappas angegeben, wurden für die Kodierung mehrere Variablen angelegt, die jeweils auf Übereinstimmung getestet wurden. In diesem Fall werden jeweils der niedrigste und der höchste Wert der Kategorie als Grenzen angegeben (vgl. z. B. *Inhaltsbereich* oder *Lösungsansatz* in Tab. 8.10).

Tabelle 8.10. Variierte Aufgabenmerkmale

Aufgabenmerkmale	Interraterreliabilität κ
Inhaltsbereich	.61 – .86***
Lösungsmöglichkeiten	.94***
Mathematisierung	.96***
Hierarchische Komplexität für Lernaufgaben	.88 – .91***
Problemstruktur	.76 – .95***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Kategorien, die mehrfach kodiert wurden (z. B. Inhaltsbereich und Problemstruktur), weisen teilweise eine niedrigere Untergrenze auf, da die Anzahl der kodierten Werte pro Kategorie einen Einfluss auf die Übereinstimmung hat. Da bei einer Aufgabe z. B. alle vier Inhaltsbereiche kodiert werden konnten, wurden vier Variablen für die Kodierung eingeführt, sodass sich beim Übersehen einer alternativen Lösungsmethode immer Abweichungen für die nachfolgend kodierten Variablen ergaben. Der niedrigste Wert mit $\kappa = .61$ entspricht hier der dritten Inhaltsvariablen und der Wert von $\kappa = .81$ der ersten Inhaltsvariablen.

Tabelle 8.11. Konstante Aufgabenmerkmale

Aufgabenmerkmale	Interraterreliabilität κ
Teilaufgaben	.95***
Art der Aufgabeninformation	.73 – 1.00***
Relevanz der Aufgabeninformation	.80***
Lesbarkeitsindex	1.00***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Insgesamt wird für jede Kategorie ein Wert von $\kappa = .6$ überschritten (vgl. Tab. 8.10 und Tab. 8.11), was (vgl. Fischer & Krabbe, 2015) üblicherweise akzeptiert und nach Landis und Koch (1977) als substantiell bewertet wird, sodass das Manual als hinreichend objektiv eingeschätzt wird.

Nach erfolgreicher Überprüfung der Güte des Kodiermanuals wurde dieses zur Erstellung geeigneter Übungsaufgaben für die Lehrveranstaltung verwendet. Dazu wurden zum Teil bestehende Aufgaben aus der oben genannten Aufgabensammlung adaptiert und zum Teil eigenständig Aufgaben ergänzt.

8.4.2. Methodische Berücksichtigung der Worked Examples

Da die Analogiebildung einen wesentlichen Vorteil von Worked Examples darstellt (vgl. VanLehn, 1996; Renkl, 2017), wird diese anhand des vorgestellten Manuals kontrolliert. Dazu dient vor allem die Betrachtung der Problemstruktur. Damit das Worked Example als Hilfestellung für die weiteren Aufgaben des Übungsblattes verwendet werden kann, müssen die wesentlichen Elemente der Lösungsschritte auch im Rahmen des Worked Examples durchgeführt und erläutert werden. Das Worked Example sollte daher die Elemente der Problemstruktur, die im gesamten Übungsblatt benötigt werden, möglichst vollständig enthalten. Bei der Gestaltung der Worked Examples im Speziellen, aber auch der Übungsblätter im Allgemeinen, ist an dieser Stelle die notwendige Bearbeitungszeit der Studierenden als wichtiger limitierender Faktor zu berücksichtigen. Daraus ergeben sich Fälle, in denen eine vollständige Abbildung der Problemstruktur zu umfangreich ist. Aus diesem Grund wird eine Reduktion auf eine Teilmenge der Elemente bzw. eine ähnliche Problemstruktur zugelassen (z. B. wenn in den klassischen Aufgaben ein $s-t$ -, $v-t$ -, $a-t$ - und $F-t$ -Diagramm verwendet wird, wird im Worked-Example nur das $F-t$ -Diagramm eingesetzt).

8.4.3. Berücksichtigung der Lernhilfen

Die zusätzlichen Lernhilfen dienen primär der Entlastung der ersten eigenständigen Lösungsvorhaben. Um das Ziel des selbständigen Problemlösens, welches ebenfalls transferfähig und flexibel sein soll, zu verfolgen, muss diese Entlastung jedoch sukzessive verringert werden. Da die Lernhilfen eine Vereinfachung der Aufgaben darstellen, werden sie bei der Bewertung der hierarchischen Komplexität der Aufgaben berücksichtigt. Im Kodiermanual wird zu diesem Zweck die Größe der *normierten Komplexität* eingeführt. Die Zergliederung der Sinneinheiten wird berücksichtigt, indem die Komplexität durch die Anzahl der Lernhilfen geteilt wird. Damit Aufgaben ohne Lernhilfen ihre Komplexität beibehalten, wird der Nenner auf $L + 1$ festgelegt.

$$\bar{K}_S = \frac{K}{L + 1}$$

Dabei stellt \bar{K}_S die normierte Komplexität einer Sinneinheit, K die entsprechende hierarchische Komplexität und L die Anzahl der Lernhilfen dar.

8.5. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das Physikübungskonzept der Studie vorgestellt.

Als zentrales Element wurde das Strategietraining beschrieben (vgl. Abschnitt 8.1), das gleichzeitig die Intervention der Studie darstellt. Dazu wurde zunächst ein Überblick über die einzelnen Einheiten des Strategietrainings und die jeweiligen Lernziele gegeben. Als Kernelemente wurden die Erarbeitung der inhaltsspezifischen Problemschemata und Heuristiken vorgestellt. Darüber hinaus wurde eine Einführung anhand eines kognitiven Konflikts und ein abschließender Transfer durchgeführt. Eine weitere Differenzierung der einzelnen Phasen erfolgte in der methodischen Darstellung (vgl. Abschnitt 8.3).

Darüber hinaus wurde das eingesetzte Lernmaterial beschrieben (vgl. Abschnitt 8.2), das als Grundlage für die Erarbeitung der Problemschemata aufbereitet wurde. Dazu wurde die Steuerung der Aufgabenmerkmale mit Hilfe eines Kodiermanuals vorgestellt (vgl. Abschnitt 8.4), um einerseits die Ähnlichkeit und andererseits die Schwierigkeit der Aufgaben über das Semester gezielt zu variieren. Dabei wurde insbesondere die Bedeutung der Problemstruktur und der hierarchischen Komplexität hervorgehoben (vgl. Abschnitte 8.4.1 und 8.4.1). Die durch die Steuerung der Problemstruktur angestrebte Analogiebildung wird zudem durch den Einsatz von Worked Examples unterstützt (vgl. Abschnitt 8.2.2).

9. Anlage der Untersuchungen

In diesem Kapitel wird die empirische Anlage der Studie beschrieben. Zunächst werden die Rahmenbedingungen der Voruntersuchungen (vgl. Abschnitt 9.1) sowie der Hauptuntersuchung (vgl. Abschnitt 9.2) beschrieben, in deren Rahmen die Datenerhebungen durchgeführt wurden. Danach werden Gütekriterien der empirischen Sozialforschung eingeführt (vgl. Abschnitt 9.3), anhand derer die Datenerhebung sowie die eingesetzten Testinstrumente beurteilt werden. Es folgt eine Beschreibung der eingesetzten Testinstrumente (vgl. Abschnitt 9.4). Abschließend wird die Aufbereitung der gewonnenen Daten zur Sicherung der Datenqualität beschrieben (vgl. Abschnitt 9.5), bevor im nächsten Kapitel die Darstellung der Ergebnisse der Untersuchung erfolgt.

9.1. Voruntersuchungen

Die Voruntersuchungen zur vorliegenden Studie fanden zwischen dem Sommersemester 2020 und dem Sommersemester 2021 statt. Diese standen vollständig unter dem Einfluss der Corona-Pandemie, die im März 2020 zu einer spontanen Umstellung auf die digitale Lehre führte. Die Datenerhebung wurde daher ebenfalls online über Moodle durchgeführt. Darüber hinaus waren die Teilnehmerzahlen in den jeweiligen Semestern deutlich geringer als zuvor, sodass eine Evaluierung des Testinstruments erschwert wurde.

Die Übungsblätter inklusive der entwickelten Worked Examples wurden im Sommersemester 2020 erstmals eingesetzt und kontinuierlich weiterentwickelt. Dabei wurden die wöchentlichen Korrekturen der Aufgaben und die Seminarsitzungen zur Rückmeldung von Schwierigkeiten seitens der Studierenden genutzt. Neben dem Einsatz des Lernmaterials wurde als zentrale Intervention das Strategietraining selbst pilotiert. Der Fokus lag dabei auf der Anpassung des theoretischen Konzepts an die vorliegende Zielgruppe sowie auf der Etablierung organisatorischer Abläufe. Dieser Prozess fand in den beiden Semestern vor der Hauptstudie in digitaler Form statt.

Darüber hinaus wurden ab dem Wintersemester 2020/21 das Testinstrument zum deklarativen Wissen über Problemschemata und im darauffolgenden Sommersemester alle weiteren Testinstrumente eingesetzt. Die Ergebnisse der Pilotierung werden ebenfalls bei der Beschreibung der jeweiligen Testinstrumente dargestellt (vgl. Abschnitt 9.4).

9.2. Hauptuntersuchung

Die Erhebung der Hauptstudie fand im Wintersemester 2021/22 an der Hochschule Ruhr West in Mülheim an der Ruhr statt. Die Intervention wurde im Rahmen des Moduls Naturwissenschaften für die Studiengänge Maschinenbau (Bachelor of Science) und Maschinenbau monoedukativ (Bachelor of Science) durchgeführt. Von den $N = 108$ Teilnehmer:innen zu Beginn des Semesters blieben bis zum Ende noch $N = 71$ Teilnehmer:innen übrig, die das Modul aktiv belegten (vgl. auch Übersicht in Abschnitt 9.5). Eine aktive Teilnahme wurde definiert als maximal zwei versäumte Seminartermine im Semester, mindestens 50% der Übungspunkte im Semester und die vollständige Bearbeitung aller Testinstrumente vor und nach dem Semester. Diese Voraussetzungen wurden ebenfalls zu Beginn des Semesters als Prüfungsvoraussetzung bekannt gegeben.

Studierende, die das Modul bereits aktiv belegt hatten, wurden als Wiederholer:innen identifiziert (Prä: $N = 24$, Post: $N = 15$). Als aktive Teilnahme wurde in diesem Fall definiert, wenn in einem der vorangegangenen Semester länger als bis zur dritten Vorlesungswoche entweder an der Lehrveranstaltung teilgenommen oder Übungsblätter abgegeben wurden. Die Wiederholer:innen verfügen zu Beginn des Semesters über zusätzliche Erfahrungen durch den Besuch dieser Lehrveranstaltung, aber auch anderer fachlich verwandter Lehrveranstaltungen und allgemeine Erfahrungen mit dem Modus eines Studiums, sodass die Vermutung besteht, dass aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen keine vergleichbaren Voraussetzungen zu Beginn des Semesters vorliegen. Diese Vermutung wird vor der Evaluation der Ergebnisse überprüft.

Eine genauere Beschreibung der Stichprobe erfolgt im nächsten Kapitel zu den Studienergebnissen unter Berücksichtigung der in diesem Kapitel beschriebenen personenbezogenen Daten. Nachfolgend werden die zugrunde gelegten Gütekriterien sowie die eingesetzten Testinstrumente vorgestellt.

9.3. Gütekriterien

In diesem Abschnitt werden die statistischen Grundlagen für die nachfolgenden Kapitel kurz dargestellt. Dazu werden zunächst Gütekriterien vorgestellt, die bei der Datenerhebung zu beachten sind und insbesondere zur Beurteilung der eingesetzten Testinstrumente dienen (vgl. Abschnitt 9.3).

Nachfolgend werden Gütekriterien dargestellt, die nach Döring und Bortz (2016) das Kriterium der methodischen Strenge wissenschaftlichen Arbeitens widerspiegeln. Hierzu zählen insbesondere die Objektivität, Reliabilität und Validität (ebd.). Neben einer Begriffserläuterung werden die hier verwendeten statistischen Verfahren und Größen vorgestellt.

9.3.1. Objektivität

Die Objektivität eines Tests beschreibt seine Unabhängigkeit von der Person, die den Test durchführt (Döring & Bortz, 2016). Ein Maß zur Beschreibung der Objektivität ist die Interraterreliabilität (Fischer & Krabbe, 2015). Sie gibt die Übereinstimmung verschiedener Beurteiler („rater“) an, die anhand zuvor festgelegter Kriterien Entscheidungen zur Kategorisierung von z. B. Testantworten treffen. Zur Überprüfung der Übereinstimmung zwischen zwei Beurteilern kann Cohens Kappa berechnet werden, bei mehreren Beurteilern wird Fleiss Kappa bestimmt (ebd.). In der vorliegenden Arbeit wurde jeweils die Übereinstimmung zwischen der Promovierenden und zwei trainierten studentischen Hilfskräften bestimmt, sodass ein Fleiss Kappa berechnet wurde (vgl. Gleichung 9.1).

$$\kappa_F = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e} \quad (9.1)$$

mit p_0 als beobachtete Übereinstimmung

und p_e als erwarteter Übereinstimmung bei zufälliger Beurteilung

$$p_0 = \frac{1}{N \cdot n \cdot (n-1)} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k n_{ij}^2 - N \cdot n \right)$$

$$p_e = \sum p_j^2$$

Es können dabei Werte zwischen -1 und 1 erreicht werden. An dieser Stelle wird der Einteilung von Landis und Koch (1977) gefolgt, die eine Bewertung verschiedener Grenzwerte vorschlägt (vgl. Tab. 9.1).

Tabelle 9.1. Interpretation von κ nach Landis und Koch (1977)

Kappa	Interpretation
.81-1.00	fast perfekt
.61-.80	substanziell
.41-.60	moderat
.21-.40	mäßig
.00-.20	gering
<.00	mangelhaft

9.3.2. Validität

Die Validität wird in vier verschiedene Kriterien unterteilt: Konstruktvalidität, interne Validität, externe Validität und statistische Validität (vgl. Döring & Bortz, 2016).

Die Konstruktvalidität beschreibt die Übereinstimmung der experimentell abgebildeten Variablen mit dem zugrunde gelegten theoretischen Konstrukt (vgl. ebd.). Nur wenn die verwendeten Testinstrumente und Untersuchungsbedingungen die theoretischen Konzepte hinreichend gut abbilden, ist eine Interpretation der empirischen Daten als Indikator für diese Konstrukte zulässig. Die Konstruktvalidität stellt somit das grundlegendste Gütekriterium dar, ohne das eine Studie keine aussagekräftigen Ergebnisse liefern kann. Sie wird u.a. durch eine unzureichende Operationalisierung der Untersuchungsbedingungen bzw. Messinstrumente beeinflusst.

Der Geltungsanspruch einer Studie, Kausalerklärungen zuzulassen, wird durch die Überprüfung der internen Validität sichergestellt (Döring & Bortz, 2016). Als Voraussetzungen werden neben der zeitlichen Abfolge von Ursache und Wirkung zum einen eine hohe statistische Validität und zum anderen die Überlegenheit der Kausalerklärung gegenüber alternativen Erklärungshypothesen genannt. Für die Gewährleistung einer hohen internen Validität ist insbesondere die Kontrolle möglicher Störeinflüsse relevant. Dies betrifft sowohl Aspekte der Durchführung als auch der Datenerhebung. So kann beispielsweise die wiederholte Anwendung eines Testinstruments zu einem Übungseffekt führen, der als Lernzuwachs fehlinterpretiert wird.

Die externe Validität beschreibt die Generalisierbarkeit der Erkenntnisse einer Studie (Döring & Bortz, 2016). Dieses Gütekriterium wird vor allem durch die sehr individuellen Bedingungen einer Studie beeinflusst. Für eine entsprechende Beurteilung müssen daher Interaktionseffekte zwischen dem relevanten kausalen Effekt und den Bedingungen des Studiendesigns berücksichtigt werden (ebd.). Mögliche Abweichungen in anderen Studien können daher sowohl durch Unterschiede in den untersuchten Personen, den Interventionsbedingungen, weiteren praktischen Rahmenbedingungen oder weiteren Mediatoreffekten zustande kommen. Zur Sicherung der externen Validität ist daher eine möglichst umfangreiche Datenbasis hilfreich, die verschiedene Variationen des Forschungsdesigns berücksichtigt und eine möglichst große sowie repräsentative Stichprobe gewährleistet.

Darüber hinaus wird die statistische Validität einer quantitativ-empirischen Studie berücksichtigt, wenn eine korrekte inferenzstatistische Datenanalyse durchgeführt wird. Hierzu werden geeignete statistische Verfahren eingesetzt, die hypothesenbasiert angewendet werden. Döring und Bortz (2016) nennen neun Gefährdungen der statistischen Validität nach Cook und Campbell (1976) (bzw. Cook und Campbell (1979)). Dazu zählen eine zu geringe Teststärke, die Verletzung der Voraussetzungen der verwendeten Signifikanztests,

ein „Signifikanzfischen“, mangelnde Reliabilität der Messinstrumente, ein eingeschränkter Wertebereich der Variablen, mangelnde Reliabilität der Treatment-Implementierung, Störeinflüsse im experimentellen Setting, Heterogenität innerhalb der Untersuchungsgruppen und eine falsche Effektgrößenbestimmung. Die Teststärke beschreibt dabei das Verhältnis zwischen Stichprobenumfang und der interessierenden Effektgröße. Eine wissenschaftliche Hypothesenprüfung sollte über eine gute Teststärke verfügen, die idealerweise im Vorfeld durch eine entsprechende Stichprobenplanung berücksichtigt oder durch eine post-hoc-Teststärkenanalyse ermittelt werden kann.

9.3.3. Reliabilität

Die Reliabilität bildet die Messgenauigkeit einer Untersuchung ab (vgl. Döring & Bortz, 2016). Es kann zum einen die Reliabilität der Durchführung der Intervention und zum anderen die Reliabilität der eingesetzten Testinstrumente betrachtet werden. Ein reliables Testinstrument bildet das untersuchte Konstrukt konsistent ab (Field, 2009). Zur Bestimmung wird an dieser Stelle die Skalenreliabilität mittels Cronbachs Alpha ermittelt (vgl. Gleichung 9.2).

$$\alpha = \frac{N^2 \overline{Cov}}{\sum s_{\text{item}}^2 + \sum Cov_{\text{item}}} \quad (9.2)$$

mit N als Anzahl der Items, s^2 als Varianz der Items, Cov als Kovarianz der Items und \overline{Cov} als Mittelwert der Kovarianz

Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 1, wobei ein höherer Wert einer größeren internen Konsistenz entspricht (vgl. Döring & Bortz, 2016). Von einer reinen Interpretation anhand von Grenzwerten wird jedoch abgeraten und es sollte immer auch eine inhaltliche Beurteilung berücksichtigt werden (ebd.). Als Referenzwerte für eine erste Einordnung wird hier die Einteilung nach Blanz (2021) verwendet (vgl. Tab. 9.2).

Tabelle 9.2. Interpretation von Cronbachs α nach Blanz (2021)

Cronbachs Alpha	Interpretation
>.90	Exzellente
>.80	Hoch
>.70	Akzeptabel
>.60	Fragwürdig
>.50	Niedrig
<.50	Inakzeptabel

Neben der Skalenreliabilität werden auch die Trennschärfen der einzelnen Items eines Testinstruments bestimmt. Diese werden in der Reliabilitätsanalyse von SPSS durch die korrigierte Item-Skala-Korrelation angegeben. Für jedes Item sollte ein Wert über .3 erreicht werden, um eine ausreichende Trennschärfe zu gewährleisten (Field, 2009). Ein zu niedriger Wert kann hingegen bedeuten, dass das Item nicht gut mit der Skala korreliert und ausgeschlossen werden sollte (ebd.). Ein Ausschluss entsprechender Items ist daher dann zu empfehlen, wenn das resultierende Cronbachs Alpha der Gesamtskala ohne dieses Item einen höheren Wert annimmt (ebd.).

9.3.4. Datenqualität

Ein weiteres Gütekriterium stellt die Datenqualität dar, die sowohl die methodische Strenge bei der Datenerhebung als auch bei der Datenaufbereitung abbildet (vgl. Döring & Bortz, 2016). Die Qualität der Daten wird danach zum einen durch die Datenerhebung selbst und zum anderen durch die Datenaufbereitung bestimmt. Im Rahmen der Datenerhebung wird dies sowohl durch den Einsatz objektiver, reliabler und valider Messinstrumente als auch durch eine adäquate Durchführung der Erhebungsmethode gewährleistet (ebd.). Darüber hinaus wird für eine hohe Datenqualität eine systematische und dokumentierte Datenbereinigung der Rohdaten gefordert (ebd.). Dazu gehören der Ausschluss unplausibler Werte und der korrekte Umgang mit fehlenden Werten (ebd.).

9.4. Testinstrumente

In diesem Abschnitt werden die eingesetzten Testinstrumente vorgestellt. Es handelt sich dabei um eine Zusammenstellung bereits bestehender Instrumente sowie um eigene Neukonstruktionen. Da die übernommenen Testinstrumente in der jeweiligen Originalstudie unter explizit dafür gewählten Bedingungen evaluiert wurden, gelten sie als ausreichend pilotiert, sodass an dieser Stelle keine erneute Evaluation diskutiert wird. Im Sinne der Datenqualität wird die Güte der Testinstrumente auf besondere Ausreißer der Items untersucht, die einen Ausschluss in der vorliegenden Studie erfordern. Die entsprechenden Daten werden im Folgenden diskutiert. Die weiteren Kennwerte sind zur Übersicht im Anhang aufgeführt. Für die beiden neu konstruierten Testinstrumente wird die Erprobung mit den entsprechenden Kennwerten regulär vorgenommen. Eine Übersicht über alle Testinstrumente findet sich in Tabelle 9.3. Die personenbezogenen Daten wurden nur zum Prä-Messzeitpunkt erhoben. Alle anderen Testinstrumente wurden sowohl zum Prä- als auch zum Post-Messzeitpunkt eingesetzt.

Tabelle 9.3. Übersicht der eingesetzten Testinstrumente

Variable	Testinstrument	Bearbeitungszeit	Quelle
Deklaratives Wissen über Problemschemata in der Physik	DWPS	30 Minuten	Plicht et al. (2022)
Auswahl von Problemschemata	Sortieraufgaben	20 Minuten	Binder, Schmiemann und Theyßen (2019)
Problemlösekompetenz	Problemlösetest	45 Minuten	Brandenburger (2017)
Einstellungen zu Interventionsmaßnahmen	Einstellungen zur Physik	10 Minuten	Plicht et al. (2022)
Fachwissen Physik	Fachwissenstest	45 Minuten	Woitkowski (2015)
Selbstkonzept	Fragebogen zum Selbstkonzept	10 Minuten	Brandenburger (2017)
Personenbezogene Daten und schulische Vorerfahrung	Fragebogen zu personenbezogenen Daten	10 Minuten	Items zur schulischen Vorerfahrung aus Woitkowski (2015)

9.4.1. Deklaratives Wissen über Problemschemata

Zur Beantwortung der vorgestellten Forschungsfragen steht die Untersuchung der entwickelten Problemschemata im Fokus. Die erste Hypothese besteht in einer Steigerung des deklarativen Wissens über Problemschemata (**H.1.1**). Da für die Evaluation dieser Hypothese kein geeignetes Testinstrument vorliegt, wurde ein neues Instrument zur Erfassung des deklarativen Wissens über Problemschemata (kurz *DWPS*) in der Mechanik entwickelt.

Konstruktion des Testinstruments

Bei der Konstruktion sollte eine klare Abgrenzung von einem regulären Test zu deklarativem Fachwissen vorgenommen werden. Dabei ist eine Überschneidung dieser Größen unvermeidlich und notwendig. Eine zentrale Unterscheidung muss jedoch in der Struktur der einzelnen Items liegen. So kann ein Fachwissenstest zum deklarativen Wissen durchaus unabhängige Aspekte abfragen, während ein Testinstrument zum deklarativen Wissen über Problemschemata die Vernetzung dieser Schemata abbilden muss. Somit ist hier die Berücksichtigung verschiedener Abstraktionsebenen notwendig. Dazu werden die Annahmen aufgegriffen, die bereits bei der Planung des Strategietrainings (vgl. Abschnitt 8.3.3) dargestellt wurden. Es wird davon ausgegangen, dass Problemschemata in der Physik über folgende Informationen verfügen:

1. Informationen über charakteristische Merkmale des Problemtyps
2. Informationen über typische Lösungsansätze des Problemtyps
3. Informationen über Heuristiken

Die charakteristischen Merkmale des Problemtyps werden an dieser Stelle nicht weiter in Aufgabenmerkmale und konzeptuelle Merkmale unterschieden, da eine überschneidungsfreie Darstellung der Ebenen nicht konsequent abgebildet werden kann und auch im Rahmen der Intervention eine Zusammenfassung der verschiedenen Ebenen erfolgt. Es werden Zusammenhänge erfragt, die einen bestimmten Typ von Problemsituation physikalisch beschreiben (z. B. für den Problemtyp *waagerechter Wurf* vgl. Abb. 9.1). Hier findet bereits eine Verknüpfung von Oberflächen- und Tiefenstruktur statt. Damit soll überprüft werden, ob vorliegende Aufgabenstellungen in ihrer Problemrepräsentation richtig klassifiziert werden. Neben Merkmalen, die explizit in einer Aufgabenstellung benannt werden können, sind damit auch Aspekte gemeint, die sich implizit aus diesen Angaben ergeben (z. B. die spezifische Kräftezerlegung, die sich aus der Betrachtung einer schiefen Ebene ergibt).

Als weiteres Element werden typische Lösungsansätze erfragt. Diese umfassen einerseits konkrete Gleichungen, die als mathematischer Ansatz gewählt werden können, sowie Zusammenhänge, die Voraussetzung für einen Lösungsansatz sein können (vgl. Abb. 9.2). Darüber hinaus werden Fragen eingesetzt, die auf einer allgemeineren Ebene das heuristische Vorgehen bei der Lösung einer Aufgabe aus einem bestimmten Inhaltsbereich untersuchen (vgl. Abb. 9.3). An dieser Stelle wird ein entsprechender Überblick über die Teilgebiete untersucht, da in der Regel Aussagen darüber getroffen werden müssen, welcher Aspekt des Lösungsprozesses notwendig, nicht notwendig oder ungeeignet ist. Gemäß dieser Einteilung wurden Items für die vier Inhaltsbereiche Kinematik, Kräfte, Energie und Impuls formuliert (vgl. Abb. 9.1-9.3).

Welche der nachfolgenden Merkmale charakterisieren einen waagerechten Wurf?
Wählen Sie eine Antwort:

- a) In x -Richtung: eine gleichförmige Bewegung.
In y -Richtung: eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
- b) In x -Richtung: eine gleichförmige Bewegung.
In y -Richtung: eine gleichförmige Bewegung.
- c) In x -Richtung: eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
In y -Richtung: eine gleichförmige Bewegung.
- d) In x -Richtung: eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
In y -Richtung: eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.

Abb. 9.1. Beispiel einer Frage zu charakteristischen Merkmalen eines Problemtyps

Wie lautet der Lösungsansatz zur Bestimmung des Zeitpunkts des Hochpunktes einer Bewegung?

Dabei bezeichnet s den Ort, v die Geschwindigkeit, a die Beschleunigung, g die Erdbeschleunigung, h_0 die Anfangshöhe und t die Zeit.

Wählen Sie eine Antwort:

- a) $a_y(t) = 0$
- b) $v_y(t) = 0$
- c) $v_y(t) = g \cdot t + v_{0,y}$
- d) $s_x(t) = \sqrt{2g \cdot h_0}$

Abb. 9.2. Beispiel einer Frage zu typischen Lösungsansätzen

Welcher der folgenden Schritte muss immer für eine Aufgabe aus dem Bereich der Kinematik durchgeführt werden?

Hinweis: Kinematik bezeichnet ein Teilgebiet der Physik, bei dem die Bewegungen von Körpern beschrieben werden.

Wählen Sie eine Antwort:

- a) Hochpunkt der Bewegung bestimmen.
- b) Aufprallgeschwindigkeit der Bewegung bestimmen.
- c) Anfangsgeschwindigkeit der Bewegung bestimmen.
- d) Aufprallzeitpunkt der Bewegung bestimmen.

Abb. 9.3. Beispiel einer Frage zu Heuristiken

Um eine ausreichende Qualität des Testinstruments zu gewährleisten, wurde es in den beiden Semestern vor der Hauptstudie pilotiert und entsprechend überarbeitet. Die wesentlichen Erkenntnisse aus diesem Prozess werden nachfolgend dargestellt.

Pilotierung und Überarbeitung des Testinstruments

Das Testinstrument zum deklarativen Wissen über Problemschemata wurde sowohl im Wintersemester 2020/21 als auch im Sommersemester 2021 pilotiert. Im Wintersemester 2020/21 wurden zunächst 44 Items zu Semesterbeginn eingesetzt. Die Items wurden auf drei Testhefte verteilt, wobei 14 Items in allen Testheften verwendet wurden. Bei den ausgetauschten Items handelte es sich um funktional identische Fragen (z. B. zu charakteristischen Aufgabenmerkmalen in der Kinematik). Aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der Teilnehmenden auf die Seminargruppen wurde ein Testheft doppelt eingesetzt, um vergleichbare Bearbeitungszahlen der Items zu erhalten. Die Gesamtstichprobe zum Prä-Messzeitpunkt umfasste 84 Teilnehmende ($w = 13$, $m = 71$, $d = 0$). Für eine erste Überarbeitung wurde die Verteilung der Itemschwierigkeiten betrachtet. Dabei sollten

sowohl Ausreißer eliminiert als auch Lücken zwischen den Items geschlossen werden, um eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Itemschwierigkeiten zu erreichen. Zusätzlich wurde eine Distraktorenanalyse durchgeführt, um Distraktoren zu identifizieren, die nur selten gewählt wurden und daher möglicherweise nicht attraktiv genug gestaltet waren. In einer ersten Überarbeitung vom Prä-Messzeitpunkt der Prä-Pilotierung zum Post-Messzeitpunkt wurden 16 Items verändert (s. Tab. 9.4). Aufgrund der Verringerung der Stichprobengröße im Laufe des Semesters konnten zudem nur noch zwei der drei Testhefte eingesetzt werden, sodass die darin variierten sieben Items nicht verwendet wurden. In der Überarbeitung bis zur Pilotierung im Sommersemester 2021 wurden weitere Items gestrichen und neu konstruiert, sodass 35 Items zum Einsatz kamen (s. Tab. 9.4). In einer letzten Überarbeitung für die Hauptstudie wurden sieben der Items überarbeitet und elf der Items gestrichen. Einige der Items wurden gestrichen, da inhaltliche Dopplungen vorlagen und daher die besser funktionierende Formulierung gewählt wurde. Im endgültigen Testdesign konnten somit 24 Items eingesetzt werden.

Tabelle 9.4. Überarbeitung des Testinstruments DWPS

Zeitpunkt der Überarbeitung	geänderte Items	gestrichene Items	wieder aufgenommene Items	neu konstruierte Items	kon- verbleibende Items
Präpilotierung Prä	–	–	–	44	44
Präpilotierung Post	16	7	–	–	37
Pilotierung	–	9	2	5	35
Hauptstudie	7	11	–	–	24

Güte des Testinstruments

Das überarbeitete Testinstrument wurde mit den verbleibenden 24 Items in der Hauptstudie im Wintersemester 2021/22 eingesetzt. Nachfolgend wird die Güte des Testinstruments anhand der beschriebenen Kriterien diskutiert (s. Abschnitt 9.3).

Validität Da es sich um ein neu konstruiertes Testinstrument handelt, wurde die Konstruktvalidität untersucht. Für eine konvergente Validierung standen keine Testinstrumente zur Verfügung, die das identische Konstrukt abbilden, so dass geprüft wurde, ob die Konstruktnähe zwischen den verschiedenen Testinstrumenten erwartungskonform ist. Dazu wurden die Korrelationen zwischen den Sortieraufgaben, dem Problemlösetest, dem Fachwissenstest und den Schulnoten in Mathematik und Physik ermittelt (s. Tab. 9.5). Für die Sortieraufgaben und den Problemlösetest wird jeweils ein starker Zusammenhang erwartet, da beide Tests auch Teile der Problemlösekompetenz abbilden. Da

das Fachwissen ein Prädiktor der Problemlösekompetenz ist (vgl. Brandenburger, 2017), wird auch hier ein mittlerer bis hoher Zusammenhang erwartet.

Tabelle 9.5. Korrelationen der erreichten Punkte für deklaratives Wissen über Problemschemata (=DWPS) mit den Sortieraufgaben (=SA), Problemlösetest (=PL), Fachwissenstest (=FW), Physiknote und Mathematiknote

Testinstrument	SA	PL	FW	Physiknote	Mathematiknote
DWPS	.713***	.570***	.687***	-.014	-.451***
SA		.471***	.670***	-.187	-.458***
PL			.636***	.009	-.394**
FW				-.282*	-.608***
Physiknote					.372**

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Die Korrelationen mit den Schulnoten sind negativ, da eine höhere Note mit einer geringeren Leistung assoziiert wird.

Für die Sortieraufgaben und den Problemlösetest zeigen sich jeweils hohe Korrelationen. Dies entspricht den zuvor formulierten Erwartungen. Auch für das Fachwissen bestätigt sich eine hohe Korrelation.

Bemerkenswert ist, dass die Korrelation zwischen dem deklarativen Wissen über Problemschemata und dem Fachwissen höher ist als die Korrelation mit dem Problemlösetest. Der Fachwissenstest erfasst in diesem Fall sowohl deklaratives als auch anwendungsbezogenes Fachwissen (vgl. Woitkowski, 2015). Da auch für das deklarative Wissen über Problemschemata Wissens Elemente und Zusammenhänge abgefragt werden, eine Anwendung jedoch nicht gefordert wird, kann der stärkere Bezug zum Fachwissen hier auf die Struktur des abgefragten Wissens zurückgeführt werden. Es fällt auf, dass es zwischen der Physiknote und dem Fachwissen eine niedrige, negative Korrelation gibt, die nicht erwartungsgemäß ist. Außerdem korrelieren die Mathematiknote und die Physiknote miteinander ($r = .372$, $p = .003$). Als mögliche Erklärung kann angenommen werden, dass die Physiknote bei den meisten Studierenden zu weit zurückliegt, da viele Studierende Physik nur bis zur 10. Klasse belegt haben (23,6%) und die entsprechende Note somit nicht mehr die aktuelle Leistung widerspiegelt. Da für die weiteren Testinstrumente keine Korrelationen mit der Physiknote nachgewiesen werden konnten, aber eine Korrelation zwischen dem Fachwissenstest und den anderen Testinstrumenten besteht, kann diese Hypothese weiter gestützt werden. Die mittlere Korrelation zwischen dem Testinstrument und der Mathematiknote kann als indirekter Zusammenhang interpretiert werden, da eine Korrelation zwischen der Mathematiknote und dem Fachwissenstest ($r = -.402$ (s. Woitkowski, 2015, S.212)) sowie zwischen dem Problemlösetest und dem Mathematiktest

($r = .38$ (s. Brandenburger, 2017, S.261)) in den jeweiligen Studien vergleichbar beobachtet werden konnte. Da die Korrelationen zwischen dem deklarativen Wissen über Problemschemata und den anderen konstruktnahen Testinstrumenten erwartungskonform sind, wird von einer ausreichenden Konstruktvalidität ausgegangen.

Reliabilität Zur Beurteilung der Reliabilität des Testinstruments wurde Cronbachs Alpha für die Gesamtskala berechnet (vgl. Tab. 9.6). Ein Item musste aufgrund einer fehlerhaften Implementierung bereits im Vorfeld gestrichen werden. Es zeigt sich, dass insbesondere zum Messzeitpunkt zu Semesterbeginn keine zufriedenstellenden Gütekriterien berichtet werden können (vgl. Tab. 9.6). Mit einem Wert unter $\alpha = .600$ ist das Cronbachs Alpha hier als niedrig einzustufen (vgl. Blanz, 2021) (vgl. Tab. 9.2). Zudem weist nur eines der verwendeten Items an dieser Stelle eine ausreichende Trennschärfe auf. Das Cronbachs Alpha zum zweiten Messzeitpunkt konnte hingegen deutlich verbessert werden, sodass es mit einem Wert von über $\alpha = .700$ als akzeptabel bewertet werden kann (ebd.).

Tabelle 9.6. Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für DWPS vor der Überarbeitung

Messzeitpunkt	Cronbachs Alpha	Items mit Trennschärfe unter .300
Prä	.528	22
Post	.749	11

Auch wenn die vorliegenden Werte grundsätzlich eine Optimierung des Testinstruments nahelegen, ist anzunehmen, dass für die zu untersuchende Variable die Ergebnisse des Post-Messzeitpunktes an dieser Stelle aussagekräftiger sind. Da das hier abgefragte Wissen einen sehr spezifischen Charakter hat, ist davon auszugehen, dass die Studierenden zu Beginn des Semesters nur über ein sehr geringes Vorwissen verfügen. Aufgrund des Single-Choice-Formats ist es daher denkbar, dass zu diesem Zeitpunkt viele Antworten geraten wurden, was vor allem die geringe Trennschärfe der Items, aber auch die interne Konsistenz erklären könnte. Da jedoch auch zum Post-Messzeitpunkt mehrere Items mit zu geringer Trennschärfe verbleiben, werden zunächst weitere Items ausgeschlossen. Dabei konnte keine Itemkonstellation erreicht werden, bei der alle Items die angestrebte Trennschärfe von über .300 (vgl. Field, 2009) erreichen. Als alternative Grenze wurde daher ein Wert von .200 gewählt. Items unterhalb dieser Grenze wurden ausgeschlossen, sodass 17 Items verblieben (s. Tab. 9.7).

Tabelle 9.7. Verbleibende Items DWPS

Itemname	Inhaltsbereich	Itemkategorie	Trennschärfe
Kin.A.1	Kinematik	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.356
Kin.A.2	Kinematik	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.402
Kin.A.3	Kinematik	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.425
Kin.L.2	Kinematik	Lösungsansatz	.490
Kin.L.3	Kinematik	Lösungsansatz	.520
Kin.H.1	Kinematik	Heuristik	.329
Krä.A.1	Kräfte	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.258
Krä.A.2	Kräfte	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.365
Krä.A.3	Kräfte	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.044
Krä.L.1	Kräfte	Lösungsansatz	.228
Krä.L.2	Kräfte	Lösungsansatz	.059
Krä.H.1	Kräfte	Heuristik	.195
E.A.1	Energie	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.631
E.A.2	Energie	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.589
I.A.1	Impuls	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.265
E.L.1	Energie	Lösungsansatz	-.208
E.L.2	Energie	Lösungsansatz	.355
E.H.2	Energie	Heuristik	.260
Kin.H.3	Kinematik	Heuristik	.323
I.H.2	Impuls	Heuristik	.360
I.A.3	Impuls	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.274
Krä.L.4	Kräfte	Lösungsansatz	.157
Krä.A.4	Kräfte	charakteristische Merkmale des Problemtyps	.123

Die Betrachtung der einzelnen Items zeigt, dass auch nach der Überarbeitung des Tests 5 von 17 Items unter der empfohlenen Trennschärfe von .300 liegen. Darüber hinaus fällt auf, dass die ausgeschlossenen Items überwiegend den Inhaltsbereich Kräfte betreffen, sodass bei einer zukünftigen Überarbeitung weitere Items für diesen Bereich ergänzt werden sollten. Da die meisten Problemtypen, die im Rahmen der Intervention erarbeitet werden, dem Bereich Kinematik zuzuordnen sind, ist eine ausreichende Anzahl von Items in diesem Bereich von besonderer Bedeutung. Diese ist hier gewährleistet. Für die verschiedenen Itemkonstellationen aus Inhaltsbereich und Itemkategorie fehlt in der Hauptstudie ein Item zur Heuristik für den Inhaltsbereich Kräfte und ein Item zum Lösungsansatz für den Inhaltsbereich Impuls. Die geringen Trennschärfen werden hier auf die limitierten Pilotierungsmöglichkeiten zurückgeführt. Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt weiterhin geringen Studierendenzahlen wurde die Möglichkeit einer erneuten Pilotierung verworfen, da die Einschränkungen durch die kleine Stichprobe bestehen geblieben wären. Zudem hätte eine Wiederholung erst im Folgejahr stattfinden können, sodass die Studie nicht mehr innerhalb der Projektlaufzeit hätte abgeschlossen werden können. Aufgrund der teilweise geringen Trennschärfen wird die Wahrscheinlichkeit eines β -Fehlers, bei dem ein vorhandener Effekt nicht erkannt wird, als erhöht eingeschätzt. Eine Bewertung für die Erkenntnisse der Studie erfolgt in der Diskussion (vgl. Abschnitt 12.2). Mit den verbleibenden Items ergeben sich schließlich verbesserte Werte für ein finales Cronbachs Alpha (s. Tab. 9.8). Die erreichte Reliabilität wird anhand des Cronbachs Alpha für den Post-Messzeitpunkt als akzeptabel bewertet (vgl. Blanz, 2021).

Tabelle 9.8. Cronbachs Alpha für DWPS nach der Überarbeitung

Messzeitpunkt	Cronbachs Alpha
Prä	.554
Post	.790

Objektivität Die Objektivität der Auswertung wird als gewährleistet angesehen, da durch die digitale Implementierung des Single-Choice-Formats in Moodle eine automatische Bewertung der Antworten möglich war. Nach Hinterlegung der richtigen Antwortmöglichkeiten mussten keine individuellen Einzelentscheidungen mehr getroffen werden, sodass der Prozess personenunabhängig verlief.

9.4.2. Sortieraufgaben

Um neben dem deklarativen Wissen über Problemschemata auch die erfolgreiche Anwendung dieser Schemata zu überprüfen, wurden als weiteres Testinstrument Sortieraufgaben

eingesetzt, die bereits von Friege und Lind (2006) als Hauptprädiktor der Problemlösefähigkeit bewertet wurden. Für diese Studie wurde das Instrument von Binder, Schmiemann und Theyßen (2019) adaptiert und eingesetzt. Auch wenn die Zielgruppe hier von Fachphysikern und Physiklehrämtern zu Maschinenbaustudierenden variierte, wurden die meisten Aufgaben als geeignet eingeschätzt, da es sich bei der Stichprobe wie in der Originalstudie um Studienanfänger:innen handelte, die sich mit vergleichbaren Fachinhalten beschäftigten. Die eingesetzten Aufgaben können anhand der vier verschiedenen Problemschemata *Kinematik*, *Kräfteansatz*, *Energieerhaltung* und *Impulserhaltung* gelöst werden. Bei der Bearbeitung der Aufgaben werden die Studierenden explizit darauf hingewiesen, dass keine Lösung der Aufgaben erfolgen soll und weder Rechnungen noch Formeln verlangt werden, sondern Problemansätze als Begriffe wie „Energieerhaltung“ formuliert werden sollen. Im Vergleich zu beispielsweise Binder, Schmiemann und Theyßen (2019) oder Chi et al. (1981) wird hier auf eine tatsächliche Sortierung durch die Teilnehmenden verzichtet. Stattdessen wird ausschließlich die Auswahl bzw. Erarbeitung eines geeigneten Lösungsansatzes bewertet, die als offene Antwort formuliert wird. Ziel dieser Adaption ist es, dass keine Voreingenommenheit bei der Wahl des Problemschemas entsteht, da bereits durch die Zuordnung der Aufgaben Ähnlichkeiten und Unterschiede stärker in den Fokus rücken. Das ursprüngliche Vorgehen eignet sich daher gut, um die Unterscheidung zwischen Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen zu untersuchen. An dieser Stelle soll der Fokus noch stärker auf die Erarbeitung bzw. Auswahl eines Problemschemas auf der Grundlage der konzeptuellen Merkmale einer Aufgabe gelegt werden, sodass der Aspekt des Sortierens ausgelassen wurde.

Pilotierung der Sortieraufgaben

Die Sortieraufgaben wurden im Sommersemester 2021 pilotiert. Dabei wurden zum einen ungeeignete Items ausgetauscht und zum anderen die praktischen Bedingungen der Datenerhebung und eine sinnvolle Bearbeitungszeit getestet. Für zwei ursprüngliche Items aus der Elektrodynamik wurden neue Items aus der Mechanik konstruiert, da die Inhalte in der vorliegenden Untersuchung nicht thematisiert wurden. Dazu wurden vier Items neu konstruiert und erprobt, die die fehlenden Items zum Kräfteansatz bzw. zur Energieerhaltung ersetzten. Eines der Items erwies sich im Rahmen der Pilotierung als ungeeignet, sodass die verbleibenden drei Items für die Hauptstudie übernommen wurden. Aufgrund der geringen Stichprobengröße der Pilotierung wurde das zusätzliche Item beibehalten, um auch nach der Erhebung den Ausschluss eines möglicherweise ungeeigneten Items zu erlauben. Das final eingesetzte Instrument besteht somit aus 13 Physikaufgaben aus den vier thematisierten Inhaltsbereichen.

Für die Betrachtung der Objektivität wurde eine Erweiterung des ursprünglichen Kodier-

manuals von Binder, Schmiemann und Theyßen (2019) vorgenommen, die das nun offene Antwortformat berücksichtigt. Dazu wurden entsprechend viele Kodierregeln eingeführt, die neben der fachlichen Richtigkeit vor allem die Einhaltung des vorgegebenen Antwortformats sicherstellen. Davon abzugrenzen waren reine Berechnungen oder Benennungen physikalischer Größen. Eine Überprüfung der Interraterreliabilität des verwendeten Kodiermanuals wurde nach weiterer Überarbeitung im Rahmen der Hauptstudie berechnet (vgl. Tab. 9.10 im nächsten Abschnitt).

Güte des Testinstruments

Aufgrund der Ergebnisse der Pilotierung wurden die Sortieraufgaben in der Hauptstudie unverändert eingesetzt. An dieser Stelle wird die Güte des Testinstruments anhand der Daten der Hauptstudie diskutiert.

Validität Eine ausführliche Validierung des Testinstruments findet sich im Original bei Binder, Schmiemann und Theyßen (2019). Dabei konnte eine hohe Korrelation der Sortieraufgaben mit dem Fachwissen in Physik (Binder, Schmiemann & Theyßen, 2019) ($r = .592$, Grenzwert $> .247$), der allgemeinen Problemlösefähigkeit (OECD, 2005) ($r = .397$, Grenzwert $> .0074$) und dem mathematischen Wissen (Müller et al., 2018) ($r = .511$, Grenzwert $> .435$) im Sinne einer konvergenten Validität festgestellt werden. Demgegenüber konnte eine diskriminante Validität anhand von vier Subskalen der Lern-Leistungsmotivation (Spinath, Stiensmeier-Pelster, Schöne & Dickhäuser, 2002) im Studium nachgewiesen werden, die jeweils Nullkorrelationen aufwiesen.

Für diese Studie ist eine mittlere bis hohe Korrelation mit dem Problemlösetest und dem Test zum deklarativen Wissen über Problemschemata zu erwarten, da alle Instrumente Teile der Problemlösekompetenz abbilden. Außerdem ist eine mittlere bis hohe Korrelation mit dem Fachwissenstest zu erwarten, da domänenspezifisches Wissen einen Prädiktor für Problemlösekompetenz darstellt (vgl. Brandenburger, 2017). Diese Zusammenhänge konnten erwartungsgemäß bestätigt werden (s. Tab. 9.5). Für den Test zum deklarativen Wissen über Problemschemata zeigt sich die höchste Korrelation mit $r = .713$ und $p < .001$. Für das Fachwissen ist ebenfalls eine hohe Korrelation mit $r = .670$ und $p < .001$ festzustellen. Für den Problemlösetest ergibt sich eine mittlere Korrelation mit $r = .471$ und $p < .001$. Die Konstruktvalidität des Testinstruments kann daher auch für die vorliegende Studie bestätigt werden.

Reliabilität Da die Reliabilität des Testinstruments durch die Originalstudie als ausreichend abgesichert gilt, werden an dieser Stelle nur auffällige Items diskutiert und ausgeschlossen. Die verbleibenden Berechnungen finden sich im Anhang.

Aufgrund vieler fehlender Antworten konnte die Skalenreliabilität nicht direkt bestimmt werden. Um die Daten der vorliegenden Studie dennoch zu evaluieren, wurden die fehlenden Werte durch eine Nullkodierung ersetzt, um eine Berechnung von Cronbachs Alpha zu ermöglichen. Das Fehlen einer Antwort bzw. Angaben wie „Weiß ich nicht“ werden hier also wie eine falsche Antwort gewertet. Da es sich um ein offenes Antwortformat handelt, wird für die Betrachtung der Trennschärfe und der Skalenreliabilität davon ausgegangen, dass diese Interpretation nicht zu einer starken Verzerrung der Daten führt. Es zeigt sich, dass zwei der Items sowohl zum Prä- als auch zum Post-Messzeitpunkt eine geringe Trennschärfe aufweisen, sodass diese ausgeschlossen werden (s. Tab. 9.9).

Tabelle 9.9. Trennschärfen der ausgeschlossenen Items für Sortieraufgaben

Itemname	Messzeitpunkt	Inhaltsbereich	Trennschärfe
Geschwindigkeit nach Ladungserhöhung (Impuls.2)	Prä	Impuls	.067
Geschwindigkeit nach Ladungserhöhung (Impuls.2)	Post	Impuls	.008
Schussauswirkung (Energie.2)	Prä	Energie	.154
Geschwindigkeit nach Ladungserhöhung (Energie.2)	Post	Energie	.020

Nach Ausschluss der Items ergeben sich zu beiden Messzeitpunkten akzeptable Werte für Cronbachs Alpha ($\alpha_{\text{prä}} = .731$, $\alpha_{\text{post}} = .718$).

Objektivität Die Objektivität des Tests wurde durch weitere Ergänzungen des Kodiermanuals sichergestellt. Die Übereinstimmung kann nach Landis und Koch (1977) mit Werten über .81 als nahezu perfekt bezeichnet werden (vgl. Tab. 9.1).

Tabelle 9.10. Interraterreliabilität für Sortieraufgaben

Messzeitpunkt	Fleiss Kappa	Signifikanz p
Prä	.871	< .001***
Post	.877	< .001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

9.4.3. Problemlösetest

Als Teil der Überprüfung der zweiten Forschungsfrage wird der Problemlösetest von Brandenburger (2017) eingesetzt. Das Instrument ist dabei so aufgebaut, dass vier

unabhängige Teile auf den einzelnen Phasen des Problemlöseprozesses nach Friege (2001) aufbauen. Dies erlaubt neben einer Gesamtauswertung des Problemlöseerfolgs zusätzliche Einsicht in den Erfolg der einzelnen Phasen des Prozesses. So werden die Problemrepräsentation, die Erarbeitung eines Lösungsansatzes, die Ausführung der Lösung und das Nachvollziehen einer vorgegebenen Lösung separat getestet. Um diese Entkopplung zu erreichen, wurden hier vier physikalische Probleme aus dem Bereich der Mechanik entwickelt, welche den jeweiligen Lösungsweg bis zur getesteten Phase bereits vorgeben (vgl. Brandenburger, 2017). Für die Bearbeitung zur Ausführung der Lösung eines Problems werden demnach die Phasen der Problemrepräsentation und der Erarbeitung des Lösungsansatzes beispielhaft vorgegeben, sodass die eigenständige Bewältigung dieser Phasen entlastet werden kann (vgl. ebd.). Entsprechend können sowohl die Ergebnisse der einzelnen Skalen als auch des gesamten Testinstruments betrachtet werden. Aufgrund der vier zugrunde gelegten Probleme und ihrer jeweiligen Variation für die einzelnen Skalen wurden vier verschiedene Testheftversionen von Brandenburger (2017) erstellt, von denen in dieser Studie nur zwei eingesetzt wurden, die auf Prä- und Post-Messzeitpunkt verteilt wurden. Diese Variation soll einem Testwiederholungseffekt entgegenwirken (vgl. „interne Validität“ Abschnitt 9.3.2).

Pilotierung des Problemlösetests

Es wurde eine Pilotierung des Testinstruments im Sommersemester 2021 durchgeführt. Dabei konnten praktische Gegebenheiten der Datenerhebung sowie die benötigte Testzeit überprüft werden. Die beiden ausgewählten Testhefte wurden zu beiden Zeitpunkten auf die Studierenden verteilt, um eine ungleiche Pilotierung zu vermeiden. Das Kodiermanual von Brandenburger (2021) wurde anhand der Pilotierungsdaten weiter ergänzt, um eine ausreichende Trennschärfe für die vorliegenden Daten zu erreichen. Eine Überprüfung der Interraterreliabilität des verwendeten Kodiermanuals wurde nach einer weiteren Überarbeitung im Rahmen der Hauptstudie berechnet (vgl. Tab. 9.12 im nächsten Abschnitt).

Güte des Testinstruments

Anhand der durchgeführten Pilotierung wurde keine Überarbeitung des Testinstruments vorgenommen, sodass die Items unverändert in der Hauptstudie eingesetzt wurden. Die unterschiedlichen Testhefte wurden wie geplant auf den Prä- und Post-Messzeitpunkt aufgeteilt. An dieser Stelle wird die Güte des Testinstruments anhand der Daten der Hauptstudie diskutiert.

Validität Hinsichtlich der Konstruktvalidität wurden - wie auch bei den anderen Instrumenten zum Problemlösen - mittlere bis hohe Korrelationen zwischen den einzelnen Instrumenten erwartet. Diese Korrelationen konnten erwartungsgemäß festgestellt werden (s. Tab. 9.5). So besteht eine hohe Korrelation zwischen dem Testinstrument zum deklarativen Wissen über Problemschemata ($r = .570$, $p < .001$) und dem Fachwissens-test ($r = .621$, $p < .001$). Für die Sortieraufgaben liegt eine mittlere Korrelation vor ($r = .471$, $p < .001$). Die hohe Korrelation mit der Mathematiknote ($r = .589$, $p < .001$) ist aufgrund der mathematischen Ausrichtung sowohl der Lösungsausarbeitung als auch der Lösungsevaluation ebenfalls nachvollziehbar.

Als weitere Maßnahme zur Gewährleistung der internen Validität wurden für den Problemlösetest zu beiden Messzeitpunkten zwei unterschiedliche Testhefte eingesetzt. Es wurden jeweils dieselben vier Aufgaben bearbeitet, wobei die jeweilige Problemlösephase unterschiedlich zugeordnet war. So wurde z. B. die Aufgabe, die zum ersten Messzeitpunkt zur Ausarbeitung einer Lösung verwendet wurde, zum zweiten Messzeitpunkt zur Erarbeitung eines Problemschemas eingesetzt. Die Testhefte wurden in ihrer Zusammensetzung aus der Originalstudie von Brandenburger (2017) übernommen und zur Vermeidung möglicher Testwiederholungseffekte eingesetzt.

Reliabilität Da es sich im vorliegenden Fall um ein bereits erprobtes Testinstrument handelt (Brandenburger, 2017), das als ausreichend evaluiert angesehen wird, werden an dieser Stelle nur besonders auffällige Werte diskutiert. Die übrigen Berechnungen finden sich im Anhang.

Für die Skala des *Problemansatzes* zeigen die Ergebnisse zu beiden Messzeitpunkten keine zufriedenstellenden Werte für Cronbachs Alpha (vgl. Tab. 14.5). Für beide Messzeitpunkte erreicht zudem keins der eingesetzten Items eine ausreichende Trennschärfe. Ein negatives Cronbachs Alpha für den Post-Messzeitpunkt sowie die unzureichenden Trennschärfen begründen an dieser Stelle den Ausschluss der Subskala für die weitere Auswertung.

Tabelle 9.11. Cronbachs Alpha für Subskala Problemansatz

Messzeitpunkt	gültige Fälle	Cronbachs Alpha
Prä	48	.295
Post	37	-.046

Die Reliabilität des Gesamttests konnte aufgrund zu vieler fehlender Werte nicht direkt bestimmt werden. Stattdessen wurde wie bereits für die Sortieraufgaben eine Berechnung von Cronbachs Alpha durchgeführt, bei der die fehlenden Werte durch eine Null-Kodierung

ersetzt wurden, um den Ausschluss von Fällen zu verhindern. Bei dieser Auswertung ergaben sich auch für die Gesamtskala Werte im akzeptablen bis hohen Bereich ($\alpha_{\text{prä}} = .815$, $\alpha_{\text{post}} = .779$).

Um den Einfluss der Null-Kodierung bei der Berechnung von Cronbachs Alpha für die Gesamtskala kritisch zu betrachten, wurden die Berechnungen für die Subskalen mit dem gleichen Verfahren wiederholt. Die Ergebnisse sind ebenfalls dem Anhang beigelegt. Der Vergleich konnte zeigen, dass mit Ausnahme der Erarbeitung des Problemansatzes alle Werte für Cronbachs Alpha in einer ähnlichen Größenordnung liegen. Für die Erarbeitung des Problemansatzes wurde zwar ein besserer Wert erzielt, der aber immer noch deutlich unter einer akzeptablen Grenze liegt. Es wird daher davon ausgegangen, dass eine Übertragbarkeit der Größenordnung des berechneten Cronbachs Alpha auch für die Gesamtskala möglich ist und somit insgesamt von einer akzeptablen Reliabilität ausgegangen werden kann. Die Werte der Subskalen können regulär bewertet werden und liegen im Mittel im akzeptablen Bereich.

Objektivität Im Sinne der Objektivität wurde das Kodiermanual anhand der Daten der Hauptstudie ergänzt. Die Interraterreliabilität wurde für beide Messpunkte sowohl für den Gesamttest als auch für die Teilmenge der Aufgaben berechnet, die eine Entscheidung durch eine:n Beurteiler:in verlangten. Bei letzterer Berechnung wurden die Multiple-Choice-Aufgaben entsprechend ausgeschlossen. Die Interraterreliabilität unter Ausschluss dieser Items zeigt eine substanzielle Übereinstimmung, während die Interraterreliabilität für alle Items eine fast perfekte Übereinstimmung zeigt (vgl. Tab. 9.12). Es kann daher von einer guten Objektivität des Manuals ausgegangen werden.

Tabelle 9.12. Interraterreliabilität für Problemlösetest

Messzeitpunkt	Fleiss Kappa mit Single-Choice- Items	Fleiss Kappa ohne Single-Choice- Items	Signifikanz p
Prä	.910	.772	< .001***
Post	.863	.737	< .001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

9.4.4. Einstellungen zu Interventionsmaßnahmen

Als weiteres Testinstrument wurde ein Fragebogen zu den Einstellungen der Studierenden erstellt, die sich auf die Elemente der Intervention beziehen. In anderen Untersuchungen konnte bereits gezeigt werden, dass es unterschiedliche Profile von Physiklernenden gibt

(vgl. Brandenburger, 2017), wobei sich die Beliebtheit verschiedener Tätigkeiten des Physiklernens unterscheidet. Gemeinsam mit den Beobachtungen der Voruntersuchungen, in denen die Studierenden einen stärkeren Fokus auf Berechnungen statt Begründungen forderten, ergab sich die Frage nach der Akzeptanz der Interventionsmaßnahmen und inwiefern diese ggf. den Erfolg der Intervention beeinflusst (vgl. Forschungsfrage 3 in Abschnitt 6). Es wurden daher Items zu drei Skalen formuliert:

- Einstellungen zum konzeptuellen Verständnis
- Einstellungen zu Worked Examples
- Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren

Die Skala zum konzeptuellen Verständnis beinhaltet Items, die die Relevanz von Rechnungen und Begründungen bewerten, um eine mögliche übergeordnete Einstellung der Studierenden zu diesem Aspekt zu erfassen. Diese Skala ist so gepolt, dass eine positive Bewertung der Relevanz von Begründungen einem höheren Wert entspricht und so mit den anderen Skalen abgestimmt ist. Die beiden anderen Skalen erfassen Einstellungen dazu, wie hilfreich die Aspekte der jeweiligen Maßnahme des Lernsettings eingeschätzt werden. Die Items zur Methode der Worked Examples und zu den strategischen Lösungsverfahren wurden so formuliert, dass sie für die Studierenden auch vor dem Semester verständlich sind, da sie zu diesem Zeitpunkt noch keinen Kontakt mit den Verfahren hatten. Alle Items sind mit einer 5-stufigen Likert-Skala formuliert (1=trifft nicht zu; 2=trifft eher nicht zu; 3=teils/teils; 4=trifft eher zu; 5=trifft zu).

Pilotierung des Einstellungen-Fragebogens

Die erste Version des Fragebogens wurde im Rahmen einer Pilotierung mit 21 Items getestet. Zwei Items erwiesen sich im Nachhinein als inhaltlich unscharf, sechs weitere Items wurden aufgrund unzureichender Trennschärfe gestrichen. Die Betrachtung der Reliabilität zeigt, dass für den Gesamttest eine höhere interne Konsistenz erreicht werden konnte als für die drei intendierten Subskalen (vgl. Tab. 9.13). Nach Entfernung der Items weist das Cronbachs Alpha der Gesamtskala für den Post-Messzeitpunkt einen guten Wert auf, sodass das Instrument als ausreichend reliabel angesehen wird. Aufgrund der vergleichsweise kleinen Stichprobe (Prä: $N = 49$; Post: $N = 17$) wurden einzelne Items mit knapp unzureichender Trennschärfe beibehalten bzw. umformuliert. Ein weiteres Item wurde neu konstruiert, sodass 14 Items verbleiben.

Tabelle 9.13. Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für Skalen zu Einstellungen der Studierenden nach Ausschluss unzureichender Items (Pilotierung)

Messzeitpunkt	Skala	Cronbachs Alpha	Gesamtzahl Items	davon unzureichende Trennschärfe
Prä	Gesamt	.544	13	6
Prä	Einstellungen zu konzeptuellem Verständnis	.433	6	5
Prä	Worked Exmaple	.701	3	-
Prä	strategische Lösungsverfahren	.631	4	-
Post	Gesamt	.804	13	1
Post	konzeptuelles Verständnis	.762	6	1
Post	Worked Exmaple	.854	3	-
Post	strategische Lösungsverfahren	.626	4	1

Güte des Testinstruments

An dieser Stelle wird die Güte des Tests anhand der Daten der Hauptstudie diskutiert.

Reliabilität Für die Hauptstudie wurde eine erneute Betrachtung der Reliabilität durchgeführt.

Die Ergebnisse für das Cronbachs Alpha des Gesamttests und der Subskalen zu Worked Examples und strategischen Lösungsverfahren fallen akzeptabel aus (vgl. Abschnitt 9.3.3). Das Cronbachs Alpha für die Items zum konzeptuellen Verständnis ist hingegen fragwürdig.

Aufgrund der Aufteilung in Interventions- und Kontrollgruppe ist davon auszugehen, dass die Studierenden nach dem Semester ein unterschiedliches Verständnis davon haben, was unter strategischen Lösungsverfahren zu verstehen ist, sodass eine Aufteilung in Subskalen vorzuziehen ist. Darüber hinaus ist für die Evaluation der Forschungshypothesen H.3.1 und H.3.2 ebenfalls eine getrennte Betrachtung der beiden Unterstützungsangebote notwendig. Da die Items zur Bedeutung des konzeptuellen Verständnisses hier zu keinem Zeitpunkt eine ausreichende Güte erreichen, wird die Skala im Weiteren nicht betrachtet. Für die beiden verbleibenden Subskalen verbleiben insgesamt sieben Items (vgl. Tab. 9.15), die alle eine ausreichende Trennschärfe aufweisen (vgl. Tab. 9.14). Die Reliabilität des Fragebogens wird daher insgesamt als akzeptabel bewertet.

Tabelle 9.14. Cronbachs Alpha für Akzeptanzfragebogen nach Ausschluss unzureichender Items (Hauptstudie)

Mess-zeitpunkt	Items	Cronbachs Alpha	Gesamtzahl Items	davon unzureichende Trennschärfe
Prä	alle Items	.549	11	5
Prä	konzeptuelles Verständnis	.481	4	3
Prä	Worked Examples	.602	3	-
Prä	strategische Lösungsverfahren	.762	4	-
Post	alle Items	.742	14	4
Post	konzeptuelles Verständnis	.630	4	-
Post	Worked Examples	.785	3	-
Post	strategische Lösungsverfahren	.734	4	-

Tabelle 9.15. Items zu Einstellungen der Studierenden

Itemname	Itemformulierung
Rechnen.1	Ich bearbeite in der Physik am liebsten klassische Rechenaufgaben. (-)
Rechnen.2	Ich halte die Begründungen des Lösungswegs einer Physikaufgabe für wichtiger als die mathematische Lösung selbst. (+)
Rechnen.3	Ich denke das Ergebnis einer Physikaufgabe ist am wichtigsten. (-)
Rechnen.4	Ich glaube das Wichtigste zum Lösen einer Physikaufgabe ist die Kenntnis der Formeln. (-)
Rechnen.5	Ob man Physik verstanden hat, sieht man daran, dass man Aufgaben rechnen kann. (-)
Rechnen.6	Ob man Physik verstanden hat, sieht man daran, dass man physikalische Konzepte erklären kann. (+)
WE.1	Eine Aufgabe mit einem Lösungsbeispiel und Erklärungen (Worked-Example) ist für die Bearbeitung weiterer Physikaufgaben hilfreich. (+)
WE.2	Anhand einer Aufgabe mit einem Lösungsbeispiel und Erklärungen (Worked-Example) kann ich mir selbst erklären, wie ich andere Aufgaben lösen muss. (+)
WE.3	Anhand der Auseinandersetzung mit einer Aufgabe mit einem Lösungsbeispiel und Erklärungen (Worked-Example) kann ich sehen, ob ich die Physikinhalte gut verstanden habe. (+)
Strategien.1	Ich empfinde eine Auseinandersetzung mit Lösungsstrategien zur Bearbeitung von Physikaufgaben als hilfreich. (+)
Strategien.2	Die Auseinandersetzung mit Lösungsstrategien hilft mir, wenn ich bei einer Physikaufgabe nicht weiter weiß. (+)
Strategien.3	Es ist hilfreich Ähnlichkeiten von Physikaufgaben zu erkennen, um sie zu lösen. (+)
Strategien.4	Das Erarbeiten von Problemtypen ist hilfreich um Lösungsansätze für Physikaufgaben zu finden. (+)
Strategien.5	Es ist hilfreich zu wissen, wie bestimmte Aufgabentypen in der Regel gelöst werden, um das Vorgehen auf andere Aufgaben zu übertragen. (+)

Objektivität Die Objektivität des Testinstruments wurde auch hier durch eine digitale Implementierung in Moodle gewährleistet, bei der die likert-skalierten Antworten automatisch ausgewertet wurden und kein zusätzlicher Einfluss durch Kodierer:innen zu berücksichtigen war.

9.4.5. Fachwissenstest

Da das Fachwissen als Prädiktor für die Problemlösekompetenz nachgewiesen werden konnte (vgl. Brandenburger, 2017), wird es in der vorliegenden Studie als Kontrollvariable erhoben. Ziel ist es, einen Störeinfluss durch eine Unterscheidung vor der Intervention auszuschließen.

Es werden Teile des Fachwissenstests von Woitkowski (2015) eingesetzt, die eine gute fachliche Passung für die vorliegende Studie aufweisen. Es wird das Testheft mit den Itemblöcken AJH zum Prä-Messzeitpunkt eingesetzt.

Güte des Testinstruments

Der Fachwissenstest wurde ebenfalls im Rahmen der Pilotierung eingesetzt und hinsichtlich seiner Eignung für die Stichprobe und einer angemessenen Bearbeitungszeit erprobt. Für die Auswertung des Tests wurde ein Kodiermanual erstellt, das im Rahmen der Hauptstudie weiterentwickelt wurde. Der Test wurde für die Hauptstudie unverändert übernommen.

Reliabilität Da es sich um ein bereits erprobtes Testinstrument handelt (vgl. Woitkowski, 2015), wird eine akzeptable Güte angenommen. Um die Übertragbarkeit zusätzlich abzusichern, wurden Berechnungen für die Reliabilität durchgeführt. Aufgrund zu vieler fehlender Daten zum Prä-Messzeitpunkt ist eine direkte Berechnung nicht möglich, sodass wiederum ein Ersatz der fehlenden Werte durch eine Null-Kodierung vorgenommen wird. Es zeigt sich zunächst eine fragwürdige Skalenreliabilität mit Cronbachs $\alpha = .616$. Darüber hinaus weisen mehrere Items eine geringe Trennschärfe auf. Da die Annahme der Übertragbarkeit durch den Ausschluss vieler Items gefährdet wäre und gleichzeitig eine ausreichende Trennschärfe gewährleistet werden soll, muss bei der Streichung von Items ein Kompromiss gefunden werden. Grundsätzlich wird hier der intensiven Evaluation in der Originalstudie und der Tatsache, dass die Items bereits aus verschiedenen Testinstrumenten entnommen wurden (vgl. Woitkowski, 2015), ein höheres Gewicht beigemessen, sodass nur besonders auffällige Items gestrichen werden. Es werden daher nur Items mit negativer Trennschärfe gestrichen, sodass 19 von 23 Items verbleiben (vgl. Anhang). Es ergibt sich eine akzeptable Skalenreliabilität von Cronbachs $\alpha = .716$.

Objektivität Die Berechnung der Interraterreliabilität wurde zum einen für den Gesamttest und zum anderen für den Anteil der Items, die eine aktive Entscheidung der Beurteilerin oder der Beurteiler erforderten, durchgeführt (vgl. Tab. 9.16). Für beide Berechnungen und Messzeitpunkte kann ein Fleiss Kappa berechnet werden, das als fast perfekt beurteilt werden kann (vgl. Abschnitt 9.1).

Tabelle 9.16. Interraterreliabilität für Fachwissenstest

Messzeitpunkt	Fleiss Kappa mit Single-Choice- Items	Fleiss Kappa ohne Single-Choice- Items	Signifikanz p
Prä	.939	.868	< .001***
Post	.918	.864	< .001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

9.4.6. Selbstkonzept

Das Selbstkonzept konnte als Prädiktor der Problemlösekompetenz identifiziert werden (vgl. Brandenburger, 2017), sodass diese Größe ebenfalls erhoben wird, um anfängliche Gruppenunterschiede auszuschließen und den Einfluss auf die abhängigen Variablen zu berücksichtigen. Dazu wird das Testinstrument von Brandenburger (2017) selbst verwendet. Dieses besteht aus sieben Skalen zum Selbstkonzept:

- Physik
- Mathematik
- Problemlösen allgemein
- Problemlösen - Repräsentation
- Problemlösen - Lösungsweg
- Problemlösen - Lösung
- Problemlösen - Nachvollziehen

Brandenburger (2017) gibt an, dass sowohl die domänenspezifischen Skalen zum Selbstkonzept in der Physik und Mathematik als auch zur allgemeinen Problemlösefähigkeit jeweils eindimensional sind. Die Items der einzelnen Phasen des Problemlösens laden auf vier Faktoren, die den jeweiligen Skalen entsprechen. Die Antworten werden auf einer vierstufigen Likert-Skala (von 1 = „trifft nicht zu“ bis 4 = „trifft zu“) gegeben.

Pilotierung

Im Rahmen der Pilotierung wurden einige der ursprünglichen Items angepasst. In den meisten Fällen handelte es sich dabei um sprachliche Vereinfachungen (z. B. „Fachbegriffe“

statt „Fachtermini“) oder um Anpassungen von Formulierungen, die für die Stichprobe der Ingenieurstudierenden nicht geeignet gewesen wären (z. B. „Physikinhalte des Studiums“ statt „Physikstudium“). Einige Items wurden aufgrund einer starken inhaltlichen Ähnlichkeit zu einem weiteren Item gestrichen, sofern die Kennwerte von Brandenburger (2017) an dieser Stelle keine Verschlechterung der Skalen nahe legten, um testökonomisch zu sein. Einzelne Items wurden auch aufgrund zu geringer Trennschärfe gestrichen.

Tabelle 9.17. Ausgeschlossene Items für Skalen des Selbstkonzepts

Skala	Anzahl gestrichene Items	Anzahl neue/ersetzte Items
Physik	1	-
Mathematik	-	-
Problemlösen allgemein	1	-
Problemlösen Repräsentation	4	1
Problemlösen Lösungsweg	3	2
Problemlösen Lösung	4	-
Problemlösen Nachvollziehen	2	2

Güte des Testinstruments

Da das Testinstrument in der Studie von Brandenburger (2017) auf einer größeren Datenbasis ausführlich evaluiert wurde, wird eine akzeptable Güte des Testinstruments angenommen. Die zusätzlich berechneten Skalenreliabilitäten und Trennschärfen für die einzelnen Subskalen sind im Anhang beigefügt. Da keine besonders auffälligen Ergebnisse vorliegen, wird das Testinstrument wie angegeben bewertet. Eine Übersicht über die final eingesetzten Items findet sich ebenfalls im Anhang.

Objektivität Der Fragebogen wurde ebenfalls in Moodle hinterlegt, so dass die einzelnen Antworten mit unterschiedlicher Gewichtung bewertet wurden. Die Umkodierung der umgepolten Items wurde bereits berücksichtigt. Für die Auswertung wurde lediglich eine Umkodierung auf ganzzahlige Werte zwischen eins und vier vorgenommen, die in Moodle nicht realisiert werden konnte und durch eine automatische Ersetzung möglich war. Da an dieser Stelle keine personenbezogenen Entscheidungen mehr getroffen werden mussten, wird das Verfahren als objektiv angesehen.

9.4.7. Personenbezogene Daten

Für eine deskriptive Beschreibung der Stichprobe wurden vor der Intervention ebenfalls personenbezogene Daten erfasst. Neben persönlichen Daten wie Geschlecht und

Alter wurden weitere Informationen zu den schulischen Vorerfahrungen in Physik und Mathematik erfragt (vgl. Tab. 11.1).

Tabelle 9.18. Personenbezogene Fragen

Frage	Antwortoptionen
Geschlecht	weiblich, männlich, divers, keine Angabe
Alter	freie Eingabe
Fachsemester	freie Eingabe
Studienzugangs- voraussetzungen	Abitur, Fachabitur, Berufsausbildung, anderes (Fach-)Hochschulstudium, Sonstiges, keine Angabe
Letzte Physiknote	freie Eingabe
Letzte Teilnahme am Schulunterricht in Physik	maximal bis zur 10.Klasse, Grundkurs, 3. oder 4. Prüfungsfach im Abitur, Leistungskurs, keine Angabe
Letzte Mathematiknote	freie Eingabe
Letzte Teilnahme am Schulunterricht in Mathematik	maximal bis zur 10.Klasse, Grundkurs, 3. oder 4. Prüfungsfach im Abitur, Leistungskurs, keine Angabe
Studiengang	Maschinenbau (Bachelor of Science), Maschinenbau-monoedukativ (Bachelor of Science), Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau (Bachelors of Science)

9.5. Datenqualität

In diesem Abschnitt wird die Datenqualität anhand der Ausführungen zur Datenerhebung und Datenbereinigung näher beschrieben.

9.5.1. Datenerhebung

Neben der Durchführung der Intervention ist auch die Durchführung der Datenerhebung hinsichtlich möglicher Störeinflüsse zu kontrollieren. Die Datenerhebung fand vor allem zum Prä-Messzeitpunkt unter gut kontrollierten Bedingungen statt. In diesem Fall wurden die Fragebögen anteilig in Anwesenheit bearbeitet. Die Studierenden erhielten alle eine festgelegte Instruktion zu den verschiedenen Testinstrumenten und hatten eine Stunde Zeit, um den Großteil der Fragebögen an der Hochschule zu bearbeiten. So konnten anfängliche Fragen geklärt und der Umgang mit den Fragebögen kontrolliert werden. Die Implementierung der Instruktionen und Aufgaben über einen Moodleraum, der bereits im vorangegangenen Semester erprobt wurde, erwies sich als selbsterklärend. Aufgrund der digitalen Umsetzung konnten die verbleibenden Aufgaben zu Hause bearbeitet werden.

Den Studierenden wurde eine Frist gesetzt, die eine Bearbeitung vor den ersten inhaltlichen Veranstaltungen des betreffenden Moduls sicherstellte. Der Post-Messzeitpunkt wurde von den Studierenden ebenfalls in einem festgelegten Zeitrahmen innerhalb der letzten Vorlesungswoche bearbeitet. In diesem Fall wurden alle Fragebögen individuell zu Hause bearbeitet. Die Bearbeitung über Moodle hatte den Vorteil, dass Fehlerquellen, die bei einem klassischen Papierformat auftreten können, wie z. B. unleserliche Antworten oder das Übersehen von Testteilen, eliminiert werden konnten. Darüber hinaus konnte der Erhebungsprozess sowohl für die Studierenden als auch für die Lehrenden effizienter gestaltet werden. Da jedoch nicht alle Fragebögen in Präsenz bearbeitet wurden, fehlt an dieser Stelle eine durchgehende Kontrolle der Erhebungsbedingungen. Um eine ausreichende Datenqualität zu gewährleisten, wurden die Abgaben zu beiden Messzeitpunkten einer Sichtkontrolle durch studentische Hilfskräfte unterzogen. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass keine offensichtlichen Bearbeitungsfehler (z. B. Ankreuzmuster oder Abgabe leerer Dateien) auftraten. Insbesondere die systematische Datenbereinigung führt jedoch dazu, dass kein wesentlicher Einfluss durch die Erhebungsbedingungen angenommen werden muss.

9.5.2. Datenbereinigung

Um die Datenqualität und die daraus abgeleiteten Ergebnisse und Interpretationen abzusichern, werden die Rohdaten zunächst im Rahmen einer Datenbereinigung aufbereitet (vgl. Abschnitt 9.3.4). Insbesondere die geringe Stichprobengröße erfordert hier eine sorgfältige Aufbereitung der Daten, da sich Ausreißer entsprechend stärker in den Ergebnissen niederschlagen und diese verzerren würden. Umgekehrt ist aber auch eine selbstverschuldete Verzerrung der Daten zu vermeiden, sodass nur deutlich auffallende Datensätze ausgeschlossen werden sollten und keine grundsätzliche Ausschlusstendenz entwickelt werden darf, die möglicherweise zu einer Positivselektion führen könnte. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Bearbeitung der Testinstrumente hier als obligatorische Voraussetzung für eine Prüfungsteilnahme am Ende des Semesters festgelegt wurde, sodass ggf. in Einzelfällen die Abgabe des Tests einer sachgerechten Bearbeitung vorgezogen wurde.

In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei Bearbeitungsschritte zur Datenbereinigung vorgenommen (s. Tab. 9.19 und Tab. 9.20). Im ersten Fall wurden Bearbeitungen betrachtet, die eine so geringe Testzeit aufweisen, dass nicht davon ausgegangen werden kann, dass der Test vollständig gelesen und somit nicht ernsthaft bearbeitet wurde. Es wird daher eine Lesedauer berechnet, die auf einer durchschnittlichen Lesegeschwindigkeit von 200 Wörtern pro Minute basiert (vgl. Jekel, 2013). Um einer Ausschlusstendenz entgegenzuwirken, werden zusätzlich Annahmen getroffen, die zu einer weiteren Verkürzung

der Lesedauer führen könnten, ohne dass auf eine unsachgemäße Bearbeitung geschlossen werden muss. Dazu werden systematische Wiederholungen, z. B. durch immer gleiche Antwortformate, berücksichtigt, indem eine reduzierte Wortzahl ohne diese Wiederholungen ermittelt wird. Um auch eine überdurchschnittliche Lesegeschwindigkeit zu berücksichtigen, wird zusätzlich eine Abweichung von 15% der berechneten Zeit zugelassen. Da neben der reinen Lesezeit in der Regel auch von einer darüber hinausgehenden Bearbeitungszeit auszugehen ist, die hier jedoch nicht zusätzlich berücksichtigt wird, ist bereits eine deutliche Abweichung von einer durchschnittlich zu erwartenden Bearbeitungszeit möglich. Mit den getroffenen Annahmen wurden daher nur wenige Bearbeitungen ausgeschlossen, die jedoch deutlich von den Vorgaben abwichen. Die zusätzliche Abweichung von 15% wurde so festgelegt, dass alle ausgeschlossenen Bearbeitungen deutlich über dem genannten Wert lagen und keine Grenzfälle betrachtet werden mussten.

Im zweiten Fall wurden Bearbeitungen betrachtet, bei denen besonders viele Items nicht bearbeitet wurden. Da bei den fachbezogenen Testinstrumenten (DWPS, Fachwissenstest, Sortieraufgaben, Problemlösetest) Fälle denkbar sind, in denen kein Vorwissen vorliegt, wird auf dieser Grundlage nur der Post-Messzeitpunkt betrachtet. Da im Gegensatz zur Lesezeit vorab kein Wert bekannt ist, der als Durchschnitt der bearbeiteten Items angenommen werden kann, wird hier von einer frei gewählten Abweichungsgrenze abgesehen. Stattdessen sollen Ausreißer über die Verteilung der fehlenden Antworten innerhalb der Stichprobe bestimmt werden. Zu diesem Zweck wurde die durchschnittliche Anzahl der bearbeiteten Items ermittelt und die doppelte Standardabweichung als Schrittweite gewählt, um Bearbeitungen zu identifizieren, die eine so geringe Anzahl an Antworten aufweisen, dass von einer fehlerhaften Bearbeitung auszugehen ist. Items, die zwar ausgefüllt, aber aufgrund mangelnden Wissens nicht inhaltlich bearbeitet wurden (z. B. „Weiß ich nicht“ „Keine Ahnung“ etc.), wurden in diesem Sinne nicht als fehlende Items gezählt.

Tabelle 9.19. Wortzahl und geschätzte Minimale Lesedauer pro Testinstrument

Testinstrument	Wortzahl/ reduzierte Wortzahl	geschätzte minimale Lesedauer
Allgemeine Daten	798/422	2,11 Minuten
DWPS	1058	5,29 Minuten
Sortieraufgaben	962	4,81 Minuten
Problemlösetest	852	4,26 Minuten
Fachwissenstest	1123	5,62 Minuten
Selbstkonzept	973/429	2,15 Minuten
Einstellungen zur Physik	458/224	1,12 Minuten

Tabelle 9.20. Datenbereinigung anhand Bearbeitungszeit und Missing Items

Testinstrument	gelöschte Items (formale Gründe/ Bearbeitungszeit/ zu viele Missing Items)		verbleibende Bearbeitungen	
	Prä MZP	Post MZP	Prä MZP	Post MZP
Allgemeine Daten	8(8/-/-)	-	108	-
DWPS	4 (3/1/-)	2(1/1/-)	108	69
Sortieraufgaben	3(2/1/-)	9(1/1/7)	107	62
Problemlösetest	2(2/-/-)	6(1/-/5)	109	65
Fachwissenstest	1(1/-/-)	5(1/-/4)	107	66
Selbstkonzept	5(5/-/-)	2(1/1/-)	108	69
Einstellungen zur Physik	26 (25/1/-)	7(7/-/-)	108	70

Teil III.

Evaluation

10. Statistische Grundlagen

In diesem Teil der Arbeit werden die Ergebnisse der Studie dargestellt und diskutiert. Einleitend werden die Grundlagen der verwendeten statistischen Testverfahren und deren Anwendung in der vorliegenden Arbeit beschrieben. Zur Unterstützung der Gliederung werden dabei nur die tatsächlich verwendeten Testverfahren beschrieben. Ausführliche Erläuterungen finden sich z. B. bei Field (2009) sowie Döring und Bortz (2016). Alle nachfolgenden Berechnungen wurden mit dem Statistikprogramm IBM SPSS (Version 29) durchgeführt.

10.1. Hypothesentests

Zur Überprüfung der vorgestellten Forschungshypothesen, müssen diese statistisch getestet werden. Dazu werden die in der empirischen Sozialforschung etablierten Nullhypothesen-Signifikanztests verwendet (Döring & Bortz, 2016). Die Nullhypothese entspricht dabei genau dem Gegenteil der Forschungshypothese. Stimmen die Daten mit der Nullhypothese überein, ist das Testergebnis nicht signifikant und die Forschungshypothese kann nicht bestätigt werden (ebd.). Ist dies nicht der Fall, wird das Ergebnis unter der Annahme einer Irrtumswahrscheinlichkeit p signifikant (ebd.). Das Signifikanzniveau α wird in der Regel auf 5% festgelegt und gibt die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers erster Art an, bei dem ein Effekt berichtet wird, der nicht existiert (ebd.). Wird die Nullhypothese verworfen, kann die Forschungshypothese als vorläufig bestätigt angesehen werden (ebd.). Für die Bedeutsamkeit des Ergebnisses ist darüber hinaus die Effektgröße zu bestimmen. Für ein nicht signifikantes Testergebnis ist zusätzlich die Teststärke $T = 1 - \beta$ zu bestimmen, die die Wahrscheinlichkeit angibt, unter den gegebenen Messbedingungen einen relevanten Unterschied zu identifizieren. Die Teststärke gibt die Gegenwahrscheinlichkeit eines Fehlers zweiter Art an, bei dem mit einer Wahrscheinlichkeit β kein Unterschied berichtet wird, obwohl ein Unterschied vorliegt. Die Teststärke sollte einen Wert von 80% überschreiten, damit das Ergebnis belastbar ist (ebd.).

Die Art des Signifikanztests und das Maß der Effektgröße hängen von der Forschungshypothese ab. Im vorliegenden Fall stehen Unterschiedshypothesen zwischen Interventions- und Kontrollgruppe im Mittelpunkt der Untersuchung, um zu prüfen, ob Effekte auf

das eingesetzte Strategietraining zurückgeführt werden können. Die Anzahl der zu berücksichtigenden Variablen, das Skalenniveau der Daten, die Stichprobengröße und die Verteilungseigenschaften der Daten sind ebenfalls ausschlaggebend für das zu wählende Testverfahren. Im Folgenden werden daher relevante Testverfahren mit ihren jeweiligen Voraussetzungen vorgestellt. Dazu erfolgt eine Unterteilung in parametrische und nicht-parametrische Verfahren.

10.2. Parametrische Tests

Statistische Testverfahren lassen sich in parametrische und nicht-parametrische Tests einteilen. Parametrische Testverfahren verfügen teilweise über eine höhere Teststärke, stellen jedoch auch mehr Anforderungen an die verwendeten Daten. Die vier grundlegenden Voraussetzungen sind (Field, 2009):

- Normalverteilung der Daten
- Varianzhomogenität
- Intervallskalierung
- Unabhängigkeit der Daten

Zur Überprüfung der Normalverteilung bieten sich der Kolmogorov-Smirnov und der Shapiro-Wilk-Test als übliche Verfahren an. Es wird an dieser Stelle der Shapiro-Wilk-Test verwendet, da er eine höhere Teststärke hat und somit Unterschiede zur Normalverteilung besser identifiziert (vgl. Field, 2009). Danach erweist sich eine Verteilung als nicht-normalverteilt, wenn der Wert für die Signifikanz unter $p = .05$ liegt, sodass die Nullhypothese der Normalverteilung abgelehnt werden muss. Die zweite Voraussetzung der Varianzhomogenität beschreibt, dass die Varianz für verschiedene Ausprägungen einer Variable unverändert bleibt und kann über Levene's Test untersucht werden. Die Voraussetzung der Intervallskalierung kann direkt anhand der Daten bestimmt werden. Diese liegt vor, sofern gleiche Abstände der Daten auch gleiche Abstände der untersuchten Variable abbilden (z. B. im Gegensatz zu ordinal skalierten Daten). Die Unabhängigkeit der Daten kann sich je nach Testverfahren auf die Unabhängigkeit der Daten zwischen einzelnen Probanden oder auf die Unabhängigkeit der Residuen beziehen.

10.2.1. t-Tests

Als t-Test werden verschiedene parametrische Verfahren bezeichnet, die auf dem Vergleich von Mittelwerten basieren. An dieser Stelle werden lediglich t-Tests betrachtet, die zwischen zwei Gruppen unterscheiden. Diese können dabei entweder abhängig voneinander sein (z. B. für der Vergleich zweier Messzeitpunkte) oder unabhängig (z. B. zum Vergleich zweier Gruppen zum gleichen Zeitpunkt) (vgl. Field, 2009).

Die Berechnung des t -Wertes für abhängige Stichproben vergleicht die mittlere Differenz zwischen den Stichproben \bar{D} mit dem Erwartungswert des Populationsmittels μ_D (ebd.). Dieses wird ins Verhältnis gesetzt zu dem Standardfehler s_D und der Wurzel der Stichprobengröße N (s. Gleichung 10.1).

$$t = \frac{\bar{D} - \mu_D}{\frac{s_D}{\sqrt{N}}} \quad (10.1)$$

Für zwei unabhängige Stichproben wird der t -Wert anhand der Mittelwerte \bar{x}_1 und \bar{x}_2 und der Standardvarianz s berechnet. Diese Berechnung ist jedoch nur für Gruppen gleicher Größe zulässig. Für unterschiedliche Gruppengrößen wird die gepoolte Standardabweichung s_p verwendet (s. Gleichung 10.3) (vgl. Field, 2009). In dieser Variante, werden die unterschiedlichen Stichprobengrößen n_1 und n_2 für eine Gewichtung mit einbezogen (s. Gleichung 10.2).

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}} \quad (10.2)$$

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (10.3)$$

Als Ergebnis des t -Tests werden sowohl, der t -Wert selbst, als auch die Freiheitsgrade df und der Signifikanz-Wert p berichtet (z. B. $t(df) = t_1, p < .05$). Um die Aussagekraft des Effekts zu bemessen, muss außerdem ein Effektstärkenmaß bestimmt werden (s. nächster Abschnitt).

Da in der vorliegenden Studie die zuvor beschriebenen Voraussetzungen parametrischer Tests für keine weiteren Verfahren erfüllt wurden, werden nun die im Weiteren verwendeten nicht-parametrischen Verfahren vorgestellt.

10.2.2. Effektstärkenmaß Cohens d

Als Effektstärkenmaß für den t -Test (und den nachfolgenden Welch-Test, s. Abschnitt 10.3.3) wird hier Cohens d verwendet. Die grundlegende Berechnung richtet sich dabei nach dem Verhältnis der Differenz der Mittelwerte \bar{x}_1 und \bar{x}_2 und der Standardabweichung s (s. Gleichung 10.4) (vgl. Field, 2013).

$$d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s} \quad (10.4)$$

Im Fall unterschiedlich großer Stichprobengrößen kann, wie bereits beim t -Test, statt der Standardabweichung s die gepoolte Standardabweichung s_p verwendet werden, die eine entsprechende Gewichtung vornimmt (vgl. Field, 2013). Für den unabhängigen t -Test, kann die Effektstärke somit direkt über den t -Wert und die Stichprobengrößen n_1 und n_2 bestimmt werden (s. Gleichung 10.5).

$$d = t \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \quad (10.5)$$

Für die Beurteilung der Effektstärken wird hier der Einteilung von Field (2013, S.80 nach Cohen (1988,1999)) gefolgt, die drei Effektstufen unterscheidet:

- $d > .2$, Kleiner Effekt
- $d > .5$, Mittlerer Effekt
- $d > .8$, Großer Effekt

Der Wertebereich von Cohens d ist im Gegensatz zu anderen Effektstärkenmaßen wie Persons r (s. Abschnitt 10.3.2) nicht auf Werte zwischen -1 und 1 begrenzt.

10.3. Nicht-Parametrische Tests

Neben den parametrischen Tests, die vergleichsweise voraussetzungsreich sind, können auch nicht-parametrische Tests verwendet werden, die weniger Anforderungen an die zugrunde gelegten Daten stellen (Field, 2009).

10.3.1. Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test

Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (nicht zu verwechseln mit dem Wilcoxon-Rangsummentest) eignet sich wie der abhängige t -Test zum Vergleich zweier verbundener Stichproben (vgl. Field, 2009). Für diesen Vergleich werden zunächst die Differenzen der jeweiligen Wertepaare bestimmt, anschließend sortiert und mit einem Rang versehen. Dabei wird das Vorzeichen des Ranges berücksichtigt, indem auch der Rang ein entsprechendes Vorzeichen erhält. Es werden jeweils alle positiven und alle negativen Ränge getrennt aufsummiert. Die kleinere der beiden Summen bildet die Teststatistik T . Um zu bestimmen, ob dieser Unterschied signifikant ist, wird der Mittelwert der Teststatistik \bar{T} und der Standardfehler $SE_{\bar{T}}$ gebildet. Auch hier wird die Gleichung für Stichproben verschiedener Größen n_1 und n_2 berücksichtigt (s. Gleichung 10.6 und 10.7). Die standardisierte Teststatistik z berechnet sich schließlich aus der Differenz der Teststatistik T und deren Mittelwert \bar{T} bezogen auf den Standardfehler $SE_{\bar{T}}$ (s. Gleichung 10.8).

$$\bar{T} = \frac{n(n+1)}{4} \quad (10.6)$$

$$SE_{\bar{T}} = \sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}} \quad (10.7)$$

$$z = \frac{T - \bar{T}}{SE_{\bar{T}}} \quad (10.8)$$

Da bei verbundenen Verfahren gleiche Stichprobengrößen vorliegen, kann für eine anschließende Berechnung Pearsons Korrelationskoeffizient als Effektstärkenmaß verwendet werden (s. nächster Abschnitt).

10.3.2. Effektstärkenmaß Pearsons Korrelationskoeffizient r

Zur Interpretation der Effektstärke des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests wird Pearsons Korrelationskoeffizient r angegeben (Field, 2009). Dieser wird berechnet über das Verhältnis der standardisierten Teststatistik z und der Wurzel der Stichprobengröße N (s. Gleichung 10.9).

$$r = \frac{z}{\sqrt{N}} \quad (10.9)$$

Im Gegensatz zu Cohens d , nimmt r lediglich Werte zwischen -1 und 1 an. Die Effektstärkenmaße können daher nicht direkt verglichen werden. Als Bewertung der Effektgröße gibt Field (2009, S.57 nach Cohen (1988)) drei Grenzen für r an:

$r = .1$, Kleiner Effekt, der etwa 1% der Gesamtvarianz erklärt

$r = .3$, Mittlerer Effekt, der etwa 9% der Gesamtvarianz erklärt

$r = .5$, Großer Effekt, der etwa 25% der Gesamtvarianz erklärt

10.3.3. Welch-Test

Der Welch-Test stellt eine Alternative zum t-Test für unabhängige Stichproben dar. Er verzichtet dabei auf die Anforderung der Varianzhomogenität der Daten und kann ebenfalls bei nicht-normalverteilten Daten eingesetzt werden (vgl. Delacre, Lakens & Leys, 2017). An einigen Stellen wird als nicht-parametrisches Pendant stattdessen der Mann-Whitney-Test vorgestellt (vgl. Field, 2009). Im Rahmen dieser Arbeit wird der Welch-Test vorgezogen, da er im Gegensatz zu anderen nicht-parametrischen Tests eine vergleichbare Teststärke wie sein parametrisches Pendant aufweist (vgl. Delacre et al., 2017). Da

der Welch-Test aufgrund seiner geringen Testvoraussetzungen die Vorteile eines nicht-parametrischen Tests mit sich bringt und in vielen Fällen eine vergleichbare oder sogar höhere Teststärke als der t -Test für unabhängige Stichproben aufweist, raten Delacre et al. (2017) zur grundsätzlichen Verwendung dieses Tests und einem Verzicht auf die Überprüfung weiterer Voraussetzungen. Die Berechnung erfolgt ähnlich wie bei dem klassischen t -Test über die Berechnung der Mittelwerte \bar{x}_1 und \bar{x}_2 und der Standardvarianz s . Auch für Welchs t -Test werden unterschiedliche Stichprobengrößen n_1 und n_2 berücksichtigt. Anstatt jedoch eine gepoolte Standardabweichung s_p zu verwenden, wird für jede Stichprobe eine erwartete Standardabweichung s_1 und s_2 berechnet. Für gleiche Gruppengrößen und gleiche Standardabweichungen ergibt sich somit der Grenzfall, dass Students t -Test und Welchs t -Test identisch sind.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (10.10)$$

Die Effektstärke wird ebenso wie beim unabhängigen t -Test über Cohens d angegeben.

11. Auswertung

In diesem Kapitel werden die Testergebnisse im Hinblick auf die eingangs formulierten Forschungsfragen ausgewertet. Vor jedem verwendeten Test werden die Daten mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Zur Übersicht sind die detaillierten Ergebnisse im Anhang der Arbeit beigefügt.

Aufgrund des Kontrollgruppendesigns wurde für die einzelnen Testinstrumente stets geprüft, ob bereits zu Beginn des Semesters Gruppenunterschiede vorlagen, die einen Vergleich der Gruppen verhindern würden. Für diese Unterscheidung wird jeweils die gesamte Stichprobe zum Prä-Messzeitpunkt betrachtet, um sicherzustellen, dass die vorliegende Einteilung beibehalten werden kann. Für diesen Gruppenvergleich wird der Welch-Test eingesetzt. Anschließend werden die Lernzuwächse der Interventions- und Kontrollgruppe mithilfe eines Prä-Post-Vergleichs evaluiert. Aufgrund der verschiedenen Gruppen sind teilweise nur einige der Daten normalverteilt und erlauben die Anwendung parametrischer Tests. In diesem Fall wird für den Prä-Post-Vergleich aus Gründen der Vergleichbarkeit zunächst der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet, der als nicht-parametrischer Test für alle Daten geeignet ist. Für die Daten, die sich für die Anwendung des verbundenen t -Tests eignen, wird dieser aufgrund seiner höheren Teststärke zusätzlich berechnet. Abschließend wird der zentrale Gruppenvergleich durchgeführt, der ausschlaggebend für die Rückführung eventueller Effekte auf die Intervention ist. Dafür werden die Differenzen zwischen Prä- und Post-Messzeitpunkt gebildet und ebenfalls anhand des Welch-Tests auf Gruppenunterschiede untersucht.

Nachfolgend werden ausschließlich die Ergebnisse der Interventions- und Kontrollgruppe vorgestellt. Im Rahmen der Gruppenvergleiche zum Prä-Messzeitpunkt wurden die antizipierten Unterschiede der Wiederholer:innen bestätigt (s. Anhang). Vor diesem Hintergrund sind die Daten nicht geeignet, um die aufgeworfenen Forschungsfragen zu beantworten und werden bei der Darstellung der weiteren Ergebnisse ausgeschlossen.

11.1. Deskriptive Ergebnisse

Zur näheren Beschreibung der untersuchten Stichprobe werden vorab die erhobenen personenbezogenen Daten vorgestellt (s. Tab. 11.1). Dabei werden ausschließlich die Daten der Studierenden präsentiert, die zu beiden Messzeitpunkte teilgenommen haben.

Die Daten werden sowohl insgesamt betrachtet als auch in Interventions- und Kontrollgruppe aufgeschlüsselt, um mögliche Unterschiede in den Gruppen festzustellen bzw. auszuschließen.

Sowohl Alter als auch Fachsemester zeigen dabei, dass es sich um Erstsemesterstudierende handelt. Für diesen Aspekt liegen keine nennenswerten Unterschiede in den Gruppen vor. Während in der Kontrollgruppe keine weiblichen Studentinnen teilgenommen haben, liegt der Anteil für die Interventionsgruppe bei 31.8%. Dieser Unterschied lässt sich teilweise auf die Gruppe des monoedukativen Studiengangs zurückführen ($N = 4$), die hier aufgrund der insgesamt kleinen Gruppengröße auffallen. Da es bisher keine Anhaltspunkte für eine Unterscheidung des Expertiserwerbs aufgrund von Genderaspekten gibt, wird dieser Unterschied als unbedeutend eingeschätzt. Insgesamt ist der Anteil weiblicher Studentinnen typisch gering für Maschinenbaustudierende.

Sowohl die letzte Physik- als auch Mathematiknote liegen im durchschnittlichen Bereich und weisen eine hohe Standardabweichung auf. Die Physiknote fällt in der Kontrollgruppe im Mittel geringfügig besser aus.

Tabelle 11.1. Personenbezogene Daten der vollständigen Datensätze zum Prä- und Post-Messzeitpunkt. Angegeben sind jeweils die Anzahl der gültigen Fälle N , Mittelwert und Standardabweichung ($M \pm SD$) bzw. prozentualer Anteil für die Gesamtstichprobe ($N = 55$), die Interventionsgruppe (IG mit $N = 22$) und die Kontrollgruppe (KG mit $N = 33$).

Gruppe	Alter	Fachsemester	Letzte Physiknote	Letzte Mathematiknote	Anteil weiblich
Gesamt	19.96 ± 1.96	$1.02 \pm .15$	$2.24 \pm .89$	$2.21 \pm .83$	12.7%
IG	20.05 ± 1.86	$1.06 \pm .24$	$2.43 \pm .68$	$2.23 \pm .69$	31.8%
KG	19.90 ± 2.06	$1.00 \pm .00$	2.10 ± 1.01	$2.20 \pm .93$	0.0%

Als weitere Merkmale werden die Studienzugangsvoraussetzungen (s. Tab. 11.2) sowie die schulischen Voraussetzungen der Studierenden in den Fächern Physik und Mathematik (s. Tab. 11.3) dargestellt. Der größte Teil der Studierenden (72.7%) hat sich über das Abitur für das Studium qualifiziert. In der Kontrollgruppe ist dieser Anteil noch höher (75.8%) als in der Interventionsgruppe (68.2%). Die übrigen Studierenden haben überwiegend das Fachabitur abgelegt (25.5%). Nur wenige Studierende haben die Hochschulzugangsberechtigung über eine andere Qualifikation erworben (1.8%).

Die Angaben zur schulischen Vorbildung zeigen, dass ein Großteil der Studierenden einen Leistungskurs in Mathematik besucht hat (47.3%). Dieser Anteil ist in der Kontrollgruppe (51.5%) noch höher als in der Interventionsgruppe (40.9%). In der Interventionsgruppe hat etwa ein weiteres Drittel (36.4%) Mathematik als drittes oder viertes Abiturfach belegt

und knapp ein Fünftel der Studierenden (18.2%) hat einen entsprechenden Grundkurs besucht. In der Kontrollgruppe ist das Verhältnis umgekehrt: 21.2% der Studierenden haben Mathematik als Abiturfach und 27.3% haben einen Grundkurs belegt. Am Mathematikvorkurs haben 81.8% (IG) bzw. 84.8% (KG) der Studierenden teilgenommen.

In Physik haben die meisten Studierenden der Kontrollgruppe (48.5%) einen Grundkurs besucht, während es in der Interventionsgruppe nur 27.3% sind. In der Interventionsgruppe hat der größte Teil der Studierenden das Fach nur bis zur 10. Klasse belegt (31.8%), während es in der Kontrollgruppe nur 18.2% sind. In beiden Gruppen hat etwa ein Fünftel einen Leistungskurs in Physik belegt (IG: 22,7%, KG: 21,2%). Die wenigsten Studierenden haben Physik als drittes oder viertes Abiturfach belegt (IG: 9.1%, KG: 6.1%). Am Physikvorkurs haben 45.5% (IG) bzw. 72.7% (KG) der Studierenden teilgenommen.

Tabelle 11.2. Übersicht der Studienzugangsvoraussetzungen der vollständigen Wertepaare. Angegeben ist der prozentuale Anteil für die Gesamtstichprobe ($N = 55$), die Interventionsgruppe (IG mit $N = 22$) und der Kontrollgruppe (KG mit $N = 33$).

Gruppe	Abitur	Fachabitur	Sonstiges
Gesamt	72.7%	25.5%	1.8%
IG	68.2%	31.8%	–
KG	75.8%	21.2%	3.0%

Tabelle 11.3. Übersicht des letzten Schulunterrichts in Physik (PH) und Mathematik (M) der vollständigen Wertepaare. Angegeben ist der prozentuale Anteil für die Gesamtstichprobe ($N = 55$), die Interventionsgruppe (IG mit $N = 22$) und der Kontrollgruppe (KG mit $N = 33$).

Gruppe	Fach	maximal bis zur 10.Klasse	Grundkurs	3. oder 4. Prüfungsfach im Abitur	Leistungskurs	keine Angabe
Gesamt	PH	23.6%	40.0%	7.3%	21.8%	7.3%
IG	PH	31.8%	27.3%	9.1%	22.7%	9.1%
KG	PH	18.2%	48.5%	6.1%	21.2%	6.1%
Gesamt	M	–	23.6%	27.3%	47.3%	1.8%
IG	M	–	18.2%	36.4%	40.9%	4.5%
KG	M	–	27.3%	21.2%	51.5%	–

Insgesamt zeigen sich nur geringfügige Unterschiede für die beiden Gruppen. In den Fällen, in denen Unterschiede auftreten, weist die Kontrollgruppe durchweg vorteilhaftere Voraussetzungen auf. So hat ein höherer Anteil Physik in der Oberstufe belegt, einen

Mathematikleistungskurs und den Mathematikvorkurs besucht und eine etwas bessere Abschlussnote in Mathematik. Der Einfluss dieser Unterschiede wird insgesamt als gering eingeschätzt. Da die Unterschiede, wenn überhaupt, zugunsten der Kontrollgruppe zu interpretieren sind, wird ein Störeinfluss, der zu einem höheren α -Fehler für die Auswertung führen könnte, ausgeschlossen.

11.2. Deklaratives Wissen über Problemschemata

Als Erstes wird das deklarative Wissen der Studierenden über Problemschemata untersucht. Die Ergebnisse werden anschließend zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage verwendet:

F.1: Inwiefern gelingt unter der Verwendung von Worked Examples durch ein zusätzliches Strategietraining die Entwicklung von Problemschemata?

11.2.1. Gruppenunterschiede für das deklarative Wissen über Problemschemata vor der Intervention

In einem ersten Schritt wird überprüft, ob zu Beginn des Semesters Unterschiede zwischen der Interventionsgruppe und der Kontrollgruppe vorliegen. Die Verteilung der Daten zum Prä-Messzeitpunkt zeigt für die Interventionsgruppe eine deutliche Normalverteilung (s. Abb. 11.1), die durch den Shapiro-Wilk-Test bestätigt wird. Die Daten der Kontrollgruppe erfüllen die Normalverteilung hingegen nicht. Da es sich um einen Single-Choice-Test mit vier Antwortoptionen handelt, liegt die Ratewahrscheinlichkeit der richtigen Antwort bei 25%. Diese wird zu Beginn des Semesters von beiden Gruppen nur geringfügig überschritten ($M_{IG} = .33$, $SD_{IG} = .13$; $M_{KG} = .30$, $SD_{KG} = .14$).

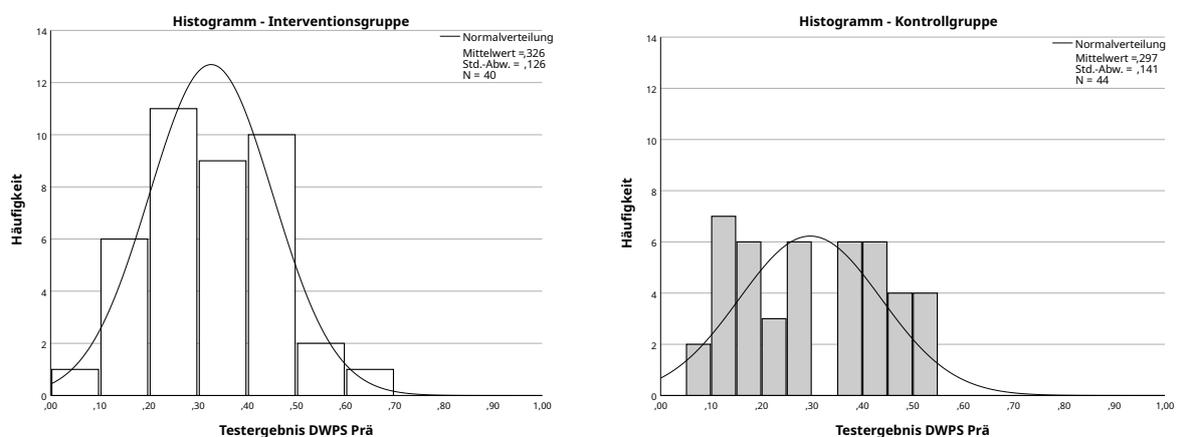


Abb. 11.1. Histogramme beider Gruppen für DWPS zum Prä-MZP

Der Welch-Test zeigt, dass zwischen den Ergebnissen der Interventions- und Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied festgestellt werden kann ($t(81.974) = 1.020$, $p = .311$ (zweiseitig)¹), sodass ein Vergleich der Gruppen im Hinblick auf den Lernzuwachs des deklarativen Wissens über Problemschemata möglich ist.

11.2.2. Prä-Post-Vergleich des deklarativen Wissens über Problemschemata

Im nächsten Schritt wird der Lernzuwachs im Hinblick auf das deklarative Wissen über Problemschemata untersucht. Der Vergleich der Boxplots für Prä- und Post-Messzeitpunkt zeigt, dass in beiden Gruppen ein Lernzuwachs beobachtet werden kann (vgl. Abb. 11.2). Insgesamt lässt sich erkennen, dass die Interventionsgruppe zum Post-Messzeitpunkt bessere Ergebnisse erzielt ($M_{IG} = .72$; $M_{KG} = .52$). Die Kontrollgruppe fällt neben einem geringeren Mittelwert zum Post-Messzeitpunkt außerdem mit einer größeren Standardabweichung auf ($SD_{IG} = .18$; $SD_{KG} = .23$).

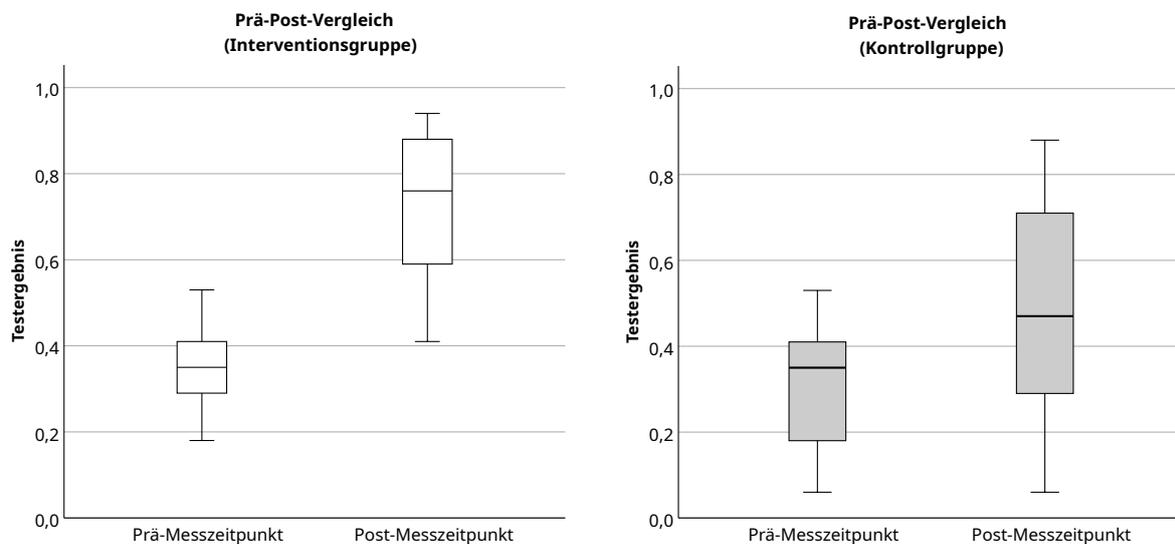


Abb. 11.2. Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für DWPS

Da sowohl die Differenzen für die Interventions- als auch die Kontrollgruppe normalverteilt sind, kann ein t-Test für verbundene Stichproben eingesetzt werden, um den Lernzuwachs zu beschreiben.

¹Hier wird die zweiseitige Signifikanz angegeben, da keine gerichtete Hypothese bezüglich eines Unterschieds vorliegt.

Tabelle 11.4. Prä-Post-Mittelwertvergleich für DWPS pro Gruppe

Gruppe	N	Gepaarter t-Test	Cohens d	p
Interventionsgruppe	22	$t(21) = 10.142$	2.162	$< .001^{***}$
Kontrollgruppe	33	$t(32) = 5.485$	.955	$< .001^{***}$

Anmerkung. $*p \leq .05$; $**p \leq .01$; $***p \leq .001$

Mit $N =$ Stichprobengröße, Cohens $d =$ Effektstärke, $p =$ Signifikanz

Die Ergebnisse des t-Tests bestätigen einen signifikanten Lernzuwachs für Interventions- und Kontrollgruppe (s. Tab. 11.4). Für beide Gruppen kann ein starker Effekt nachgewiesen werden. Der Lernzuwachs der Interventionsgruppe stellt mit einem Cohens $d = 2.162$ einen vergleichsweise sehr großen Effekt dar, der sich deutlich von dem der Kontrollgruppe mit $d = .955$ absetzt.

11.2.3. Gruppenvergleich des Lernzuwachses für deklaratives Wissen über Problemschemata

Damit eine Rückführung des beobachteten Lernerfolgs auf das eingesetzte Strategietraining zulässig ist, muss im nächsten Schritt die Unterscheidung der Gruppen näher betrachtet werden (s. Abb. 11.3). Dazu wurden für jede:n Studierenden die Differenzen der Testergebnisse zwischen Prä- und Post-Messzeitpunkt bestimmt, um den Lernzuwachs und nicht bloß die Performanz am Ende des Semesters zu vergleichen. Ein grafischer Vergleich zeigt, dass die Differenzen der Interventionsgruppe auch für den Minimalwert positiv ausfallen und im Mittel die höchsten Differenzen zeigen ($M_{IG} = .37$, $Min_{IG} = .06$). Im Mittel lernen die Studierenden der Kontrollgruppe ($M_{KG} = .20$) weniger als Studierende der Interventionsgruppe. In der Kontrollgruppe lässt sich außerdem eine höhere Streuung für den Lernzuwachs feststellen ($SD_{KG} = .21$, $SD_{IG} = .17$). Der höchste positive Lernzuwachs ist für beide Gruppen identisch ($Max_{IG} = .70$, $Max_{KG} = .70$). Für die Kontrollgruppe liegt ein Ausreißer² mit einem stark negativen ($Min_{KG} = -.41$) Lernzuwachs vor.

Die Daten des Welch-Tests bestätigen den signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen (s. Tab. 11.5). In diesem Fall kann die ermittelte Effektstärke mit Cohens $d = .875$ als großer Effekt bewertet werden.

²Ausreißer, die mehr als einen 1,5-fachen Interquartilsabstand vom dritten bzw. ersten Quartil entfernt sind, werden als Kreise dargestellt. Ausreißer, die mehr als einen 2,5-fachen Interquartilsabstand vom dritten bzw. ersten Quartil entfernt sind, werden als Sterne dargestellt.

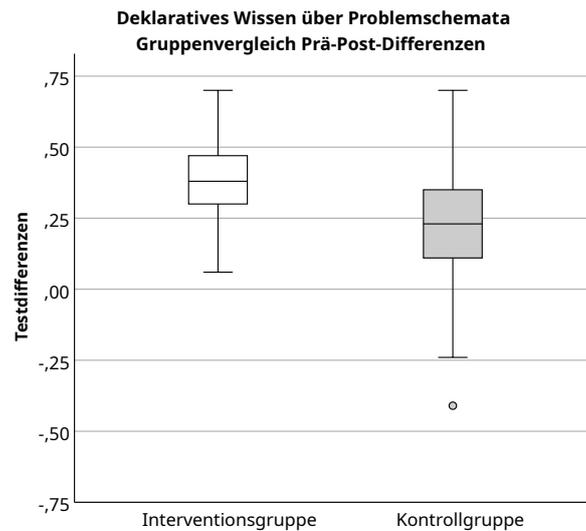


Abb. 11.3. Prä-Post-Vergleich der Differenzen für DWPS pro Gruppe

Tabelle 11.5. Gruppenvergleich der Differenzen für DWPS

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens d	einseitiges p
IG vs. KG	$t(50.658) = 3.308$	.875	< .001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens d = Effektstärke, p = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

11.2.4. Einfluss von Fachwissen und Selbstkonzept

Das Fachwissen und das Selbstkonzept gelten als Prädiktoren der Problemlösekompetenz (vgl. Brandenburger, 2017). Um einen störenden Einfluss der Ausgangsbedingungen auszuschließen, werden beide Gruppen zum Prä-Messzeitpunkt hinsichtlich dieser Variablen untersucht (s. Tab. 11.6 und Tab. 11.7). Da es sich hierbei um die Überprüfung der gemessenen Effekte auf Störeinflüsse handelt, werden nur vollständige Wertepaare betrachtet, die auch zur Berechnung der Gruppenunterschiede verwendet wurden. Da keine gerichtete Hypothese bezüglich eines Gruppenunterschieds vorliegt, wird die zweiseitige Signifikanz betrachtet.

Tabelle 11.6. Gruppenvergleich des Fachwissens für Wertepaare zum Prä-Messzeitpunkt

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens d	zweiseitiges p
IG vs. KG	$t(49.831) = -1.124$	-.298	.266

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens d = Effektstärke, p = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

Für das Selbstkonzept werden die einzelnen Subskalen des Instruments betrachtet und für beide Gruppen verglichen. Es wird ebenfalls ein Vergleich der Daten des Prä-Messzeitpunkts durchgeführt, die für die Berechnungen der Gruppenvergleiche verwendet wurden. Eine latente Gruppenanalyse, die in der Studie von Brandenburger (2017) durchgeführt wurde, kann aufgrund der Limitierung der Stichprobe nicht durchgeführt werden.

Tabelle 11.7. Gruppenvergleich des Selbstkonzepts für Wertepaare zum Prä-Messzeitpunkt

Gruppenvergleich	Skala	Welch-Test	Cohens d	zweiseitiges p
IG vs. KG	physk	$t(51.206) = -2.155$	-.559	.036*
IG vs. KG	matsk	$t(43.232) = .094$	.026	.926
IG vs. KG	aplsk	$t(52.149) = -1.556$	-.405	.126
IG vs. KG	replsk	$t(51.006) = -2.154$	-.568	.036*
IG vs. KG	lwplsk	$t(51.790) = -.450$	-.115	.655
IG vs. KG	löplsk	$t(48.238) = .826$	.223	.413
IG vs. KG	nvplsk	$t(49.351) = -1.068$	-.288	.291

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens d = Effektstärke, p = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

Für fünf der sieben Subskalen lässt sich kein signifikanter Unterschied beobachten (vgl. Tab. 11.7). Für das Selbstkonzept in der Physik und die Problemrepräsentation lässt sich jeweils ein Unterschied mit mittlerem Effekt beobachten ($d_{\text{physk}} = -.559$; $d_{\text{replsk}} = -.568$). Da für beide Skalen jeweils ein höherer Mittelwert für die Kontrollgruppe vorliegt (vgl. Tab. 11.8), ist dieser Unterschied als vorteilhaft für die Kontrollgruppe zu bewerten. Ein Einfluss auf den Gruppenvergleich bezüglich der abhängigen Variablen würde den beobachteten Effekt daher wenn unterschätzen, sodass der berichtete Effekt als belastbar eingeschätzt wird.

Tabelle 11.8. Deskriptive Daten für Subskalen des Selbstkonzepts mit Gruppenunterschieden

Gruppe	Messzeitpunkt	N	$M \pm SD$
Interventionsgruppe	physk	21	$2.36 \pm .50$
Kontrollgruppe	physk	33	$2.71 \pm .70$
Interventionsgruppe	replsk	22	$2.35 \pm .52$
Kontrollgruppe	replsk	33	$2.70 \pm .65$

11.3. Problemlöseerfolg

Neben dem deklarativen Wissen über Problemschemata wurde der Problemlöseprozess der Studierenden untersucht. Der Fokus lag dabei auf der zweiten Phase des Problemlöseprozesses, der Auswahl und Entwicklung eines Problemschemas. Diese wurde anhand von Sortieraufgaben evaluiert, deren Ergebnisse zunächst vorgestellt werden. Anschließend werden die Ergebnisse des Problemlösetests präsentiert, der auch die weiteren Phasen des Problemlöseprozesses umfasst. Unter Voraussetzung der Entwicklung von Problemschemata, welche durch das deklarative Wissen darüber nachgewiesen werden sollten (s. vorheriger Abschnitt), wurde angenommen, dass ebenfalls eine Verbesserung der Anwendung dieser Problemschemata erzielt werden kann. Die nachfolgenden Ergebnisse werden zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage vorgestellt:

F.2: Inwiefern gelingt unter der Verwendung von Worked Examples durch ein zusätzliches Strategietraining eine Verbesserung des Problemlöseerfolgs?

11.3.1. Gruppenunterschiede für Sortieraufgaben vor der Intervention

Die Betrachtung des Prä-Messzeitpunktes zeigt, dass beide Gruppen zu Beginn des Semesters kaum richtige Antworten in dem Test erreichen (vgl. Abb. 11.4). Nur wenige Studierende geben zu diesem Zeitpunkt Antworten, die dem Testformat überhaupt gerecht werden. Es werden kaum Begriffe oder Formulierungen angegeben, die tatsächlich der Bezeichnung eines Problemschemas entsprechen (z. B. „Energieansatz“ oder „Kräftegleichgewicht“). Stattdessen werden verschiedene andere Antwortformate gewählt, wie z. B. die tatsächliche Berechnung einer Lösung oder die Beschreibung eines Lösungsverfahrens. Neben Antworten, die nicht dem Testformat entsprechen, wurden viele Antworten gegeben, die fachlich falsch oder unspezifisch waren. Für beide Gruppen liegt der Mittelwert bei weniger als einer richtigen Antwort ($M_{IG} = .07$, $SD_{IG} = .14$; $M_{KG} = .08$, $SD_{KG} = .15$). Es liegt somit ein Bodeneffekt³ für beide Gruppen vor. Dies führt dazu, dass nicht von einer ausreichenden Trennschärfe für diese Daten ausgegangen werden kann. Die Daten sind für diesen Zeitpunkt nicht normalverteilt.

Der Welch-Test bestätigt, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe gibt ($t(80.633) = -.340$, $p = .735$ (zweiseitig)), sodass sie im nächsten Schritt miteinander verglichen werden können.

³Als Bodeneffekt werden Verteilungen bezeichnet, bei denen ausschließlich niedrige Skalenwerte erreicht werden, sodass eine geringe Varianz vorliegt (Döring & Bortz, 2016).

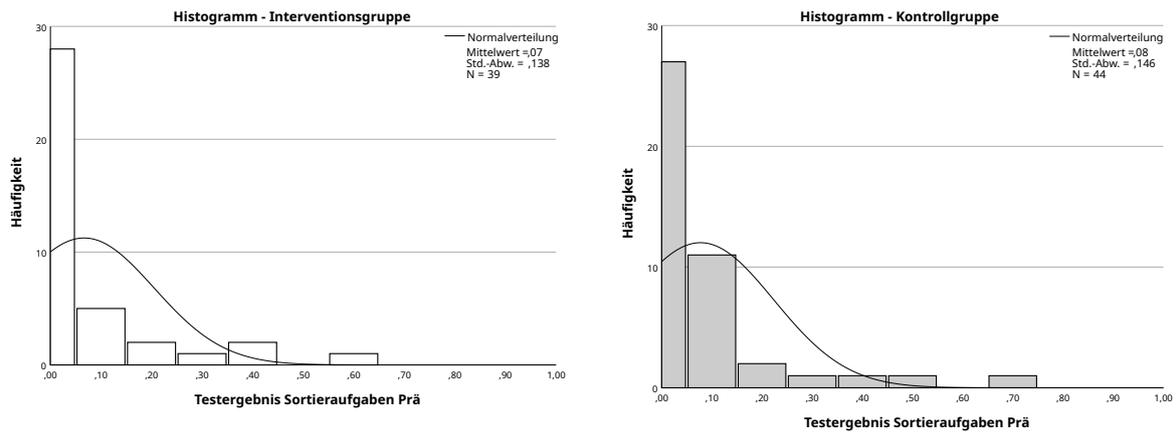


Abb. 11.4. Histogramme beider Gruppen für Sortieraufgaben zum Prä-MZP

11.3.2. Gruppenvergleich des Lernzuwachses für Sortieraufgaben

Um den Lernzuwachs der jeweiligen Gruppe zu betrachten, wurde bisher auf einen Prä-Post-Vergleich für verbundene Stichproben zurückgegriffen. Da jedoch im Falle der Sortieraufgaben sehr starke Bodeneffekte zu Beginn des Semesters auftreten, sind einerseits die Voraussetzungen für ein parametrisches Verfahren nicht gegeben und andererseits die Vergleichsmethoden der nicht-parametrischen Verfahren nicht aussagekräftig genug. Als nicht-parametrisches Verfahren käme hier der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test in Frage. Da bei diesem Verfahren die Ränge der einzelnen Scores verglichen werden und deren tatsächliche Ausprägung unberücksichtigt bleibt (vgl. Abschnitt 10.3.1), wäre ein Testergebnis in diesem Fall weniger aussagekräftig, da viele Probanden zum Prä-Messzeitpunkt den gleichen Rang haben. Die Ergebnisse der Daten zum Prä-Messzeitpunkt werden daher lediglich in der Form berücksichtigt, dass davon ausgegangen wird, dass beide Gruppen zu Beginn kaum Fähigkeiten in diesem Bereich haben, sodass ein Vergleich der Daten zum Post-Messzeitpunkt durchgeführt wird. Es lässt sich beobachten, dass die Antwortformate für den Post-Messzeitpunkt nun in großen Teilen dem Testformat entsprechen. Trotz identischer Instruktion des Tests, ist die Anforderung an das Antwortformat nach dem Semester offensichtlich deutlicher für die Studierenden. Für die Interventionsgruppe kann zu diesem Zeitpunkt eine Normalverteilung festgestellt werden, während die Kontrollgruppe erneut eine Häufung um den Nullpunkt aufweist (vgl. Abb. 11.5) und somit nicht normalverteilt ist.

Der Vergleich der Testergebnisse der Gruppen zum Post-Messzeitpunkt zeigt, dass die Studierenden der Interventionsgruppe besser abschneiden ($M_{IG} = .37$, $SD_{IG} = .20$) als die Studierenden der Kontrollgruppe ($M_{KG} = .26$, $SD_{KG} = .22$) (s. Abb. 11.6). Für die Interventionsgruppe gibt es einen Ausreißer nach oben ($MAX_{IG} = .90$). Der Welch-Test zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen auf (s. Tab. 11.9). Der beobachtete Effekt erreicht dabei eine mittlere Effektstärke mit einem Cohens $d = .511$.

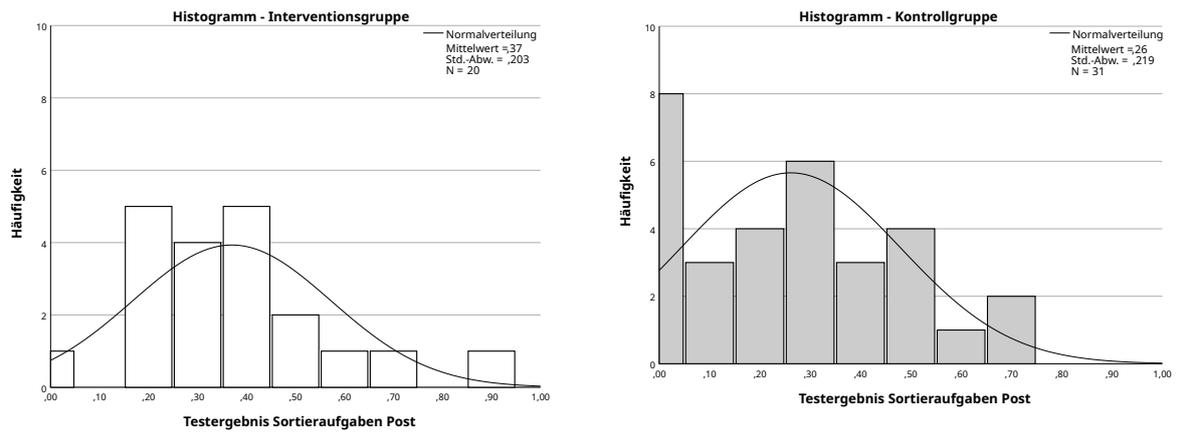


Abb. 11.5. Histogramme beider Gruppen für Sortieraufgaben zum Post-MZP

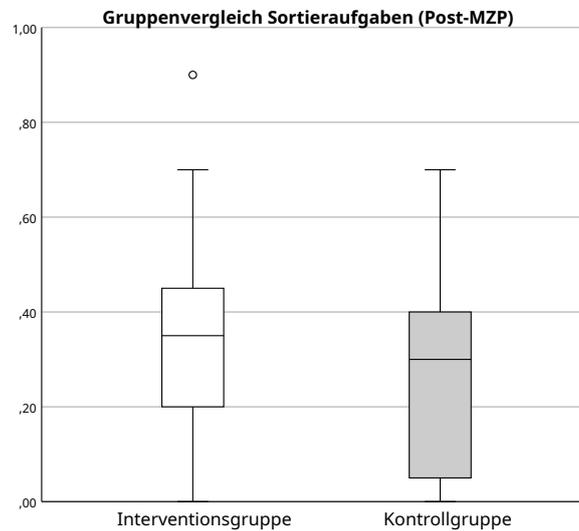


Abb. 11.6. Gruppenvergleich Sortieraufgaben zum Post-MZP

Tabelle 11.9. Gruppenvergleich Sortieraufgaben für Post-MZP

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	einseitiges <i>p</i>
IG vs. KG	$t(42.885) = 1.812$	.511	.038*

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens *d* = Effektstärke, *p* = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

11.3.3. Gruppenunterschiede für Problemlösetest vor der Intervention

Nach der Betrachtung der Sortieraufgaben zur Untersuchung der Auswahl bzw. Erarbeitung eines Problemschemas werden im nächsten Schritt die Ergebnisse des Problemlösetests von Brandenburger (2017) ausgewertet. Da bei der Betrachtung der Testgüte festgestellt wurde, dass im vorliegenden Fall die Skala zum Problemansatz keine ausreichende Reliabilität aufweist, werden die verbleibenden drei Subskalen als Gesamtergebnis des Problemlösetests behandelt. Darüber hinaus werden die Ergebnisse der Subskalen auch einzeln betrachtet. Für das Gesamtergebnis des Tests zeigen beide Gruppen eine Normalverteilung (s. Abb. 11.7), die durch den Shapiro-Wilk-Test bestätigt wird. Insgesamt werden von beiden Gruppen zu Beginn des Semesters geringe Leistungen erzielt ($M_{IG} = .22$, $SD_{IG} = .14$; $M_{KG} = .24$, $SD_{KG} = .14$).

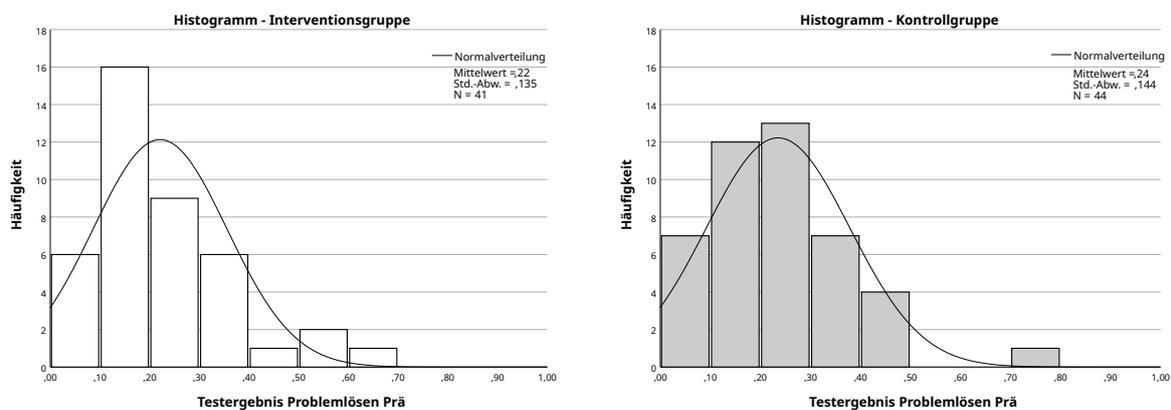


Abb. 11.7. Histogramme beider Gruppen für Problemlösetest zum Prä-MZP

Die Überprüfung der Gruppenunterschiede mithilfe des Welch-Tests ergibt kein signifikantes Ergebnis ($t(82.994) = -.479$, $p = .633$ (zweiseitig)). Es liegen somit keine initialen Gruppenunterschiede bezüglich des Problemlösens vor, sodass der Vergleich zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe zulässig ist.

11.3.4. Prä-Post-Vergleich für Problemlösetest

Der Lernzuwachs für das Gesamtergebnis des Problemlösetests fällt in beiden Gruppen positiv aus (s. Abb. 11.8). Der Mittelwert der Differenzen liegt für Interventions- und Kontrollgruppe in einer vergleichbaren Größenordnung ($M_{Diff,IG} = .32$, $SD_{Diff,IG} = .16$; $M_{Diff,KG} = .29$, $SD_{Diff,KG} = .19$).

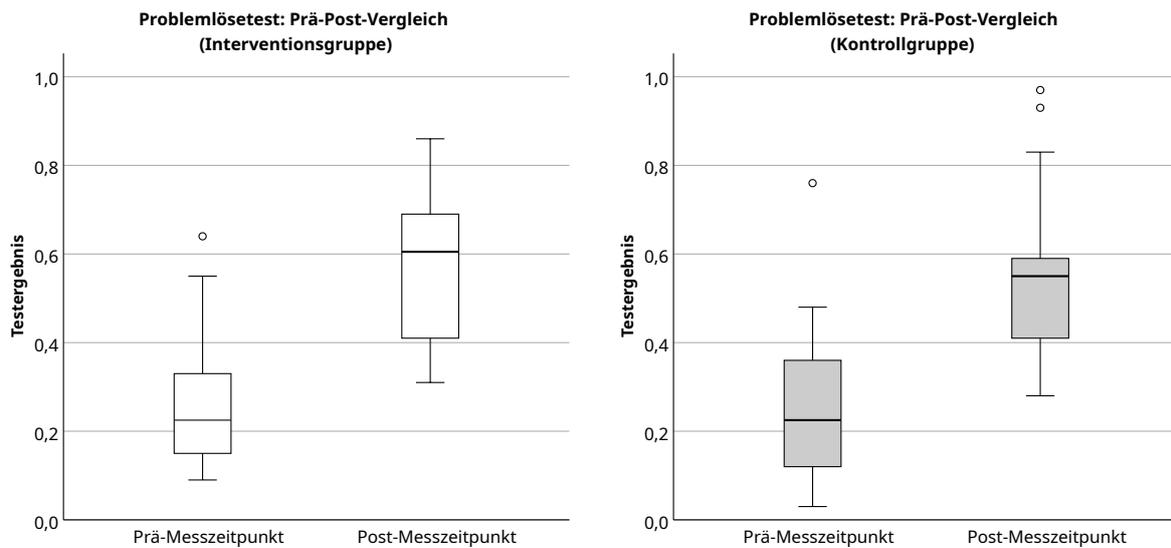


Abb. 11.8. Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Problemlösetest

Da beide Gruppen normalverteilte Differenzen aufweisen, wird ein gepaarter t-Test durchgeführt. Dieser zeigt jeweils einen signifikanten Lernzuwachs der Gruppen (s. Tab. 11.10). Für die Kontrollgruppe (Cohens $d = 1.535$) und Interventionsgruppe (Cohens $d = 2.023$) handelt es sich jeweils um einen starken Effekt. Der Lernzuwachs der Interventionsgruppe fällt erneut größer aus.

Tabelle 11.10. Prä-Post-Mittelwertvergleich für Problemlösetest pro Gruppe

Gruppe	N	Gepaarter t-Test	Cohens d	p
Interventionsgruppe	22	$t(21) = 9.488$	2.023	$< .001^{***}$
Kontrollgruppe	30	$t(29) = 8.407$	1.535	$< .001^{***}$

Anmerkung. $*p \leq .05$; $**p \leq .01$; $***p \leq .001$

Mit N = Stichprobengröße, Cohens d = Effektstärke, p = Signifikanz

11.3.5. Gruppenvergleich des Lernzuwachses für Problemlösetest

Der Vergleich der Prä-Post-Differenzen für den Problemlösetest (s. Abb. 11.9) zeigt, dass die Interventionsgruppe einen höheren Lernzuwachs erreicht ($M_{\text{Diff,IG}} = .32$, $SD_{\text{Diff,IG}} = .16$; $M_{\text{Diff,KG}} = .29$, $SD_{\text{Diff,KG}} = .19$). In der Kontrollgruppe liegt ein negativer Ausreißer vor ($Min_{\text{KG}} = -.24$).

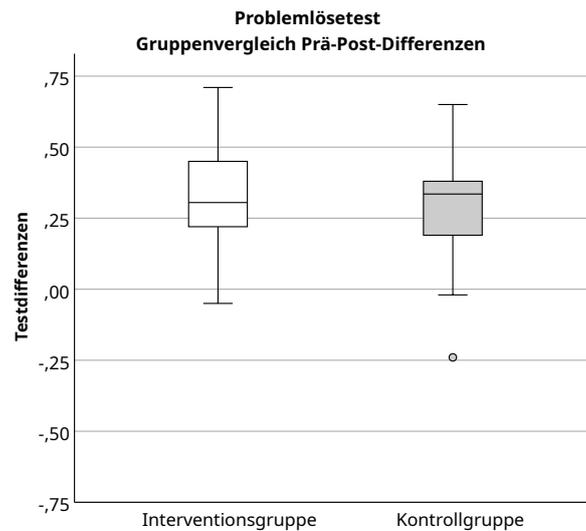


Abb. 11.9. Prä-Post-Vergleich der Differenzen für Problemlösen pro Gruppe

Der Vergleich von Interventions- und Kontrollgruppe zeigt für die Differenzen des Problemlösetests keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (s. Tab. 11.11).

Tabelle 11.11. Gruppenvergleich der Differenzen für Problemlösetest

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens d	einseitiges p
IG vs. KG	$t(49.024) = .633$	.178	.265

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens d = Effektstärke, p = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

Für eine Einschätzung der Belastbarkeit dieses Ergebnisses wird eine Analyse der Teststärke mittels der Software *GPower* durchgeführt. Die Teststärke gibt eine Aussage darüber, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Unterschied beobachtet wird, wenn dieser tatsächlich vorhanden ist (vgl. Döring & Bortz, 2016). Es handelt sich also um die Gegenwahrscheinlichkeit zum Fehler zweiter Art (vgl. Abschnitt 10.1). Als Mindestwert für die Teststärke wird ein Ergebnis von $T = 80\%$ empfohlen (ebd.). Für die post-hoc-Analyse wird der α -Fehler, der Freiheitsgrad df und der Nichtzentralitätsparameter δ vorgegeben, um die Teststärke zu berechnen. Für den Nichtzentralitätsparameter δ werden einerseits die Stichprobengrößen n_1 und n_2 berücksichtigt und andererseits die Populationeffektstärke anhand von Cohens d . An dieser Stelle wird die empirisch beobachtete Effektstärke als Schätzer für die Populationeffektstärke verwendet. Die Berechnung für den vorliegenden Test zeigt eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit zur Beobachtung eines derartigen Effekts mit $T = .154 = 15,4\%$. Um einen Effekt dieser

Größe mit einer Teststärke von 80% zu beobachten, wäre eine entsprechend große Stichprobe notwendig gewesen, die mit $n_1 = 326$ und $n_2 = 490$ weit von der tatsächlichen Stichprobengröße entfernt ist.

11.3.6. Gruppenvergleich der Subskalen

Da die Items des Tests die verschiedenen Phasen des Problemlösens abbilden, werden zusätzlich die Unterschiede pro Subskala betrachtet.

Gruppenunterschiede der Subskalen vor der Intervention

Zur Überprüfung von Gruppenunterschieden zu Beginn des Semesters wird der Welch-Test verwendet. Sowohl für die Subskala der Problemrepräsentation, der Lösungsausarbeitung, als auch der Lösungsevaluation ergeben sich zum Prä-Messzeitpunkt keine Gruppenunterschiede (s. Tab. 11.12). Der Vergleich des Lernzuwachses der beiden Gruppen wird daher fortgeführt.

Tabelle 11.12. Gruppenvergleich der Subskalen zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe zum Prä-Messzeitpunkt

Subskala	Welch-Test	zweiseitiges p
Problemrepräsentation	$t(82.912) = -.876$	.384
Lösungsausarbeitung	$t(54.530) = -.175$	.862
Lösungsevaluation	$t(64.475) = .243$	.809

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit p = Signifikanz

Gruppenvergleich der Problemrepräsentation

Zuerst wird der Lernzuwachs beider Gruppen für die Subskala Problemrepräsentation betrachtet (s. Abb. 11.10). Zu Semesterbeginn finden sich für beide Gruppen sehr ähnliche Voraussetzungen ($M_{IG} = .54$, $SD_{IG} = .23$; $M_{KG} = .55$, $SD_{KG} = .24$). Beide Gruppen erzielen einen ähnlich positiven Lernzuwachs ($M_{Diff,IG} = .12$, $SD_{Diff,IG} = .30$; $M_{Diff,KG} = .12$, $SD_{Diff,KG} = .31$).

Ein Vergleich der Gruppen anhand des gepaarten t-Tests zeigt für beide Gruppen einen signifikanten Lernzuwachs mit kleinem Effekt (s. Tab. 11.13). Für die Problemrepräsentation kann jedoch kein signifikanter Gruppenunterschied beobachtet werden (vgl. Tab. 11.14).

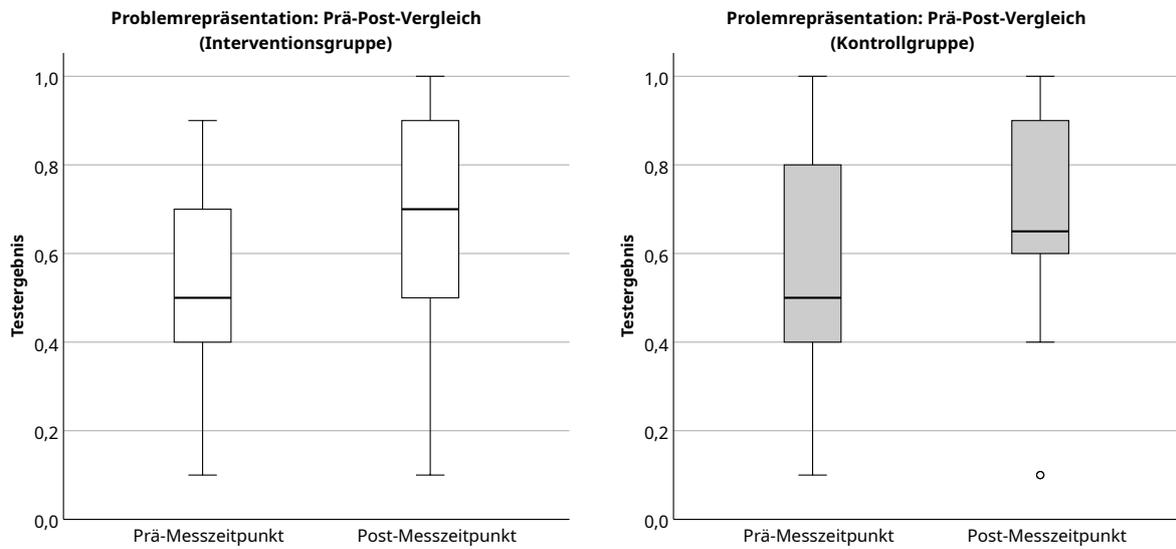


Abb. 11.10. Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Problemrepräsentation

Tabelle 11.13. Prä-Post-Mittelwertvergleich für Problemrepräsentation pro Gruppe

Gruppe	<i>N</i>	Gepaarter t-Test	Cohens <i>d</i>	<i>p</i>
Interventionsgruppe	22	$t(21) = 1.904$	.406	.035*
Kontrollgruppe	30	$t(29) = 2.041$	.373	.025*

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit *N* = Stichprobengröße, Cohens *d* = Effektstärke, *p* = Signifikanz

Tabelle 11.14. Gruppenvergleich der Differenzen für Problemrepräsentation zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	einseitiges <i>p</i>
IG vs. KG	$t(46.289) = .070$	.020	.472

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens *d* = Effektstärke, *p* = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

Gruppenvergleich der Lösungsausarbeitung

Im nächsten Schritt werden die Lernzuwächse für die Lösungsausarbeitung zwischen den Gruppen verglichen (s. Abb. 11.11). Es zeigt sich, dass die Testergebnisse zu Semesterbeginn in beiden Gruppen vergleichbar sind ($M_{IG} = .13$, $SD_{IG} = .25$; $M_{KG} = .17$, $SD_{KG} = .28$). Für den Post-Messzeitpunkt sind ähnliche Mittelwerte für Interventions- und Kontrollgruppe zu beobachten ($M_{IG} = .17$, $SD_{IG} = .26$; $M_{KG} = .18$, $SD_{KG} = .30$). In beiden Gruppen lässt sich zum Prä- und zum Post-Messzeitpunkt ein Ausreißer beobachten, der die volle Punktzahl erreicht.

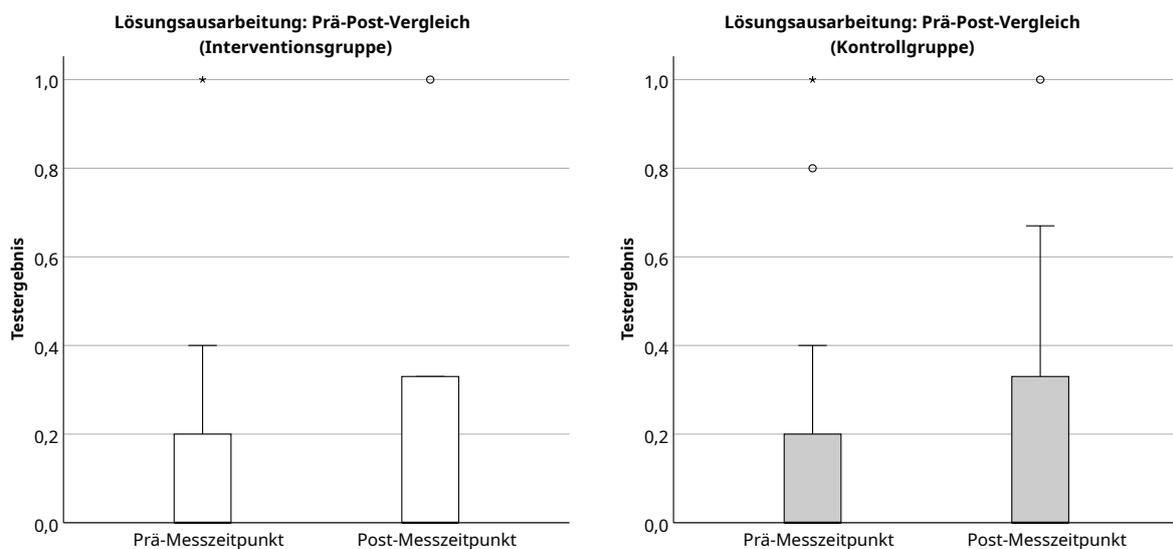


Abb. 11.11. Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Lösungsausarbeitung

Tabelle 11.15. Prä-Post-Vorzeichen-Rangvergleich für Problemlösung pro Gruppe

Gruppe	N	z	r	zweiseitiges p
Interventionsgruppe	18	.179	.042	.858
Kontrollgruppe	20	.458	.102	.647

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit N = Stichprobengröße, z = standardisierte Teststatistik, r = Effektstärke, p = Signifikanz

Der Vergleich der Prä- und Post-Ergebnisse zeigt für keine der beiden Gruppen ein signifikantes Ergebnis (s. Tab. 11.15).

Für die Skala der Lösungsschritte ist kein Gruppenunterschied festzustellen (vgl. Tab. 11.16).

Tabelle 11.16. Gruppenvergleich der Differenzen für Problemlösung zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe

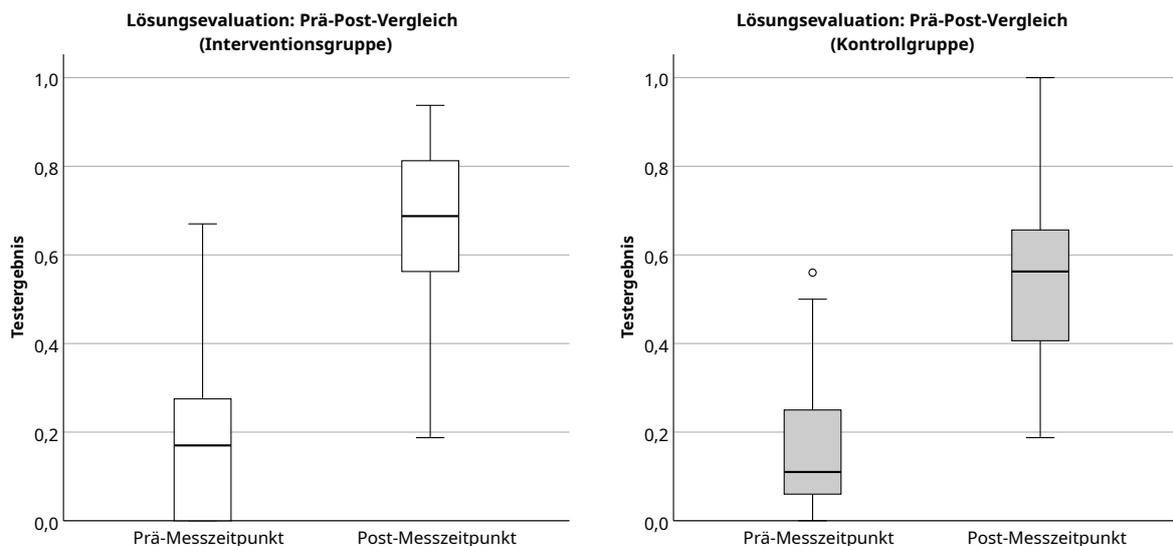
Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens d	einseitiges p
IG vs. KG	$t(38.024) = .177$	.055	.430

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens d = Effektstärke, p = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

Gruppenvergleich der Lösungsevaluation

Zuletzt werden die Lernzuwächse für die Lösungsevaluation zwischen den Gruppen verglichen (s. Abb. 11.12). Beide Gruppen weisen zum Prä-Messzeitpunkt ähnliche mittlere Testergebnisse auf ($M_{IG} = .18$; $M_{KG} = .16$). Die Standardabweichung ist für die Kontrollgruppe ($SD_{KG} = .16$) etwas geringer als für die Interventionsgruppe ($SD_{IG} = .19$). Der Lernzuwachs der Interventionsgruppe ist größer ($M_{Diff,IG} = .48$, $SD_{Diff,IG} = .27$) als der Lernzuwachs der Kontrollgruppe ($M_{Diff,KG} = .41$, $SD_{Diff,KG} = .22$).

**Abb. 11.12.** Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Lösungsevaluation

Die Prä-Post-Vergleiche zeigen für beide Gruppen einen signifikanten Lernzuwachs, der jeweils eine hohe Effektstärke aufweist (s. Tab. 11.17).

Für die Skala der Lösungsschritte zeigt der Welch-Test keinen signifikanten Gruppenunterschied (vgl. Tab. 11.18).

Tabelle 11.17. Prä-Post-Mittelwertvergleich für Lösungsevaluation pro Gruppe

Gruppe	<i>N</i>	Gepaarter t-Test	Cohens <i>d</i>	<i>p</i>
Interventionsgruppe	19	$t(18) = 7.698$	1.766	< .001***
Kontrollgruppe	27	$t(26) = 9.750$	1.876	< .001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit *N* = Stichprobengröße, Cohens *d* = Effektstärke, *p* = Signifikanz

Tabelle 11.18. Gruppenvergleich der Differenzen für Lösungsevaluation zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppenvergleich	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	einseitiges <i>p</i>
IG vs. KG	$t(33.235) = .951$	.284	.174

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens *d* = Effektstärke, *p* = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

11.4. Einstellungen zu Interventionsmaßnahmen

Zuletzt werden die Ergebnisse des Fragebogens zu den Einstellungen der Studierenden vorgestellt. Entsprechend der Darstellung der Güte des Testinstruments werden hier nur die Ergebnisse der beiden Skalen zu *Einstellungen zu Worked Examples* und *Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren* dargestellt. Die Items wurden mithilfe einer 5-stufigen Likert-Skala abgefragt. Die Antwortmöglichkeiten (von *trifft nicht zu* bis *trifft zu*) wurden mit den Werten eins bis fünf aufsteigend kodiert, sodass eine Bewertung von drei als neutral, Werte darunter als negativ und Werte darüber als positiv zu bewerten sind. Die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage:

F.3: Inwiefern können ablehnende Einstellungen der Studierenden bezüglich des besonderen Lernsettings festgestellt werden?

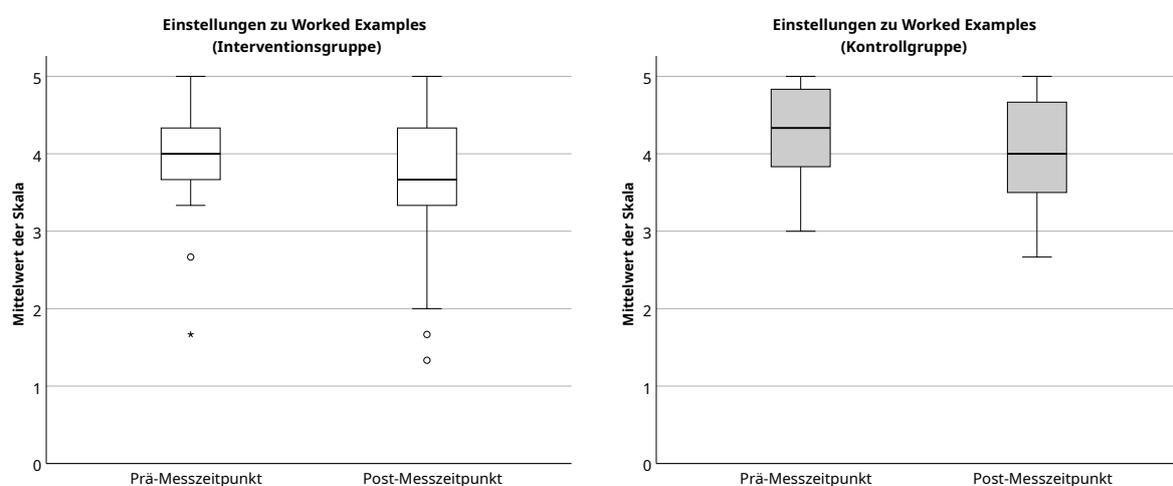
11.4.1. Einstellungen zu Worked Examples

Für die Einstellungen der Studierenden zu den Worked Examples werden zunächst die Mittelwerte und Standardabweichungen zu beiden Messzeitpunkten betrachtet (vgl. Tab. 11.19). Der Einsatz von Worked Examples wird sowohl vor als auch nach dem Semester von beiden Gruppen im Mittel als eher hilfreich bewertet. Die Streuung innerhalb der Gruppen ist in der Interventionsgruppe zum Post-Messzeitpunkt vergleichsweise hoch. Für die Interventionsgruppe sind Ausreißer nach unten zu beobachten ($Min_{IG,Prä} = 1.67$, $Min_{IG,Post} = 1.33$).

Tabelle 11.19. Deskriptive Daten der Einstellungen der Studierenden zu Worked Examples zu beiden Messzeitpunkten (MZP)

Gruppe	N	$M \pm SD$	
		Prä-MZP	Post-MZP
Interventionsgruppe	22	$3.86 \pm .75$	3.65 ± 1.01
Kontrollgruppe	32	$4.26 \pm .62$	$3.99 \pm .69$

Anmerkung. Mit N =Stichprobengröße, M =Mittelwert, SD =Standardabweichung

**Abb. 11.13.** Prä-Post-Vergleich der Einstellungen zu Worked Examples pro Gruppe

Für die Entwicklung von Semesterbeginn bis Semesterende lässt sich beobachten, dass die Interventions- und Kontrollgruppe im Mittel eine etwas negativere Einstellung zu den Worked Examples entwickeln (s. Abb. 11.13). Diese Entwicklung wird zusätzlich im Prä-Post-Vergleich untersucht. Für die nicht-normalverteilte Interventionsgruppe wird der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet, während die Normalverteilung der Kontrollgruppe einen Vergleich mittels gepaartem t-Test zulässt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird zunächst der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für beide Gruppen durchgeführt. Zusätzlich wird der gepaarte t-Test für die normalverteilte Kontrollgruppe berechnet. Da im Vorfeld keine Richtung der Veränderung vermutet wurde, wird jeweils die zweiseitige Signifikanz geprüft. Es zeigt sich, dass die Veränderung weder für die Interventionsgruppe (vgl. Tab. 11.20) noch für die Kontrollgruppe signifikant ist (vgl. Tab. 11.21).

Tabelle 11.20. Prä-Post-Vorzeichen-Rangvergleich für Einstellungen zu Worked Examples pro Gruppe

Gruppe	N	z	r	zweiseitiges p
Interventionsgruppe	22	.482	.103	.630
Kontrollgruppe	32	1.788	.316	.074

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit N = Stichprobengröße, z = standardisierte Teststatistik, r = Effektstärke, p = Signifikanz

Tabelle 11.21. Prä-Post-Mittelwertvergleich für Einstellungen zu Worked Examples

Gruppe	N	Gepaarter t-Test	Cohens d	zweiseitiges p
Kontrollgruppe	32	$t(31) = -1.903$	-.336	.066

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit N = Stichprobengröße, Cohens d = Effektstärke, p = Signifikanz

Für den Gruppenvergleich ergibt sich nur zum Prä-Messzeitpunkt ein signifikanter Unterschied (vgl. Tab. 11.22). Die Einstellungen der Kontrollgruppe sind zu Semesterbeginn im Mittel positiver ($M_{KG,Prä} = 4.26$) als die der Interventionsgruppe ($M_{IG,Prä} = 3.86$). Die Einstellungen nach dem Semester haben sich zwischen den Gruppen angenähert, sodass zum Post-Messzeitpunkt keine signifikanten Unterschiede mehr bestehen.

Tabelle 11.22. Gruppenvergleich der Einstellungen zu Worked Examples zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe zu beiden Messzeitpunkten (MZP)

Gruppenvergleich	MZP	Welch-Test	Cohens d	zweiseitiges p
IG vs. KG	Prä	$t(39.638) = -2.125$	-.588	.047*
IG vs. KG	Post	$t(34.195) = -1.373$	-.408	.179

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens d = Effektstärke, p = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

11.4.2. Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren

Die Ergebnisse zu den Einstellungen der Studierenden über strategische Lösungsverfahren werden vor allem für die Interventionsgruppe zum Post-Messzeitpunkt betrachtet, da alle Beteiligten durch die Teilnahme an der Intervention zu diesem Zeitpunkt eine konkrete Vorstellung der hier beschriebenen Vorgehensweisen hatten. Die Ergebnisse des Prä-Messzeitpunkts zeigen für beide Gruppen ein einheitlich positives Bild (vgl. Tab. 11.23).

Im Mittel bewerten die Studierenden strategische Lösungsverfahren als eher hilfreich. Insgesamt fällt die Streuung der Einstellungen in beiden Gruppen dabei geringer aus als für die Einstellungen zu den Worked Examples (vgl. Tab. 11.19). Zum Post-Messzeitpunkt liegt in der Interventionsgruppe ein Ausreißer nach unten vor ($Min_{IG,Post} = 1.25$).

Tabelle 11.23. Deskriptive Daten der Einstellungen der Studierenden zu strategischen Lösungsverfahren zu beiden Messzeitpunkten (MZP)

Gruppe	N	$M \pm SD$	
		Prä-MZP	Post-MZP
Interventionsgruppe	22	$4.05 \pm .55$	$3.84 \pm .84$
Kontrollgruppe	32	$4.22 \pm .56$	$4.20 \pm .50$

Anmerkung. Mit N =Stichprobengröße, M =Mittelwert, SD =Standardabweichung

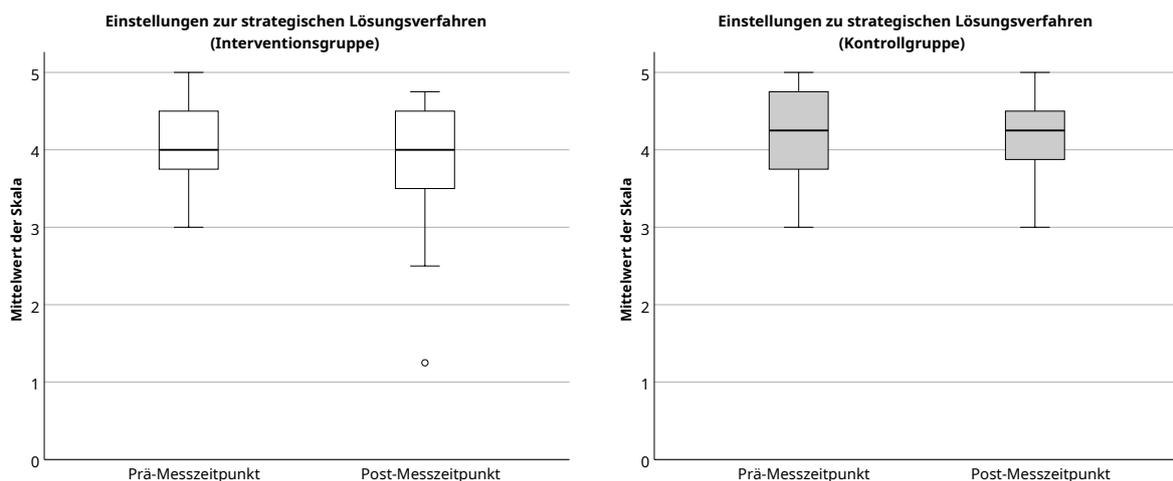


Abb. 11.14. Prä-Post-Vergleich der Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren pro Gruppe

Für beide Gruppen sind kaum Veränderungen der Einstellungen vom Prä- zum Post-Messzeitpunkt zu beobachten (vgl. Abb. 11.14). Da in der Kontrollgruppe keine explizite Auseinandersetzung mit Lösungsstrategien stattgefunden hat, bestätigt sich erwartungsgemäß, dass es keine signifikante Veränderung von Semesterbeginn zu Semesterende gibt (vgl. Tab. 11.25). Auch für die Interventionsgruppe zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten.

Tabelle 11.24. Prä-Post-Mittelwertvergleich für Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren

Gruppe	<i>N</i>	Gepaarter t-Test	Cohens <i>d</i>	<i>p</i>
Interventionsgruppe	22	$t(21) = -1.233$	-.263	.231
Kontrollgruppe	32	$t(31) = -.231$	-.041	.818

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit *N* = Stichprobengröße, Cohens *d* = Effektstärke, *p* = Signifikanz

Insgesamt bleibt die Einschätzung aller Gruppen zu jedem Zeitpunkt im Mittel über einem Wert von 3.00, sodass jeweils eine positive Bewertung vorliegt (vgl. Tab. 11.23). Zum Post-Messzeitpunkt fällt die Bewertung der Interventionsgruppe für diese Skala zudem besser aus als für die Bewertung der Worked Examples (vgl. Tab. 11.19 und Tab. 11.23). Es lässt sich weder für den Prä-Messzeitpunkt noch für den Post-Messzeitpunkt ein signifikanter Unterschied zwischen den Einstellungen der Gruppen beobachten (vgl. Tab. 11.25).

Tabelle 11.25. Gruppenvergleich der Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe

Gruppenvergleich	MZP	Welch-Test	Cohens <i>d</i>	zweiseitiges <i>p</i>
IG vs. KG	Prä	$t(45.323) = -1.179$	-.327	.245
IG vs. KG	Post	$t(31.208) = -1.806$	-.548	.081

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit Cohens *d* = Effektstärke, *p* = Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe

11.5. Überprüfung der Forschungshypothesen

Nach der Darstellung der Auswertung der jeweiligen Testinstrumente werden die Ergebnisse nun vor dem Hintergrund der zuvor aufgestellten Forschungsfragen und -hypothesen betrachtet. Zur besseren Lesbarkeit werden diese vorab kurz wiederholt.

11.5.1. Prüfung der ersten Forschungsfrage

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage werden die Ergebnisse des Abschnitts 11.2 zum deklarativen Wissen über Problemschemata verwendet:

F.1: Inwiefern gelingt unter der Verwendung von Worked Examples durch ein zusätzliches Strategietraining die Entwicklung von Problemschemata?

Prüfung der Hypothese zum deklarativen Wissen über Problemschemata

Die erste Forschungshypothese lautet: **H.1.1:** Es lässt sich eine Entwicklung von Problemschemata durch gewonnenes deklaratives Wissen über Problemschemata nachweisen, die auf das eingesetzte Strategietraining zurückgeführt werden kann.

Zur Überprüfung der Hypothese werden die Ergebnisse aus Abschnitt 11.2 zugrundegelegt. Der Prä-Post-Vergleich für das deklarative Wissen über Problemschemata zeigte für beide Gruppen einen signifikanten Lernzuwachs mit einer hohen Effektstärke. Die höhere Effektstärke der Interventionsgruppe wurde durch einen Gruppenvergleich der Prä-Post-Differenzen näher untersucht. Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Die Effektstärke ist mit Cohens $d = .875$ als groß zu bewerten.

Um mögliche Störeinflüsse durch Unterschiede im Fachwissen oder im Selbstkonzept auszuschließen, wurden die Gruppen zusätzlich hinsichtlich dieser beiden Variablen untersucht. Für das Fachwissen konnte zum Prä-Messzeitpunkt kein Gruppenunterschied festgestellt werden, sodass von keiner Beeinflussung ausgegangen wird. Auch für das Selbstkonzept konnte für fünf der sieben Subskalen kein Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden. Für die Skalen zum Selbstkonzept in der Physik und für die Problemrepräsentation wurden Gruppenunterschiede festgestellt. In beiden Fällen liegt jedoch jeweils ein höheres Selbstkonzept für die Kontrollgruppe vor, sodass der Einfluss allenfalls zu einer negativen Verzerrung führen würde, die den tatsächlichen Effekt unterschätzt.

Die Hypothese H.1.1 kann somit angenommen werden, sodass eine Entwicklung von Problemrepräsentationen durch das erworbene deklarative Wissen über Problemrepräsentationen auf das Strategietraining zurückgeführt werden kann.

11.5.2. Prüfung der zweiten Forschungsfrage

Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage und der damit zusammenhängenden Forschungshypothesen werden die Ergebnisse der Sortieraufgaben und des Problemlösetests aus Abschnitt 11.3 zugrunde gelegt. Mit der positiven Bewertung der Forschungshypothese H.1.1 ist die Voraussetzung für die Auswertung der zweiten Forschungsfrage erfüllt. Die Forschungsfrage lautete hier:

F.2: Inwiefern gelingt unter der Verwendung von Worked Examples durch ein zusätzliches Strategietraining eine Verbesserung des Problemlöseerfolgs?

Prüfung der Hypothese zur Auswahl von Problemschemata

Die erste Forschungshypothese bezieht sich zunächst auf die Auswahl bzw. Erarbeitung eines geeigneten Problemschemas: **H.2.1:** Es lässt sich eine verbesserte Auswahl bzw. Erarbeitung von Problemschemata nachweisen, die auf das Strategietraining zurückgeführt werden kann.

Zur Überprüfung dieser Hypothese werden die Ergebnisse der Sortieraufgaben (vgl. Abschnitt 11.3.1 bis 11.3.2) zugrundegelegt. Zu Semesterbeginn liegen für beide Gruppen starke Bodeneffekte vor, sodass in diesem Fall ausschließlich ein Gruppenvergleich für den Post-Messzeitpunkt vorgenommen wird. Da zum Prä-Messzeitpunkt kaum richtige Antwort gegeben werden, zeigen die Ergebnisse des Post-Messzeitpunktes, dass beide Gruppen eine verbesserte Auswahl von Problemschemata aufweisen. Der Gruppenvergleich bestätigt zudem einen signifikanten Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe. Die unterschiedliche Performanz in der Auswahl eines geeigneten Problemschemas zwischen Interventions- und Kontrollgruppe lässt sich mit einem mittleren Effekt von Cohens $d = .511$ beschreiben. Die Hypothese H.2.1 wird somit angenommen.

Prüfung der Hypothese zum Problemlöseerfolg

Mit der positiven Bewertung der Forschungshypothesen H.1.1 und H.2.1 sind die Voraussetzungen für die Auswertung der Forschungshypothese H.2.2 erfüllt. Die Hypothese H.2.2 beschreibt die erwartete Unterscheidung des Problemlöseerfolgs: **H.2.2:** Sofern die Hypothesen H.1.1 und H.2.1 angenommen werden können, lässt sich eine Verbesserung des Problemlöseerfolgs für den weiteren Problemlöseprozess nachweisen, die auf das Strategietraining zurückgeführt werden kann.

Zur Beurteilung des Problemlöseerfolgs werden die Ergebnisse aus Abschnitt 11.3.3 bis 11.3.6 zugrundegelegt.

Bei der Auswertung des Gesamtergebnisses des Problemlösetests ist zu beachten, dass, wie im Abschnitt 9.4.3 beschrieben, die Items zur Auswahl bzw. Entwicklung eines Problemschemas in der vorliegenden Stichprobe keine ausreichende Güte erreichten, sodass sie bei der Auswertung des Tests nicht weiter berücksichtigt wurden. Der Gruppenvergleich zeigt für das Gesamtergebnis des Problemlösetests keinen signifikanten Unterschied. Der Gruppenvergleich für die drei verbleibenden Subskalen Problemrepräsentation, Lösungsausführung und Lösungserklärung zeigt ebenfalls keinen signifikanten Unterschied. Die Hypothese H.2.2 über den höheren Lernzuwachs der Interventionsgruppe bezüglich des Problemlöseerfolgs wird daher zurückgewiesen.

11.5.3. Prüfung der dritten Forschungsfrage

Für die Beantwortung der dritten Forschungsfrage werden die Ergebnisse des Fragebogens zu den Einstellungen der Studierenden betrachtet. Die Forschungsfrage lautet:

F.3.1: Inwiefern können ablehnende Einstellungen der Studierenden bezüglich des besonderen Lernsettings festgestellt werden?

Prüfung der Hypothese zu Einstellungen zu Worked Examples

Die erste Forschungshypothese bezieht sich auf die Einstellungen der Studierenden zu den verwendeten Worked Examples: **H.3.1.** Es liegen keine ablehnenden Einstellungen bezüglich der Methode der Worked Examples vor.

Zur Überprüfung der Hypothese werden die Ergebnisse aus dem Abschnitt 11.4.1 herangezogen. Es konnte festgestellt werden, dass die Studierenden beider Gruppen im Mittel eine eher positive Einstellung zu den Worked Examples haben. Für den Prä-Messzeitpunkt liegt dabei ein signifikanter Gruppenunterschied vor. Der Mittelwert der Kontrollgruppe weist zu diesem Zeitpunkt einen sehr hohen Wert auf. Im Laufe des Semesters gleicht sich dieser Unterschied an, sodass zum Post-Messzeitpunkt für beide Gruppen weiterhin Mittelwerte zwischen 3.50 und 4.00 vorliegen. Zum Post-Messzeitpunkt ist kein signifikanter Gruppenunterschied mehr vorhanden. Insgesamt lassen sich für beide Gruppen im Mittel durchweg positive Einstellungen bezüglich der Methode der Worked Examples feststellen, so dass Hypothese H.3.1 angenommen wird.

Prüfung der Hypothese zu Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren

Die zweite Forschungshypothese betrifft die Einstellungen der Studierenden zu strategischen Lösungsverfahren: **H.3.2:** Es liegen ablehnende Einstellungen bezüglich strategischer Lösungsverfahren bei den Studierenden der Interventionsgruppe vor.

Zur Überprüfung der Hypothese werden die Ergebnisse aus Abschnitt 11.4.2 zugrundegelegt. Für die Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren wurde für beide Gruppen zum Prä-Messzeitpunkt ein Mittelwert von 4.00 überschritten. Im Fall der Kontrollgruppe wurde ein nahezu identisches Ergebnis für den Post-Messzeitpunkt erzielt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Gruppe während des Semesters keinen Kontakt mit expliziten strategischen Lösungsverfahren hatte. Für die Interventionsgruppe, die im Rahmen des Strategietrainings in Kontakt mit diesen Konzepten gekommen ist, konnte eine leicht negative Veränderung zum Post-Messzeitpunkt beobachtet werden. Dieser Unterschied erwies sich in beiden Fällen als nicht signifikant. Es zeigt sich, dass die Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren in beiden Gruppen im Durchschnitt eher positiv sind. Die Hypothese H.3.2 wird daher zurückgewiesen.

Teil IV.

Fazit

12. Diskussion

In diesem Abschnitt werden die zuvor vorgestellte Studie und ihre Ergebnisse kritisch diskutiert. Dazu werden zunächst grundsätzliche Stärken und Grenzen der Studie dargestellt, die sich auf das Forschungsdesign und die Durchführung beziehen. Anschließend werden Aspekte diskutiert, die sich auf die jeweiligen Forschungsfragen beziehen. Dabei werden die im Abschnitt 9.3 näher ausgeführten Gütekriterien zugrunde gelegt. Abschließend werden einerseits Konsequenzen für die (universitäre) Physiklehre abgeleitet und andererseits Möglichkeiten der Weiterentwicklung des Konzepts aufgezeigt, die weiterer Forschung bedürfen.

12.1. Diskussion des Studiendesigns und der Durchführung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein klassisches Interventionsdesign gewählt, in dem ein neues Physikübungskonzept erprobt wurde. Die Wahl eines Kontrollgruppendesigns konnte gewährleisten, dass ein direkter Vergleich des Konzepts mit dem etablierten Lehrformat, das als klassische „Vorrechnenübung“ (vgl. Haak, 2016) zu bewerten ist, möglich war. Um eine kausale Rückführung der Effekte auf das entwickelte Strategietraining zu ermöglichen, wurde im Rahmen dieser Studie ein starker Fokus auf die interne Validität und damit auf die methodische Strenge bei der Durchführung gelegt. Dieser Priorität wurde zum einen durch die stark kontrollierten Bedingungen des Gruppendesigns und zum anderen durch die Berücksichtigung möglicher Störeinflüsse Rechnung getragen. Insbesondere die Aufgabenanalyse konnte einen wichtigen Beitrag zur systematischen Gestaltung der Probleme leisten, die als wesentlich für die strukturierte Erarbeitung der Problemschemata im Rahmen des Strategietrainings erachtet wurde. Das dabei entwickelte Verfahren zur Beschreibung der Problemstruktur, konnte sich innerhalb der Arbeit bewähren und bietet eine neue Möglichkeit der Aufgabensteuerung. Durch die zusätzliche Berücksichtigung der Einstellungen der Studierenden zu den Interventionsmaßnahmen einerseits und des Fachwissens und des Selbstkonzepts als Prädiktoren wissenszentrierten Problemlösens andererseits konnte eine unbeabsichtigte Beeinflussung

der Evaluation vermieden werden. Aufgrund der starken Fokussierung auf die interne Validität sind der Generalisierbarkeit und damit der externen Validität der Studie Grenzen gesetzt. Die dafür notwendige systematische Vergrößerung der Stichprobe hätte eine Ausweitung auf weitere Standorte erfordert, die nur unter weniger stark kontrollierten Untersuchungsbedingungen realisierbar gewesen wäre. Zudem kann ein wirklicher Anspruch auf Generalisierbarkeit häufig ohnehin nur durch Forschungssynthesen auf der Basis von Metaanalysen erhoben werden (Döring & Bortz, 2016). Die Entscheidung zugunsten der internen Validität ermöglicht an dieser Stelle eine hohe Belastbarkeit der in dieser Studie beobachteten Effekte, sodass eine Ausweitung auf andere Stichproben und Standorte als vielversprechend eingeschätzt wird. Bezogen auf die hier betrachteten Ingenieurstudierenden an einer Fachhochschule in Nordrhein-Westfalen können somit sowohl die Fachrichtung als auch der Hochschultyp und der Standort variiert werden. Insbesondere eine Übertragung auf Physikstudierende und Physiklehramtsstudierende ist von besonderem Interesse, da die hier betrachteten Studierenden Physik nur als Nebenfach belegen. Darüber hinaus ist die inhaltliche Beschränkung auf das Teilgebiet der Mechanik zu berücksichtigen. Diese Ausrichtung konnte sowohl über die inhaltliche Anschlussfähigkeit an andere Arbeiten (z. B. Chi et al., 1981; Brandenburger, 2017; Binder, Schmiemann & Theyßen, 2019; Woitkowski, 2021a) als auch über die starke Verbreitung als Einstiegsthema in der universitären Physik begründet werden. Eine Übertragbarkeit auf andere Teilgebiete der Physik kann nicht sichergestellt werden und ist in Folgearbeiten zu untersuchen. Eine Diskussion der Güte der eingesetzten Testinstrumente ist bereits im Abschnitt 9.4 erfolgt. Insgesamt kann festgehalten werden, dass sowohl die Validität als auch die Objektivität durchgängig als erfüllt angesehen werden. Für die Validität konnte dies sowohl durch den Rückgriff auf geeignete, bereits evaluierte Testinstrumente als auch durch die zusätzliche Berücksichtigung der Konstruktvalidität in der vorliegenden Studie sichergestellt werden. Darüber hinaus konnte die Objektivität sowohl durch die digitale und damit teilautomatisierte Auswertung der Daten als auch durch die Entwicklung umfangreicher Kodiermanuale gewährleistet werden. Eine Diskussion der unterschiedlichen Reliabilitäten und Trennschärfen der Testinstrumente erfolgt im Rahmen der jeweiligen Forschungsfrage.

12.2. Diskussion der ersten Forschungsfrage

Im Rahmen der ersten Forschungsfrage wurde die Entwicklung des deklarativen Wissens über Problemschemata aufgrund des entwickelten Strategietrainings untersucht. Die Ergebnisse des eingesetzten Fragebogens konnten sowohl einen signifikanten Lernzuwachs für die Interventions- und Kontrollgruppe nachweisen als auch einen signifikanten Unterschied mit hoher Effektstärke zwischen den beiden Gruppen bestätigen.

Eine besondere Herausforderung bei der Untersuchung der Forschungsfrage bestand in der adäquaten Operationalisierung der abhängigen Variable. Um die Vermittlung und auch Überprüfung von Problemschemata zu ermöglichen, musste zunächst festgelegt werden, wie die jeweiligen Problemschemata aussehen. Da der Schemabegriff kognitive Strukturen beschreibt, die sich je nach Expertisegrad verändern (vgl. Sweller, 1988), stellt die hier vorgenommene statische Beschreibung ihrer Struktur eine Vereinfachung dar, die bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen ist. Es kann daher nur überprüft werden, ob sich die Studierenden den hier als Problemschemata definierten Wissens-elementen und Strukturen annähern. Die zugrunde gelegten Annahmen orientieren sich sowohl an fachlichen Strukturen als auch an Erkenntnissen über erfolgreiche Problemlösestrategien bei wissenszentrierten Physikaufgaben (vgl. Abschnitt 3.1).

Die Herausforderung einer geeigneten Operationalisierung zeigte sich auch bei der Entwicklung des eingesetzten Testinstruments. Die Einteilung der vier Inhaltsbereiche in die drei Strukturebenen der charakteristischen Merkmale, der typischen Lösungsansätze und der Heuristiken weist eine hohe Komplexität auf, die sich teilweise in der Reliabilität des Testinstruments widerspiegelt. So verbleiben zum Zeitpunkt der Hauptstudie einige der eingesetzten Items mit einer geringen Trennschärfe. Aufgrund der hohen Spezifität des Testinstruments können für eine Überarbeitung primär die Daten am Ende eines Semesters verwendet werden, da die Studierenden zu Semesterbeginn kaum über die untersuchten Strukturen verfügen. Da die Lehrveranstaltung nur im Wintersemester von einer ausreichenden Anzahl von Studierenden belegt wird, beträgt der Zeitraum für einen weiteren Überarbeitungszyklus ein ganzes Jahr, sodass die Möglichkeiten der Überarbeitung im Rahmen der Projektlaufzeit begrenzt waren. Das Instrument wurde an dieser Stelle als geeignet für die vorliegende Untersuchung eingeschätzt, da einerseits die Skalenreliabilität zum Post-Messzeitpunkt akzeptabel war und andererseits die niedrigen Trennschärfen als weniger problematisch eingeschätzt wurden, da diese wenn, die Wahrscheinlichkeit eines β -Fehlers erhöhen. Im Rahmen einer Weiterentwicklung sind die beiden fehlenden Itemkonstellationen zu berücksichtigen, die in der finalen Testversion gestrichen werden mussten (vgl. Abschnitt 9.4.1). Da sich für die Items aus dem Bereich der Heuristik gezeigt hat, dass sich die Komplexität der darin enthaltenen Entscheidungen nur bedingt in ein Single-Choice-Format übertragen lässt, kann für diese Items ggf. die Wahl eines anderen Antwortformats erwogen werden.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass eine Testversion, die alle Gütekriterien vollständig erfüllt, weiterer Überarbeitungen bedarf. Dennoch wird die vorliegende Version als gelungene Umsetzung angesehen, da die Untersuchung der Konstruktvalidität erwartungskonforme Zusammenhänge mit den anderen Testinstrumenten bestätigen konnte. Aufgrund der starken Nähe zum domänenspezifischen Fachwissen, den Sortieraufgaben

und dem Problemlösetest bei gleichzeitiger Abgrenzung zum deklarativen Wissen über Problemschemata wird die gelungene Konstruktrealisierung positiv bewertet.

Um eine eindeutige Zuordnung des beobachteten Effekts zur Intervention zu ermöglichen, wurde der Einfluss weiterer bekannter Prädiktoren untersucht. Dazu wurden die Gruppen zum Prä-Messzeitpunkt hinsichtlich des Fachwissens und des Selbstkonzepts verglichen. Für das Fachwissen konnten zu diesem Zeitpunkt keine Gruppenunterschiede festgestellt werden, sodass von keinem zusätzlichen Einfluss ausgegangen wird. Für fünf der sieben Skalen des Selbstkonzepts konnten ebenfalls keine Unterschiede festgestellt werden. Für die beiden Selbstkonzeptskalen Physik und Problemrepräsentation konnten signifikante Gruppenunterschiede festgestellt werden. Da diese jeweils höhere Mittelwerte für die Teilnehmenden der Kontrollgruppe aufwiesen, kann auch hier eine positive Verzerrung des beobachteten Effekts ausgeschlossen werden und allenfalls von einer Unterschätzung des Effekts ausgegangen werden.

Im Hinblick auf eine kritische Diskussion der Ergebnisse zur ersten Forschungsfrage sind daher die Grenzen des Testinstruments zum deklarativen Wissen über Problemschemata zu berücksichtigen. Aufgrund der ausreichenden Objektivität, Skalenreliabilität und Konstruktvalidität des Testinstruments sowie der hohen internen Validität der Gesamtstudie wird der beobachtete Effekt des Strategietrainings insgesamt als belastbar eingeschätzt. Darüber hinaus wird aufgrund der hohen Effektstärke davon ausgegangen, dass auch unter kritischer Berücksichtigung der verbleibenden Limitationen des Testinstruments ein positiver Lernzuwachs durch die Intervention als belegt gilt und mögliche Messungenauigkeiten allenfalls zu einer Überschätzung der Effektstärke, nicht aber zu einem Fehler erster Art führen. Demgegenüber ist weiterhin anzumerken, dass eine Intervention im Bereich der Expertise starken Einschränkungen unterliegt, da die betrachteten Prozesse stets als Langzeitprozesse angenommen werden (vgl. Abschnitt 3.2). Ausgehend von der Annahme, dass der Expertiseerwerb auch im Bereich der Physik einer Dauer von etwa zehn Jahren entspricht (z. B. Ericsson & Crutcher, 2014), sollte auch eine Untersuchung und insbesondere eine Intervention möglichst langfristig angelegt sein, um eine adäquate Beobachtung zu ermöglichen. Diese Anforderung ist jedoch aus forschungspraktischen Gründen oft nicht umsetzbar. Es ist daher sehr positiv zu bewerten, dass bereits im Rahmen eines Semesters (15 Wochen) ein Lernzuwachs mit hoher Effektstärke für die Entwicklung von Problemschemata aufgrund der Intervention nachgewiesen werden konnte. Dieses Ergebnis kann somit zusätzlich bestärken, auch weitere Untersuchungen zum Expertiseerwerb in der Physik in vergleichsweise kurzen Zeiträumen durchzuführen.

12.3. Diskussion der zweiten Forschungsfrage

Im Rahmen der zweiten Forschungsfrage wurde der Einfluss des Strategietrainings auf die Verbesserung des Problemlöseerfolgs untersucht. Dazu wurden einerseits Sortieraufgaben eingesetzt, die die Erarbeitung geeigneter Problemschemata untersuchten, und andererseits ein Problemlösetest, der den Gesamtprozess des Problemlösens sowie die einzelnen Phasen der Problemrepräsentation, der Lösungsausarbeitung und der Lösungsevaluation in den Blick nahm.

12.3.1. Diskussion Forschungshypothese H.2.1

Für die Erarbeitung der Problemschemata zeigten beide Gruppen einen Lernzuwachs, der für die Interventionsgruppe mit einer mittleren Effektstärke signifikant höher ausfiel als für die Kontrollgruppe. Im Folgenden werden die Grenzen der beobachteten Bodeneffekte bei den Sortieraufgaben zum Prä-Messzeitpunkt sowie mögliche Ursachen diskutiert. Es ist zunächst unklar, ob der Effekt auf eine Unschärfe des Testinstruments zurückzuführen ist, die durch eine Überarbeitung behoben werden könnte, oder ob die zu messende Fähigkeit, ein Problemschema zu erarbeiten, weitgehend nicht vorhanden ist, sodass auch eine höhere Trennschärfe des Testinstruments zu keiner Verbesserung führen würde.

Ein Indiz für die letzte Interpretation ist, dass sich zum Post-Messzeitpunkt nicht nur der Inhalt der Antworten verändert hat, sondern auch deren Format. Dieses konnte am Ende des Semesters von den Studierenden in der intendierten Form eingehalten werden, während zu Beginn des Semesters trotz identischer Instruktionen grundlegend andere Antworttypen gegeben wurden. So wurden teilweise lange Rechnungen oder Beschreibungen vorgenommen, obwohl sowohl in der mündlichen als auch in der schriftlichen Instruktion deutlich darauf hingewiesen wurde, dass die Aufgaben explizit nicht gelöst werden sollten. Diese Beobachtung ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass die Studierenden vor allem zum Prä-Messzeitpunkt noch keine übergeordneten Problemschemata in der Physik kennen und daher nicht in der Lage sind, diese zu benennen. Die Offenheit des Antwortformats scheint somit die Komplexität soweit erhöht zu haben, dass eine Differenzierung für Studierende mit geringer Expertise nicht mehr sinnvoll möglich ist. Als Konsequenz wurden für den Gruppenvergleich ausschließlich die Daten zum Post-Messzeitpunkt berücksichtigt.

Die Auswertung ist daher insofern limitiert, als dass anstelle eines Vergleichs des Lernzuwachses zwischen den Messzeitpunkten wie bei den anderen Variablen nur ein Vergleich nach der Intervention möglich war. Da die Erarbeitung eines Problemschemas als anspruchsvolle Aufgabe anzusehen ist und sowohl der Test zum deklarativen Wissen über Problemschemata als auch der Problemlösetest nur sehr geringe Leistungen zu Beginn

des Semesters zeigen, ist die Möglichkeit, dass zu diesem Zeitpunkt tatsächlich noch keine nennenswerten Fähigkeiten vorhanden sind, durchaus plausibel. Es ist daher nicht klar, ob eine Überarbeitung des Testinstruments und seiner Trennschärfe dem Problem entgegenwirken kann. Vor diesem Hintergrund ist zu prüfen, ob durch eine Veränderung des Testformats eine weitere Differenzierung für einen geringeren Expertisegrad möglich ist oder ob dies zu einer Bestätigung der beobachteten Ergebnisse führt. Gleichzeitig wird diese Beobachtung als Bestätigung für die Öffnung des Testformats gewertet. Die Schwierigkeiten der Studierenden zu Semesterbeginn, dem Antwortformat gerecht zu werden, spricht für die Notwendigkeit einer stärker qualitativen Betrachtung der Problemschemata der Studienanfänger:innen. Da ein Teil der Studierenden zu diesem Zeitpunkt bereits über ein gutes Fachwissen verfügt, unterstreicht diese Beobachtung einerseits die Bedeutung der Struktur des vorhandenen Wissens und andererseits eines Bewusstseins für diese Wissensstruktur.

Insgesamt wurde die statistische Validität der Sortieraufgaben als akzeptabel bewertet (vgl. Abschnitt 9.4.2). Der gemessene Gruppenunterschied wird aufgrund der hohen internen Validität der Studie und der statistischen Validität als belastbar eingeschätzt, sodass neben dem Lernzuwachs für das deklarative Wissen über Problemschemata auch die verbesserte Anwendung als belastbarer Effekt angesehen wird. Darüber hinaus konnten durch die aufgetretenen Schwierigkeiten bei der Bearbeitung des veränderten Testformats neue Fragestellungen aufgeworfen werden, die für die Untersuchung der Problemschemata von Novizen von Interesse sind und somit weitere Folgeuntersuchungen ermöglichen.

12.3.2. Diskussion Forschungshypothese H.2.2

Zur Beantwortung der Forschungshypothese H.2.2 wurden die Ergebnisse des Problemlösetests und dessen Subskalen Problemrepräsentation, Lösungsausarbeitung und Lösungsevaluation betrachtet.

Für die Gesamtergebnisse des Problemlösetests konnte für beide Gruppen ein Lernzuwachs nachgewiesen werden, der in der Interventionsgruppe höher ausfiel. Es konnte jedoch weder für den Gesamtest noch für eine der Subskalen ein signifikanter Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe nachgewiesen werden. Bei der Analyse der Testgüte erwies sich die zweite Skala zum Problemansatz als nicht ausreichend übertragbar. Im Rahmen der Auswertung der Studie stellt dies kein weiteres Problem dar, da diese Phase des Problemlöseprozesses anhand der Sortieraufgaben ausführlich untersucht wurde und der Problemlösetest ohnehin primär mit dem Ziel eingesetzt wurde, die weiteren Phasen des Problemlöseprozesses zu untersuchen. Die Güte der übrigen Skalen des Testinstruments konnte in Kombination mit der ausführlichen Auswertung in der Originalstudie (Brandenburger, 2017) als akzeptabel bewertet werden. Insbesondere

Validität und Objektivität werden in vollem Umfang erfüllt.

Aufgrund des nicht-signifikanten Testergebnisses wurde zusätzlich eine Teststärkeanalyse durchgeführt. Diese zeigt auf, welche Stichprobengröße notwendig wäre, um den gefundenen Effekt mit ausreichender Teststärke auf Signifikanz zu prüfen. Im Rahmen dieser Arbeit stellt die Stichprobengröße einen limitierenden Faktor dar, der nur eine eingeschränkte Aussagekraft für die vorliegende Forschungshypothese zulässt. Eine Vergrößerung der Stichprobe, wie im Abschnitt 12.1 erläutert, wäre nur unter Einbußen der internen Validität der Studie realisierbar gewesen. Da die Effektstärke der Intervention vor dieser Studie aufgrund weniger vergleichbarer Interventionen nur begrenzt eingeschätzt werden konnte, wurde die Möglichkeit einer Auswirkung auf den gesamten Problemlöseprozess betrachtet. Da im Rahmen der Studie einerseits Effekte für die Förderung des deklarativen Wissens über Problemschemata und für die Erarbeitung von Problemschemata nachgewiesen werden konnten und andererseits die Daten des Problemlösetests eine bessere Abschätzung einer möglichen Effektstärke für weitere Problemlösephasen erlauben, kann in weiteren Arbeiten eine gezielte Berücksichtigung der Stichprobengröße und Teststärke umgesetzt werden.

Während der ausbleibende Effekt auf die Lösungsausarbeitung und Lösungsevaluation verschiedene Erklärungshypothesen zulässt, ist der ausbleibende Effekt auf die Problemrepräsentation überraschend. Eine der grundlegenden Unterscheidungen zwischen Expert:innen und Noviz:innen ist die vielfach erwähnte Unterscheidung von Oberflächen- und Tiefenstruktur (vgl. Chi et al., 1981). Ein zentraler Ansatz bei der Konzeption des Übungskonzepts bestand darin, den Studierenden einen systematischen Zugang zur Tiefenstruktur von Aufgaben zu ermöglichen. Bei einer erfolgreichen Umsetzung dieser Idee wäre daher vor allem eine effektivere Problemrepräsentation zu erwarten, da es den Studierenden besser gelingt, von den Oberflächenmerkmalen der Aufgabe zu abstrahieren. Dies könnte ebenfalls die verbesserte Performanz bei den Ergebnissen der Sortieraufgaben erklären. Eine verbesserte Erarbeitung der Problemschemata ohne eine gleichermaßen verbesserte Problemrepräsentation wirft daher die Frage nach einer genaueren Beschreibung des Zusammenhangs der beiden Prozesse auf. Vor dem Hintergrund, dass insbesondere diese beiden Phasen des Problemlösens eine Herausforderung für Studierende darstellen (Woitkowski, 2021a), kann somit die Notwendigkeit einer weiteren Verfolgung der Fragestellung bekräftigt werden. Die Ergebnisse der Arbeit zeigen an dieser Stelle somit Fragestellungen auf, die in weiteren Arbeiten berücksichtigt werden sollten (vgl. Abschnitt 13.2.1).

12.4. Diskussion der dritten Forschungsfrage

Die dritte Forschungsfrage untersuchte die Einstellungen der Studierenden zu den zentralen Elementen der Lehrveranstaltungen. Dabei konnten zum einen die Einstellungen zu den Worked Examples und zum anderen zum Einsatz strategischer Lösungsverfahren betrachtet werden. Der für diese Untersuchung entwickelte Fragebogen konnte eine zufriedenstellende Güte nachweisen.

Hinsichtlich der Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren konnten zu keinem Zeitpunkt Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Zum Prä-Messzeitpunkt konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich der Einstellungen zu den Worked Examples beobachtet werden. Da dieser eine positivere Einstellung der Kontrollgruppe zeigte, ist der Unterschied allenfalls als nachteilig für die Interventionsgruppe zu werten, sodass eine positive Verzerrung der beobachteten Effekte an dieser Stelle auszuschließen ist. Da die Studierenden zum Prä-Messzeitpunkt zudem keine praktische Erfahrung mit den Worked Examples haben und ihre Bewertung auf Basis einer Beschreibung treffen, wird die Bewertung zum Post-Messzeitpunkt ohnehin als aussagekräftiger eingeschätzt. Zum Post-Messzeitpunkt hat eine Angleichung dieser Einstellungen stattgefunden, sodass kein signifikanter Gruppenunterschied mehr besteht. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Einstellungen der Studierenden keinen Störfaktor für die Gruppenvergleiche der Evaluation darstellen.

Darüber hinaus zeigen sich im Mittel durchweg positive Einstellungen zu beiden Elementen der Veranstaltungen. Im Rahmen dieser Forschungsfrage sollte primär der Einfluss möglicher Störeinflüsse auf die Untersuchung überprüft werden. Diese Störeinflüsse konnten aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht bestätigt werden, sodass eine zusätzliche Absicherung der internen Validität gegeben ist.

12.5. Zusammenfassung

Im Rahmen der Diskussion wurden sowohl die Stärken als auch die Grenzen der vorliegenden Arbeit dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass die vorliegende Studie insbesondere im Bereich der internen Validität hohen Anforderungen gerecht wird. Die dafür notwendige methodische Strenge wurde auf Kosten der Stichprobengröße umgesetzt, sodass Einschränkungen hinsichtlich der Generalisierbarkeit der Ergebnisse bestehen und eine Übertragbarkeit auf andere Stichproben und Teilbereiche der Physik zu prüfen bleibt. Die Diskussion der Güte der Testinstrumente zeigte darüber hinaus weitere Entwicklungsmöglichkeiten auf. Aufgrund der Einschränkungen durch die Trennschärfe der Items zum deklarativen Wissen über Problemschemata und der fehlenden Ausprägung zweier

Itemkonstellationen besteht Weiterentwicklungsbedarf für das Testinstrument. Dieser wird aufgrund der ausschließlichen Auswertungsmöglichkeit am Ende eines Semesters als sehr zeitintensiv eingeschätzt. Angesichts der Komplexität der Anforderungen an das Testinstrument wird neben der akzeptablen Reliabilität und Objektivität insbesondere die Gewährleistung der Konstruktvalidität als positiver Entwicklungsstand bewertet. Die gemessenen Effekte werden daher als aussagekräftig eingeschätzt.

Für die Sortieraufgaben wurden zum Prä-Messzeitpunkt Bodeneffekte beobachtet, die möglicherweise durch die Offenheit des Antwortformats erklärt werden können. Die Diskussion der Ergebnisse legt nahe, dass eine stärkere qualitative Untersuchung der Problemschemata der Studienanfänger:innen von Interesse ist. In diesem Zusammenhang sind Folgearbeiten denkbar, die sich stärker auf die Wissensstruktur zu diesem Zeitpunkt konzentrieren.

Die Ergebnisse des Problemlösetests konnten im Rahmen der vorliegenden Studie nur als begrenzt aussagekräftig bewertet werden. Zusammen mit den Ergebnissen der ersten beiden Forschungshypothesen können die Ergebnisse der Post-hoc-Analyse genutzt werden, um für weiterführende Arbeiten eine Abschätzung entsprechender Effektstärken zu ermöglichen, sodass eine gezielte Berücksichtigung von Teststärke und Stichprobengröße möglich ist.

Darüber hinaus ergeben sich aus dem ausbleibenden Gruppenunterschied hinsichtlich der Problemrepräsentation weitere Fragen, die insbesondere den Zusammenhang mit der Erarbeitung der Problemschemata betreffen und im Rahmen weiterführender Arbeiten geklärt werden müssen. Letztlich konnte ein Störeinfluss durch ablehnende Einstellungen der Studierenden gegenüber den eingesetzten Interventionselementen ausgeschlossen werden.

13. Ausblick

In diesem Abschnitt sollen die diskutierten Ergebnisse der Studie in den Kontext der (universitären) Physiklehre und weiterer Forschungsperspektiven eingeordnet werden, um mögliche Konsequenzen für Praxis und Forschung aufzuzeigen.

13.1. Konsequenzen für die (universitäre) Lehre

Die Ergebnisse der Studie können als Anlass gesehen werden, die explizite Vermittlung von Problemschemata und Problemlösestrategien in der Physiklehre zu priorisieren. Die Relevanz dieser Wissenszusammenhänge und Kompetenzen für erfolgreiches wissenszentriertes Problemlösen in der Physik konnte bereits in anderen Forschungsarbeiten gezeigt werden (z. B. Friege, 2001; Woitkowski, 2021a). Während sich bisherige Beschreibungen der Entwicklung von Problemschemata auf die Bearbeitung einer hinreichenden Anzahl von Beispielaufgaben beziehen (z. B. Friege, 2001), kann in dieser Arbeit gezeigt werden, dass die explizite Vermittlung dieser Zusammenhänge möglich ist. Vor dem Hintergrund, dass die klassische Bearbeitung von Beispielproblemen hohe zeitliche und motivationale Anforderungen an die Lernenden stellt, ist der Einsatz ähnlicher Strategietrainings eine attraktive Alternative zu klassischen Übungskonzepten.

Eine Optimierung dieses Prozesses stellt insbesondere im Kontext der Studieneingangsphase ein wichtiges Vorhaben dar, da die hohen Studienabbruchquoten sowohl in den Naturwissenschaften als auch in den Ingenieurwissenschaften, in denen jeweils vergleichbare Übungsveranstaltungen durchgeführt werden, ein anhaltendes Problem darstellen (Heublein et al., 2022). Aus diesem Grund kann eine Anpassung des Lehrformats an die vorgestellten Merkmale des Strategietrainings dazu beitragen, dass Studierende schneller die notwendigen Voraussetzungen für erfolgreiches Problemlösen erwerben.

Die Arbeit konnte zeigen, dass sowohl das deklarative Wissen über Problemschemata als auch die Erarbeitung von Problemschemata durch dieses Format gefördert werden kann. Dies kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass eine Beschleunigung des Expertiseerwerbs möglich und durch die Lehre direkt beeinflussbar ist.

Da die Struktur eines Studiums die Studierenden bereits nach wenigen Monaten vor die ersten Prüfungen stellt, ist eine Straffung dieses Prozesses von großer Bedeutung für den Studienerfolg. Bisherige Arbeiten konnten zeigen, dass auch am Ende des ersten Semesters häufig noch unzureichende Problemlösefähigkeiten bei den Studierenden vorhanden sind

(Woitkowski, 2021a), sodass die Hoffnung besteht, dass eine Unterstützung durch das beschriebene Lehrkonzept auch eine Verbesserung für den Studienerfolg bedeuten kann. Auch wenn eine direkte Auswirkung auf den Prüfungserfolg der Studierenden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht wurde, kann die Förderung von Teilkompetenzen, die als Voraussetzung für erfolgreiches Problemlösen gelten, als bedeutsam angesehen werden. Eine weitere Vertiefung des Projekts, die den Einfluss des Lehrkonzepts auf den weiteren Studienerfolg in den Blick nimmt, stellt somit ein anschließendes Forschungsziel dar. Zu diesem Zweck sollte die Langfristigkeit des Expertiseerwerbs stärker berücksichtigt werden, sodass eine Begleitung über mehr als ein Semester erstrebenswert ist.

13.2. Weiterentwicklung des Übungskonzepts

Neben der Bestätigung der Förderlichkeit des Übungskonzepts für den Expertiseerwerb werfen die Ergebnisse der Studie weitere Fragen auf, die durch anschließende Forschungsarbeiten adressiert werden sollten. Während die Ergebnisse zum deklarativen Wissen über Problemschemata sehr deutlich eine Überlegenheit des Übungskonzepts gegenüber klassischen Formaten zeigen konnten, sind die Ergebnisse zu den einzelnen Phasen des Problemlösens weniger eindeutig zu interpretieren. Es werden daher konkrete Vertiefungsmöglichkeiten aufgezeigt, die eine Weiterentwicklung des Konzepts auf der Basis weiterer Untersuchungen ermöglichen.

13.2.1. Auswahl und Erarbeitung von Problemschemata

Die Daten der Sortieraufgaben geben Anlass, einerseits eine Weiterentwicklung des Testformats anzustreben, die auch zu Beginn des Studiums eine aussagekräftige Differenzierung der Fähigkeiten der Studierenden ermöglicht und andererseits den Prozess der Erarbeitung von Problemschemata stärker in den Blick zu nehmen. Eine Konsequenz sollte eine striktere Trennung für die zweite Phase des Problemlösens sein. Je nach Expertisegrad findet die Auswahl oder die Erarbeitung eines Problemschemas statt. Dabei wurde im Kontext des Expert:innen-Noviz:innen-Vergleichs darauf hingewiesen, dass die Erarbeitung eines Problemschemas fehleranfälliger ist als dessen bloße Auswahl (Friege, 2001). In der vorliegenden Arbeit wurde das Format der Sortieraufgaben dahingehend angepasst, dass ein offenes Aufgabenformat für die Angabe des Problemschemas gewählt wurde. Dies führt jedoch gerade zu Beginn des Studiums dazu, dass aufgrund fehlender Problemschemata eher eine Erarbeitung als eine Auswahl von Problemschemata erfolgen muss. Dieser Anspruch erwies sich für die vorliegende Stichprobe als zu hoch, da kaum Antworten gegeben wurden, die dem intendierten Format entsprachen. Zudem ist unklar, ob das Konzept einer solchen Klassifikation von Lösungsansätzen zu diesem Zeitpunkt ausreichend verstanden wird, um eine formatgerechte Beantwortung zu ermög-

lichen. Daher sind verschiedene Variationen des Testformats denkbar, die eine genauere Untersuchung des beobachteten Phänomens ermöglichen. Um ein genaueres Bild von Studierenden mit geringer Expertise zu erhalten, ist als mögliches Testformat denkbar, dass zunächst nur die Auswahl eines geeigneten Problemschemas zu einer vorgegebenen Aufgabe getestet wird. Ein entsprechendes Instrument müsste demnach ein geschlossenes Format aufweisen, bei dem bereits Problemschemata vorgegeben werden, aus denen ausgewählt werden muss. Auf diese Weise könnte zum einen der Aspekt des Sortierens umgangen werden, dessen relationaler Charakter zwischen den Aufgaben hier als kritisch eingeschätzt wurde, und zum anderen das offene Aufgabenformat ersetzt werden, das die Studierenden vor die Schwierigkeit stellt, dass sie zu Beginn ihres Studiums unter Umständen noch kein Konzept von Problemschemata haben. Darüber hinaus ist der Einsatz eines Formats, das eine nähere qualitative Untersuchung der Wissensstrukturen der Studienanfänger:innen zulässt, ebenfalls von Interesse.

Die Ergebnisse der Studie konnten zeigen, dass eine verbesserte Angabe geeigneter Problemschemata durch das Übungskonzept erreicht werden konnte. Gleichzeitig konnten weder für den gesamten Problemlöseprozess noch für weitere Phasen des Prozesses signifikante Unterschiede beobachtet werden. Es ist daher von Interesse, die Interaktion des Übungskonzepts mit den einzelnen Phasen des Problemlöseprozesses genauer zu untersuchen, um eine Optimierung des Konzepts zu erreichen. Da bereits eine Interaktion bei der Erarbeitung von Problemschemata, nicht aber bei der Repräsentation von Problemen beobachtet werden konnte, erscheint eine Fokussierung auf diese beiden Phasen und deren Interaktion lohnenswert. Dies wird dadurch bestärkt, dass diese Phasen gleichzeitig auch die fehleranfälligsten sind (vgl. Woitkowski, 2021a). Hierzu bietet sich eine qualitative Untersuchung an, bei der z. B. ein Fokus auf die im Rahmen des Strategietrainings eingeübten Argumentationszusammenhänge untersucht wird.

13.2.2. Heuristisches Vorgehen

Ein weiterer Ansatz, die Wirkung des Übungskonzepts auf andere Phasen des Problemlöseprozesses zu erweitern, könnte durch eine genauere Betrachtung der verwendeten Heuristiken umgesetzt werden. Die Erarbeitung der Heuristiken wurde durchgeführt, um den Transfer der erworbenen Problemschemata zu fördern und die Entstehung von tragem Wissen zu vermeiden. Eine weitere Möglichkeit zur Förderung der Performanz beim Problemlösen könnte daher durch eine gezielte Untersuchung der Transferfähigkeit der erlernten Problemschemata adressiert werden. Da die Heuristiken das Ziel der Generalisierung verfolgen, ist der Anspruch als entsprechend höher und damit weiter fortgeschritten im Rahmen des Expertiseerwerbs einzuschätzen. Aus diesem Grund sollte für eine entsprechende Untersuchung ein größerer Zeitrahmen als in der vorliegenden Arbeit vorausgesetzt werden.

13.2.3. Prozessfokussierung durch maschinelles Lernen

Neben der Vertiefung bestehender Elemente des Konzepts, wie z. B. der verwendeten Sortieraufgaben oder Heuristiken, ist auch eine Weiterentwicklung des Konzepts durch eine grundlegende methodische Erweiterung denkbar. Um das Übungskonzept weiter an die Voraussetzungen der Studierenden anzupassen, ist ein Einblick in die Interaktion des Konzepts mit den einzelnen Phasen des Problemlösens erstrebenswert. Eine stärkere Berücksichtigung des Lernprozesses im Gegensatz zu einem reinen Prä-Post-Vergleich könnte dabei wichtige qualitative Erkenntnisse über den Problemlöseprozess der Studierenden bereitstellen. Vor diesem Hintergrund würde eine lernbegleitende Beobachtung genauere Erkenntnisse über die Effekte des Strategietrainings ermöglichen.

Eine Kombination des bestehenden Konzepts mit einer digitalisierten Umsetzung der Übungsaufgaben könnte daher eine vielversprechende Grundlage zur Untersuchung dieser Wechselwirkung darstellen. Der Einsatz von Methoden des maschinellen Lernens stellt einen neuen Forschungszweig in der Naturwissenschaftsdidaktik dar, der Möglichkeiten für die Auswertung entsprechender Daten darstellen könnte (vgl. Waight & Neumann, 2020). So ist z. B. der Einsatz von Chatbot-Programmen, die promptbasiert mit dem Nutzer interagieren, eine Methode, die auch für den Einsatz im Sinne eines Strategietrainings in Frage kommt. Durch den verstärkten Einsatz von individuellem und unmittelbarem Feedback würde dieser Ansatz somit die Kriterien des Deliberate Practice erfüllen, welches als effektivste Form des Expertiseerwerbs gilt (vgl. Ericsson & Harwell, 2019) und aufgrund der starken Individualisierung durch das erprobte Lehrkonzept nicht vollständig gewährleistet werden konnte.

Sofern eine Umsetzung der Prinzipien des Strategietrainings in ein solches Format überführt werden könnte, könnte ein direktes Feedback auf die Interaktion mit den einzelnen Prompts berücksichtigt werden, sodass eine deutlich höhere Detailorientierung dieser Interaktionsprozesse möglich wäre. Darüber hinaus wäre eine Implementierung der im Rahmen der Arbeit entwickelten Worked Examples denkbar, die vor dem Hintergrund praktischer Ressourcen (wie z. B. Korrekturzeiten) in der vorliegenden Form nicht beliebig skalierbar eingesetzt werden können. Eine digitale Umsetzung, die automatisiert ein individuelles Feedback erstellt, wäre in diesem Zuge ebenfalls zu berücksichtigen. Als wesentliche Hürde derartiger Methoden ist zu erwähnen, dass eine ausreichend große Datenbasis ein entscheidendes Kriterium für eine sinnvolle Umsetzung darstellt (vgl. Alwosheel, van Cranenburgh & Chorus, 2018). Eine entsprechende Weiterentwicklung des Konzepts stellt somit gleichzeitig den vielversprechendsten Weg weiterführender Forschung dar, während die Anforderungen gleichermaßen hoch einzuschätzen sind.

14. Zusammenfassung

Zusammenfassung

Das Bearbeiten von Problemen hat eine zentrale Rolle beim Physiklernen (vgl. Fischer & Draxler, 2007). Dennoch zeigen sich bei Lernenden häufig Defizite in der Problemlösekompetenz (vgl. Woitkowski, 2021a). Diese setzen sich in der Regel in den ersten Semestern des Studiums fort (vgl. ebd.). Eine wichtige Ressource für erfolgreiches Problemlösen stellen Problemschemata dar, die in der Lehre meist nur implizit thematisiert werden (vgl. Woitkowski, 2020a). Zusammen mit den hohen Studienabbruchquoten in natur- und ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen (vgl. Heublein et al., 2022) ergibt sich daraus das Ziel, diesen Prozess zu unterstützen. Da die Physikübung üblicherweise das Lehrformat in der universitären Lehre darstellt, in dem Probleme bearbeitet und diskutiert werden (vgl. Haak, 2016), bietet sie einen naheliegenden Ansatzpunkt für eine mögliche Intervention. Der Bereich der Expertiseforschung widmet sich genau dieser Beschreibung erfolgreichen wissenszentrierten Problemlösens (vgl. Gruber et al., 2019). In der vorliegenden Arbeit wurde ein Physikübungskonzept entwickelt und evaluiert, das sich an diesen Erkenntnissen der Expertiseforschung zum erfolgreichen Problemlösen orientiert. Da die Unterscheidung zwischen Oberflächen- und Tiefenstruktur eines Problems eine wesentliche Kompetenz von Expert:innen darstellt (vgl. Chi et al., 1981), wurde eine Aufgabenanalyse durchgeführt, die eine direkte Steuerung der Problemstruktur ermöglicht. Für das Lernmaterial werden zudem Worked Examples eingesetzt, deren förderliche Funktion für das Problemlösen bereits etabliert ist (vgl. Wittwer & Renkl, 2010). Als zentrale Intervention wurde ein Strategietraining konzipiert, das auf der Vermittlung von Problemlösestrategien und dem Aufbau von Problemschemata basiert. Es konnte sowohl ein Zuwachs an deklarativem Wissen über Problemschemata als auch eine verbesserte Auswahl bzw. Erarbeitung von Problemschemata festgestellt werden. Für die anderen Phasen des Problemlösens konnten keine signifikanten Effekte nachgewiesen werden. Störeinflüsse durch andere Prädiktoren wie Fachwissen oder Selbstkonzept konnten ausgeschlossen werden. Auch eine ablehnende Haltung der Studierenden gegenüber dem Lernsetting, die die Effekte hätte verzerren können, konnte nicht beobachtet werden.

Abstract

Problem solving plays a crucial role in learning physics (ref. Fischer & Draxler, 2007). Nevertheless, learners often show deficits in problem solving skills (ref. Woitkowski, 2021a). These usually persist in the first semesters of a degree programme (cf. *ibid.*). An important resource for successful problem solving are problem schemes, which are usually only implicitly addressed in teaching (ref. Woitkowski, 2020a). In combination with the high drop-out rates in science and engineering degree programmes (cf. Heublein et al., 2022), this leads to the goal of supporting this process. As the physics tutorial is usually the teaching format in university teaching in which problems are worked on and discussed (ref. Haak, 2016), it offers an obvious starting point for a possible intervention. The field of expertise research is dedicated to precisely this description of successful knowledge-centred problem solving (ref. Gruber et al., 2019).

In the present study, a concept for a physics tutorial was developed and evaluated based on these findings from expertise research on successful problem solving. Since the distinction between the surface and deep structure of a problem is an essential competence of experts (cf. Chi et al., 1981), a task analysis was performed that enables direct control of the problem structure. Worked examples are also used for the learning material, which already have an established beneficial effect on problem solving (cf. Wittwer & Renkl, 2010).

A strategy training programme based on the teaching of problem solving strategies and the development of problem schemes was designed as the key intervention. Both an increase in declarative knowledge about problem schemes and an improved selection and development of problem schemes were observed. No significant effects were found for the other phases of problem solving. Interference from other predictors such as subject knowledge or self-concept could be excluded. A negative attitude of the students towards the learning setting, which could have distorted the effects, was also not observed.

Literaturverzeichnis

- Ackerman, P. L. (1992). Predicting individual differences in complex skill acquisition: Dynamics of ability determinants. *Journal of Applied Psychology*, 77 (5), 598–614. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.77.5.598>
- Alwosheel, A., van Cranenburgh, S. & Chorus, C. G. (2018). Is your dataset big enough? Sample size requirements when using artificial neural networks for discrete choice analysis. *Journal of Choice Modelling*, 28, 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.jocm.2018.07.002>
- Anderson, J. R. (1976). *Language, Memory, and Thought*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc. <https://doi.org/10.4324/9780203780954>
- Anderson, J. R. (1983). *The Architecture of Cognition*. Harvard College.
- Anderson, J. R. (1996). ACT: A Simple Theory of Complex Cognition. *American Psychologist*, 51 (4), 355–365. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.51.4.355>
- Anderson, J. R. & Schunn, C. D. (2000). Implications of the ACT-R Learning Theory: No Magic Bullets. In R. Glaser (Hrsg.), *Advances in Instructional Psychology* (Bd. 5, S. 1–27). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from Examples: Instructional Principles from the Worked Examples Research. *Review of Educational Research*, 70 (2), 181–214. <https://doi.org/10.3102/00346543070002181>
- Atkinson, R. K., Renkl, A. & Merrill, M. M. (2003). Transitioning From Studying Examples to Solving Problems: Effects of Self-Explanation Prompts and Fading Worked-Out Steps. *Journal of Educational Psychology*, 95 (4), 774–783. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.4.774>
- Bauer, A. B., Lahme, S., Woitkowski, D., Vogelsang, C. & Reinhold, P. (2019). PSΦ: Forschungsprogramm zur Studieneingangsphase im Physikstudium. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*, 53–60. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/934>
- Bergmann, J. & Sams, A. (2014). *Flipped Learning: Gateway to Student Engagement*. International Society for Technology in Education.
- Bernholt, S. (2010). *Kompetenzmodellierung in der Chemie: Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität*. Logos-Verlag.
- Berthold, K. & Renkl, A. (2009). Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple representations. *Journal of Educational Psychology*, 101 (1), 70–87. <https://doi.org/10.1037/a0013247>
- Binder, T. (2021). *Typen von fachspezifischem Wissen und Studienerfolg im Anfangsstudium Biologie und Physik* (Dissertation). <https://doi.org/10.17185/DUEPUBLICO/74285>
- Binder, T., Sandmann, A., Sures, B., Friege, G., Theyßen, H. & Schmiemann, P. (2019).

- Assessing prior knowledge types as predictors of academic achievement in the introductory phase of biology and physics study programmes using logistic regression. *International Journal of STEM Education*, 6 (33). <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0189-9>
- Binder, T., Schmiemann, P. & Theyßen, H. (2019). Erfassung von fachspezifischen Problemlöseprozessen mit Sortieraufgaben in Biologie und Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25, 25–42. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00090-x>
- Blanz, M. (2021). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit: Grundlagen und Anwendungen* (2. Aufl.). Kohlhammer Verlag. <https://doi.org/10.17433/978-3-17-039819-1>
- Brandenburger, M. (2017). *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden*. Logos-Verlag. <http://doi.org/10.5281/zenodo.437756>
- Brandenburger, M. (2021). *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?* <https://osf.io/s9kpd>
- Chandler, P. & Sweller, J. (1992). The Split-Attention Effect as a Factor in the Design of Instruction. *British Journal of Educational Psychology*, 62 (2), 233–246. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1992.tb01017.x>
- Chase, W. G. & Ericsson, K. A. (1982). Skill and Working Memory. In G. H. Bower (Hrsg.), *Psychology of Learning and Motivation* (S. 1–58). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60546-0](https://doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60546-0)
- Chase, W. G. & Simon, H. A. (1973a). The Mind's Eye in Chess. In W. G. Chase (Hrsg.), *Visual Information Processing. Proceedings of the Eighth Annual Carnegie Symposium on Cognition, Held at the Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, May 19, 1972* (S. 215–281). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-170150-5.50011-1>
- Chase, W. G. & Simon, H. A. (1973b). Perception in Chess. *Cognitive Psychology*, 4 (1), 55–81. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90004-2)
- Chi, M., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, G. (1989). Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems. *Cognitive Science*, 13 (2), 145–182. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1302_1
- Chi, M., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science*, 5 (2), 121–152. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0502_2
- Cook, T. D. & Campbell, D. T. (1976). The design and conduct of true experiments and quasi-experiments in field settings. In M. D. Dunnette (Hrsg.), *Handbook of industrial and organizational psychology* (S. 223–326). Rand McNally.

- Cook, T. D. & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation: Design and analysis issues for field settings*. Rand McNally.
- Csapó, B. & Funke, J. (Hrsg.). (2017). *The Nature of Problem Solving: Using Research to Inspire 21st Century Learning*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264273955-en>
- de Groot, A. (2014). *Thought and Choice in Chess* (2. Aufl.). De Gruyter Mouton. <https://doi.org/10.1515/9783110800647>
- de Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. (1996). Types and Qualities of Knowledge. *Educational Psychologist*, 31 (2), 105–113. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3102_2
- Delacre, M., Lakens, D. & Leys, C. (2017). Why Psychologists Should by Default Use Welch's t-test Instead of Student's t-test. *International Review of Social Psychology*, 30 (1), 92–101. <https://doi.org/10.5334/irsp.82>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Dorschu, A. (2013). *Die Wirkung von Kontexten in Physikkompetenztestaufgaben*. Logos-Verlag.
- Dörner, D. (1987). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (3. Aufl.). Kohlhammer Verlag.
- Dörner, D. & Funke, J. (2017). Complex Problem Solving: What It Is and What It Is Not. *Frontiers in Psychology*, 8, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01153>
- Ericsson, K. A. (2018). An Introduction to the Second Edition of The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance: Its Development, Organization, and Content. In K. A. Ericsson, R. R. Hoffman, A. Kozbelt & A. M. Williams (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (2. Aufl., S. 3–20). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316480748.001>
- Ericsson, K. A. & Crutcher, R. J. (2014). The Nature of Exceptional Performance. In P. B. Baltes, D. L. Featherman & R. M. Lerner (Hrsg.), *Life-Span Development and Behavior* (2. Aufl., Bd. 10, S. 187–217). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315807584-13>
- Ericsson, K. A. & Harwell, K. W. (2019). Deliberate Practice and Proposed Limits on the Effects of Practice on the Acquisition of Expert Performance: Why the Original Definition Matters and Recommendations for Future Research. *Frontiers in Psychology*, 10, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02396>
- Ericsson, K. A. & Kintsch, W. (1995). Long-Term Working Memory. *Psychological Review*, 102 (2), 211–245. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.102.2.211>
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T. & Tesch-Römer, C. (1993). The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance. *Psychological Review*, 100 (3),

- 363–406. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.100.3.363>
- Ericsson, K. A. & Pool, R. (2016). *Peak*. Houghton Mifflin Harcourt.
- Ericsson, K. A. & Smith, J. (1991). *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits*. Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A. & Staszewski, J. (1989). Skilled memory and expertise: Mechanisms of exceptional performance. In D. Klahr & K. Kotovsky (Hrsg.), *Complex information processing* (S. 235–267). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Feltovich, P. J., Prietula, M. J. & Ericsson, K. A. (2018). Studies of Expertise from Psychological Perspectives: Historical Foundations and Recurrent Themes. In K. A. Ericsson, R. R. Hoffman, A. Kozbelt & A. M. Williams (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (2. Aufl., S. 59–83). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316480748.006>
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (3. Aufl.). SAGE Publications Ltd.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (4. Aufl.). SAGE Publications Ltd.
- Fischer, H. E. & Draxler, D. (2007). Konstruktion und Bewertung von Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 639–655). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-34091-1_21
- Fischer, H. E. & Krabbe, H. (2015). Empirische Forschung in der Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (3. Aufl., S. 727–757). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_25
- Fleischer, J., Buchwald, F., Leutner, D., Wirth, J. & Rumann, S. (2017). Analytical problem solving: Potentials and manifestations. In B. Csapó & J. Funke (Hrsg.), *The Nature of Problem Solving* (S. 33–46). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264273955-4-en>
- Frensch, P. A. & Funke, J. (1995). *Complex Problem Solving: The European Perspective*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Logos-Verlag.
- Friege, G. & Lind, G. (2003). Allgemeine und fachspezifische Problemlösekompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 9 (1), 63–74.
- Friege, G. & Lind, G. (2006). Types and qualities of knowledge and their relations to problem solving in physics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4, 437–465. <https://doi.org/10.1007/s10763-005-9013-8>
- Fritz, A. & Funke, J. (2002). Planen und Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenzen. *Lernchancen*, 5 (25), 6–14. <https://doi.org/10.11588/heidok.00008237>

- Funke, J. (1986). *Komplexes Problemlösen: Bestandsaufnahme und Perspektiven*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-70994-4>
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Kohlhammer Verlag.
- Funke, J. (2012). Complex Problem Solving. In N. M. Seel (Hrsg.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (S. 682–685). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_685
- Funke, J. & Zumbach, J. (2006). Problemlösen. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 206–220). Hogrefe Verlag GmbH & Company KG.
- Gleichmann, C. & Beuche, K. (o.J.). *Pittys Physikseite*. https://physikaufgaben.de/aufgaben_zeige_an.php?nummer=135
- Gobet, F. (1996). Expertise und Gedächtnis. In H. Gruber & A. Ziegler (Hrsg.), *Expertiseforschung* (S. 58–79). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-663-12111-4_4
- Gruber, H. (1994). *Expertise: Modelle und empirische Untersuchungen*. Westdeutscher Verlag.
- Gruber, H., Scheumann, M. & Krauss, S. (2019). Problemlösen und Expertiseerwerb. In D. Urhahne, M. Dresel & F. Fischer (Hrsg.), *Psychologie für den Lehrberuf* (S. 53–65). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55754-9_3
- Gruber, H. & Stamouli, E. (2020). Intelligenz und Vorwissen. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (3. Aufl., S. 25–44). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61403-7_2
- Haak, I. (2016). Was macht eine gute Übung aus? Ein Vergleich von Vorstellungen zum physikalischen Übungsbetrieb. *die hochschullehre*, 2, 1–25.
- Haak, I. (2017). *Maßnahmen zur Unterstützung kognitiver und metakognitiver Prozesse in der Studieneingangsphase: Eine Design-Based-Research-Studie zum universitären Lernzentrum Physiktreff*. Logos-Verlag.
- Haak, I. & Reinhold, P. (2015). Physikstudierende individuell fördern: Evaluation eines Lernzentrums. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014* (S. 274–276). IPN.
- Habig, S., van Vorst, H. & Sumfleth, E. (2017). Kontexte und ihre Wirkung auf das Interesse von Jungen und Mädchen. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016* (S. 178–181). Universität Regensburg.
- Hailikari, T., Nevgi, A. & Lindblom-Ylänne, S. (2007). Exploring alternative ways of assessing prior knowledge, its components and their relation to student achievement: A mathematics based case study. *Studies in Educational Evaluation*, 33 (3–4),

- 320–337. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2007.07.007>
- Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland* (Bd. 5; DZHW Brief). Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW). https://doi.org/10.34878/2022.05.dzhw_brief
- Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D. & Besuch, G. (2010). *Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen. Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von Exmatrikulierten des Studienjahres 2007/08.* (HIS: Projektbericht). Hochschul-Informationssystem GmbH.
- Heublein, U., Richter, J., Schmelzer, R. & Sommer, D. (2014). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen: Statistische Berechnungen auf der Basis des Absolventenjahrgangs 2012* (Bd. 4; Forum Hochschule). Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW).
- Heublein, U. & Schmelzer, R. (2018). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen: Berechnungen auf Basis des Absolventenjahrgangs 2016* (DZHW-Projektbericht). Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW).
- Heublein, U., Schmelzer, R., Sommer, D. & Wank, J. (2008). *Die Entwicklung der Schwund- und Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. Statistische Berechnungen auf der Basis des Absolventenjahrgangs 2006* (HIS: Projektbericht). Hochschul-Informationssystem GmbH.
- Hinsley, D. A., Hayes, J. R. & Simon, H. A. (1977). From words to equations meaning and representation in algebra word problems. In M. A. Just & P. A. Carpenter (Hrsg.), *Cognitive processes in comprehension* (S. 89 – 105). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Jekel, N. (2013). Speed Reading. In A. Beyer & B. Rathje (Hrsg.), *Methodik für Wirtschaftswissenschaftler: Neue Lehr- und Prüfmethode für die Praxis* (S. 113–124). Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Jonassen, D. H. (2012a). Problem Solving. In N. M. Seel (Hrsg.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (S. 2680–2683). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_208
- Jonassen, D. H. (2012b). Problem Typology. In N. M. Seel (Hrsg.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (S. 2683–2686). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_209
- Kauertz, A. (2008). *Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben.* Logos-Verlag.
- Kauertz, A., Löffler, P. & Fischer, H. E. (2015). Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (3. Aufl., S. 451–475). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_14

- Kircher, E. & Girwidz, R. (2020). Ziele und Kompetenzen im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik – Grundlagen* (4. Aufl., S. 79–115). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_3
- Kopp, B. & Mandl, H. (2006). Wissensschemata. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 127–134). Hogrefe Verlag GmbH & Company KG.
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, *33* (1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Larkin, J. H. (2014). The Role of Problem Representation in Physics. In D. Gentner & A. L. Stevens (Hrsg.), *Mental Models* (2. Aufl., S. 75–98). Psychology Press.
- Lenhard, W. & Lenhard, A. (2011). *Berechnung des Lesbarkeitsindex LIX nach Björnson*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1512.3447>
- 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. <https://doi.org/10.1026/0033-3042/a000108>
- Mack, W. (1996). Expertise und Intelligenz. In H. Gruber & A. Ziegler (Hrsg.), *Expertiseforschung* (S. 92–114). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-663-12111-4_6
- 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. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Moreno, R. (2006). When worked examples don't work: Is cognitive load theory at an Impasse? *Learning and Instruction*, *16* (2), 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.02.006>
- Moreno, R. & Park, B. (2010). Cognitive Load Theory: Historical Development and Relation to Other Theories. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), *Cognitive Load Theory* (S. 9–28). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511844744.003>
- Müller, J. (2019). *Studienerfolg in der Physik: Zusammenhang Zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*. Logos-Verlag.
- Müller, J., Stender, A., Fleischer, J., Borowski, A., Dammann, E., Lang, M. & Fischer, H. E. (2018). Mathematisches Wissen von Studienanfängern und Studienerfolg. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *24*, 183–199. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0082-y>
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Prentice-Hall.
- OECD. (2005). *Problem Solving for Tomorrow's World: First Measures of Cross-Curricular Competencies from PISA 2003*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264006430-en>

- Paas, F. G. W. C. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, *84* (4), 429–434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>
- Paas, F. G. W. C., Renkl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychologist*, *38* (1), 1–4. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3801_1
- Plass, J. L., Moreno, R. & Brünken, R. (2010). Introduction. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), *Cognitive Load Theory* (S. 1–5). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511844744.002>
- Plicht, K. (2023). *Dokumentation: Strategietraining - Physikübung*. <https://osf.io/452z8>
- Plicht, K., Härtig, H. & Dorschu, A. (2020). Teaching Problem Solving Skills by Strategy Trainings in Physics. In J. van der Veen, N. van Hattum-Janssen, H.-M. Järvinen, T. de Laet & I. ten Dam (Hrsg.), *Engaging Engineering Education: SEFI 48th Annual Conference Proceedings* (S. 1043–1052). European Society for Engineering Education SEFI.
- Plicht, K., Härtig, H. & Dorschu, A. (2021). Aufgabenanalyse und Worked-Examples als Basis eines Strategietrainings. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020* (S. 453–456). Universität Duisburg-Essen.
- Plicht, K., Härtig, H. & Dorschu, A. (2022). Operationalisierung und Evaluation von Problemschemata in der Mechanik. In S. Habig & H. van Vorst (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Virtuelle Jahrestagung 2021* (S. 340–343). Universität Duisburg-Essen.
- Redish, E. F. (2006). Problem Solving and the Use of Math in Physics Courses. *arXiv preprint*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.physics/0608268>
- Redish, E. F. (2021). Using Math in Physics: Overview. *The Physics Teacher*, *59* (5), 314–318. <https://doi.org/10.1119/5.0021129>
- Reif, F. & Allen, S. (1992). Cognition for Interpreting Scientific Concepts: A Study of Acceleration. *Cognition and Instruction*, *9* (1), 1–44. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0901_1
- Reinhold, P., Lind, G. & Friege, G. (1999). Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *5* (1), 41–62.
- Renkl, A. (1997). Learning from Worked-Out Examples: A Study on Individual Differences. *Cognitive Science*, *21* (1), 1–29. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2101_1
- Renkl, A. (2017). Learning from worked-examples in mathematics: students relate procedures to principles. *ZDM Mathematics Education*, *49*, 571–584.

- <https://doi.org/10.1007/s11858-017-0859-3>
- Renkl, A. & Atkinson, R. K. (2010). Learning from Worked-Out Examples and Problem Solving. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), *Cognitive Load Theory* (S. 91–108). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511844744.007>
- Renkl, A., Mandl, H. & Gruber, H. (1996). Inert Knowledge: Analyses and Remedies. *Educational Psychologist*, 31 (2), 115–121. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3102_3
- Rumelhart, D. E. (1980). Schemata: The Building Blocks of Cognition. In R. J. Spiro, B. C. Bruce & W. F. Brewer (Hrsg.), *Theoretical Issues in Reading Comprehension: Perspectives from Cognitive Psychology, Linguistics, Artificial Intelligence and Education* (S. 33–58). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315107493-4>
- Savelsbergh, E. R. (1998). *Improving Mental Representations in Physics Problem Solving* (PhD Thesis). University of Twente.
- Savelsbergh, E. R., de Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1997). *The importance of an enhanced problem representation: On the role of elaborations in physics problem solving* (Report Nr. IST-MEMO-97-04). University of Twente.
- Schoppmeier, F., Borowski, A. & Fischer, H. E. (2012). Mathematische Bereiche in Leistungskursklausuren. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1 (11), 28–40.
- Schultz, K. & Lochhead, J. (1988). Toward a Unified Theory of Problem Solving: A View from Physics. In *Annual Meeting of the American Educational Research Association (AERA) in New Orleans 1988*.
- Smith, M. U. (1990). *Toward a Unified Theory of Problem Solving: Views From the Content Domains*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203052334>
- Sorge, S., Petersen, S. & Neumann, K. (2016). Die Bedeutung der Studierfähigkeit für den Studienerfolg im 1. Semester in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22 (1), 165–180. <https://doi.org/10.25656/01:12685>
- Spearman, C. (1904). “General Intelligence,” Objectively Determined and Measured. *The American Journal of Psychology*, 15 (2), 201–292. <https://doi.org/10.2307/1412107>
- Spinath, B., Stiensmeier-Pelster, J., Schöne, C. & Dickhäuser, O. (2002). *Skalen zur Erfassung der Lern- und Leistungsmotivation: SELLMO*. Hogrefe Verlag GmbH & Company KG.
- Stawitz, H. C. (2010). *Auswirkung unterschiedlicher Aufgabenprofile auf die Schülerleistung: Vergleich von Naturwissenschafts- und Problemlöseaufgaben der PISA 2003-Studie*. Logos-Verlag.
- Stern, W. (1912). *Die psychologischen Methoden der Intelligenzprüfung und deren*

- Anwendung an Schulkindern.* J. A. Barth.
- Sternberg, R. J. (1995). Expertise in Complex Problem Solving: A Comparison of Alternative Conceptions. In P. A. Frensch & J. Funke (Hrsg.), *Complex Problem Solving: The European Perspective* (S. 295–321). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Stumpf, E. & Perleth, C. (2019). Intelligenz, Kreativität und Begabung. In D. Urhahne, M. Dresel & F. Fischer (Hrsg.), *Psychologie für den Lehrberuf* (S. 165–184). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55754-9_9
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12 (2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), *Cognitive Load Theory* (S. 29–47). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511844744.004>
- Sweller, J., Chandler, P., Tierney, P. & Cooper, M. (1990). Cognitive load as a factor in the structuring of technical material. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119 (2), 176–192. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.119.2.176>
- Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985). The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. *Cognition and Instruction*, 2 (1), 59–89. https://doi.org/10.1207/s1532690xc0201_3
- Sweller, J., Mawer, R. F. & Ward, M. R. (1983). Development of expertise in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112 (4), 639–661. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.112.4.639>
- Taconis, R., Ferguson-Hessler, M. & Broekkamp, H. (2001). Teaching Science Problem Solving: An Overview of Experimental Work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38 (4), 442–468. <https://doi.org/10.1002/tea.1013>
- Thorndike, E. L. (1921). *The psychology of learning, Vol. II*. Teachers College, Columbia University.
- Tropper, N. (2019). *Strategisches Modellieren durch heuristische Lösungsbeispiele: Untersuchungen von Lösungsprozeduren und Strategiewissen zum mathematischen Modellierungsprozess*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-24992-2>
- Tuminaro, J. & Redish, E. F. (2005). *Students' Use of Mathematics in the Context of Physics Problem Solving: A Cognitive Model*. U. of Maryland preprint. <https://www.physics.umd.edu/perg/papers/redish/T&Rpre.pdf>
- VanLehn, K. (1996). Cognitive Skill Acquisition. *Annual Review of Psychology*, 47 (1), 513–539. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.47.1.513>
- van Vorst, H., Dorschu, A., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H. & Sumfleth, E. (2015). Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht: Vorschlag einer theoretischen Modellierung. *Zeitschrift für Didaktik*

- der Naturwissenschaften*, 21, 29–39. <https://doi.org/10.1007/s40573-014-0021-5>
- Waight, N. & Neumann, K. (2020). 21st-century science education digital ecologies: Technology, technique, shoelaces, promise, and pitfalls? *Journal of Research in Science Teaching*, 57 (9), 1313–1321. <https://doi.org/10.1002/tea.21667>
- Wenke, D., Frensch, P. A. & Funke, J. (2009). Complex Problem Solving and Intelligence: Empirical Relation and Causal Direction. In R. J. Sternberg & J. E. Pretz (Hrsg.), *Cognition and Intelligence* (S. 160–187). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511607073.010>
- Wilcox, B. R., Caballero, M. D., Rehn, D. A. & Pollock, S. J. (2013). Analytic framework for students' use of mathematics in upper-division physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9 (2), 020119-1–020119-17. <https://doi.org/10.1103/physrevstper.9.020119>
- Wittwer, J. & Renkl, A. (2010). How Effective are Instructional Explanations in Example-Based Learning? A Meta-Analytic Review. *Educational Psychology Review*, 22, 393–409. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9136-5>
- Woitkowski, D. (2015). *Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung: Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*. Logos-Verlag.
- Woitkowski, D. (2018). Physikalische Denk- und Arbeitsweisen erlernen: Ein Vorlesungs-/Übungskonzept entlang des ACER-Modells. *HLZ – Herausforderung Lehrer*innenbildung*, 1 (1), 1-16. <https://doi.org/10.4119/hlz-2383>
- Woitkowski, D. (2019). Erhebung der Problemlösefähigkeit im Physikstudium: Vorstellung eines Erhebungsverfahrens. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018* (S. 492–495). Universität Regensburg.
- Woitkowski, D. (2020a). Ressourcen zur Problemlösung: Problemschemata. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019* (S. 373–376). Universität Duisburg-Essen.
- Woitkowski, D. (2020b). Surveying University Students' Problem Solving Skills in Realistic Settings. In O. Levrini & G. Tasquier (Hrsg.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2019 Conference: The Beauty and Pleasure of Understanding: Engaging With Contemporary Challenges Through Science Education* (S. 2008–2014). University of Bologna.
- Woitkowski, D. (2021a). Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium: Abschlussbericht des Forschungsprojektes KEMΦ. *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung*, 143–151. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1187>

- Woitkowski, D. (2021b). Problemlösefähigkeiten zu Studienbeginn. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020* (S. 129–132). Universität Duisburg-Essen.
- Woitkowski, D. & Reinhold, P. (2018). Strategien und Probleme im Umgang mit Übungsaufgaben: Pilotergebnisse einer Interviewstudie im ersten Semester Physik. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017* (S. 726–729). Universität Regensburg.
- Woitkowski, D., Rochell, L. & Bauer, A. B. (2021). German university students' views of nature of science in the introductory phase. *Physical Review Physics Education Research*, *17*, 010118-1–010118-11. <https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.17.010118>
- Zoelch, C., Berner, V.-D. & Thomas, J. (2019). Gedächtnis und Wissenserwerb. In D. Urhahne, M. Dresel & F. Fischer (Hrsg.), *Psychologie für den Lehrberuf* (S. 23–52). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55754-9_2

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge des theoretischen Hintergrunds	14
Abb. 2.1	Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge in Kapitel 2	17
Abb. 2.2	Zweidimensionale Klassifikation von Problembarrrieren nach Dörner . .	25
Abb. 2.3	Modell des Vorwissens nach Hailikari	33
Abb. 2.4	Genese von Problemschemata nach Woitkowski	36
Abb. 2.5	Modell des wissenszentrierten Problemlösens in der Physik nach Friege	37
Abb. 2.6	Beispiel einer klassischen Physikaufgabe	41
Abb. 2.7	Mögliche Lösungsausarbeitung anhand der Beispielaufgabe	43
Abb. 2.8	Mögliche Evaluation der Lösung anhand der Beispielaufgabe	44
Abb. 3.1	Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge in Kapitel 3	47
Abb. 4.1	Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge in Kapitel 4	65
Abb. 4.2	Schematische Darstellung der Annahmen der Cognitive Load Theory nach Moreno	67
Abb. 4.3	Direkte und indirekte Einflussfaktoren auf die Problemlösekompetenz nach Brandenburger	71
Abb. 4.4	Modell zur Operationalisierung der Dimension Kontext nach van Vorst et al.	76
Abb. 5.1	Übersicht der konzeptuellen Zusammenhänge in Kapitel 5	79
Abb. 5.2	ACER Modell nach Wilcox et al.	93
Abb. 8.1	Übersicht der Struktur des Strategietrainings	111
Abb. 8.2	Instruktionstext zu Lernhilfen	116
Abb. 8.3	Beispiel von Lernhilfen zu einer Teilaufgabe aus dem Bereich der Kinetik	116
Abb. 8.4	Instruktionstext zu Niveaustufen	121
Abb. 8.5	Beispiel: Ausschnitt des Worked Examples zur beschleunigten Bewegung und zugehörige Bearbeitungsaufträge	124
Abb. 8.6	Aufgabe 1 des kognitiven Konflikts	127

Abb. 8.7	Aufgabe 2 des kognitiven Konflikts	127
Abb. 8.8	Aufgabe 3 des kognitiven Konflikts	127
Abb. 8.9	Vereinfachte Darstellung des Problemlöseprozesses nach Friege (2001) im Rahmen des Strategietrainings	128
Abb. 8.10	Aufgabenstellung Problemtypen	130
Abb. 8.11	Aufgabenstellung zur Herleitung einer Heuristik	133
Abb. 8.12	Beispielcodes zur Beschreibung der Problemstruktur von Aufgaben . . .	139
Abb. 9.1	Beispiel einer Frage zu charakteristischen Merkmalen eines Problemtyps	154
Abb. 9.2	Beispiel einer Frage zu typischen Lösungsansätzen	155
Abb. 9.3	Beispiel einer Frage zu Heuristiken	155
Abb. 11.1	Histogramme beider Gruppen für DWPS zum Prä-MZP	190
Abb. 11.2	Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für DWPS	191
Abb. 11.3	Prä-Post-Vergleich der Differenzen für DWPS pro Gruppe	193
Abb. 11.4	Histogramme beider Gruppen für Sortieraufgaben zum Prä-MZP . . .	196
Abb. 11.5	Histogramme beider Gruppen für Sortieraufgaben zum Post-MZP . . .	197
Abb. 11.6	Gruppenvergleich Sortieraufgaben zum Post-MZP	197
Abb. 11.7	Histogramme beider Gruppen für Problemlösetest zum Prä-MZP . . .	198
Abb. 11.8	Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Problemlösetest	199
Abb. 11.9	Prä-Post-Vergleich der Differenzen für Problemlösen pro Gruppe . . .	200
Abb. 11.10	Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Problemrepräsentation	202
Abb. 11.11	Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Lösungsausarbeitung	203
Abb. 11.12	Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Lösungsevaluation	204
Abb. 11.13	Prä-Post-Vergleich der Einstellungen zu Worked Examples pro Gruppe	206
Abb. 11.14	Prä-Post-Vergleich der Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren pro Gruppe	208
Abb. 14.1	DWPS Aufgabe Kin.A.1	255
Abb. 14.2	DWPS Aufgabe Kin.A.2	255
Abb. 14.3	DWPS Aufgabe Kin.A.3	255
Abb. 14.4	DWPS Aufgabe Kin.L.2	256
Abb. 14.5	DWPS Aufgabe Kin.L.3	256
Abb. 14.6	DWPS Aufgabe Kin.H.1	256
Abb. 14.7	DWPS Aufgabe Krä.A.1	256
Abb. 14.8	DWPS Aufgabe Krä.A.2	257
Abb. 14.9	DWPS Aufgabe Krä.L.1	257
Abb. 14.10	DWPS Aufgabe E.A.1	257
Abb. 14.11	DWPS Aufgabe E.A.2	258
Abb. 14.12	DWPS Aufgabe I.A.1	258

Abb. 14.13 DWPS Aufgabe E.L.2	258
Abb. 14.14 DWPS Aufgabe E.H.2	259
Abb. 14.15 DWPS Aufgabe Kin.H.3	259
Abb. 14.16 DWPS Aufgabe I.H.2	259
Abb. 14.17 DWPS Aufgabe I.A.3	259
Abb. 14.18 Neues Item für das Problemschema Kräfteansatz (Kräfte.3)	260
Abb. 14.19 Neues Item für das Problemschema Energieerhaltung (Energie.3)	260
Abb. 14.20 Histogramme aller Gruppen für DWPS zum Prä-MZP	271
Abb. 14.21 Prä-Post-Vergleich aller Gruppen für DWPS	272
Abb. 14.22 Prä-Post-Vergleich der Differenzen für DWPS pro Gruppe	272
Abb. 14.23 Histogramme aller Gruppen für Sortieraufgaben zum Prä-MZP	274
Abb. 14.24 Histogramme beider Gruppen für Sortieraufgaben zum Post MZP	275
Abb. 14.25 Gruppenvergleich Sortieraufgaben zum Post-MZP	275
Abb. 14.26 Histogramme aller Gruppen für Problemlösetest zum Prä-MZP	276
Abb. 14.27 Prä-Post-Vergleich aller Gruppen für Problemlösetest	277
Abb. 14.28 Prä-Post-Vergleich der Differenzen für Problemlösen pro Gruppe	277
Abb. 14.29 Prä-Post-Vergleich aller Gruppen für Problemrepräsentation	278
Abb. 14.30 Prä-Post-Vergleich aller Gruppen für Lösungsausarbeitung	279
Abb. 14.31 Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Lösungsevaluation	280
Abb. 14.32 Prä-Post-Vergleich der Einstellungen zu Worked Examples pro Gruppe	281
Abb. 14.33 Prä-Post-Vergleich der Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren pro Gruppe	282

Tabellenverzeichnis

Tab. 5.1	Stufen des Lösungserfolgs und der Nutzung von Problemschemata nach Woitkowski	84
Tab. 8.1	Übersicht der Lernziele des Strategietrainings für Sequenzen zu Einführung, Kinematik und Kräfte	112
Tab. 8.2	Übersicht der Lernziele des Strategietrainings für Sequenzen zu Energie und Impuls	113
Tab. 8.3	Variierte Aufgabenmerkmale	117
Tab. 8.4	Konstante Aufgabenmerkmale	118
Tab. 8.5	Komplexität des Lernmaterials	120
Tab. 8.6	Tabellarische Darstellung des Übersetzungsprozesses: Beispiel für zwei Aufgaben aus dem Inhaltsbereich Kinematik	131
Tab. 8.7	Tabellarische Darstellung des Übersetzungsprozesses: Beispiel für eine Aufgaben aus dem Inhaltsbereich Energie	132
Tab. 8.8	Heuristik für die Kinematik	135
Tab. 8.9	Heuristik für die Energie	136
Tab. 8.10	Variierte Aufgabenmerkmale	143
Tab. 8.11	Konstante Aufgabenmerkmale	144
Tab. 9.1	Interpretation von κ nach Landis und Koch (1977)	149
Tab. 9.2	Interpretation von Cronbachs α nach Blanz (2021)	151
Tab. 9.3	Übersicht der eingesetzten Testinstrumente	153
Tab. 9.4	Überarbeitung des Testinstruments DWPS	156
Tab. 9.5	Korrelation der verschiedenen Problemlöseinstrumente	157
Tab. 9.6	Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für DWPS vor der Überarbeitung	158
Tab. 9.7	Verbleibende Items DWPS	159
Tab. 9.8	Cronbachs Alpha für DWPS nach der Überarbeitung	160
Tab. 9.9	Trennschärfen der ausgeschlossenen Items für Sortieraufgaben	163
Tab. 9.10	Interraterreliabilität für Sortieraufgaben	163
Tab. 9.11	Cronbachs Alpha für Subskala Problemansatz	165

Tab. 9.12	Interraterreliabilität für Problemlösetest	166
Tab. 9.13	Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für Skalen zu Einstellungen der Studierenden nach Ausschluss unzureichender Items (Pilotierung)	168
Tab. 9.14	Cronbachs Alpha für Akzeptanzfragebogen nach Ausschluss unzureichender Items (Hauptstudie)	169
Tab. 9.15	Items zu Einstellungen der Studierenden	170
Tab. 9.16	Interraterreliabilität für Fachwissenstest	172
Tab. 9.17	Ausgeschlossene Items für Skalen des Selbstkonzepts	173
Tab. 9.18	Personenbezogene Fragen	174
Tab. 9.19	Wortzahl und geschätzte Minimale Lesedauer pro Testinstrument . . .	176
Tab. 9.20	Datenbereinigung anhand Bearbeitungszeit und Missing Items	177
Tab. 11.1	Personenbezogene Daten der vollständigen Datensätze zum Prä- und Post-Messzeitpunkt	188
Tab. 11.2	Übersicht der Studienzugangsvoraussetzungen der vollständigen Wertepaare	189
Tab. 11.3	Übersicht des letzten Schulunterrichts in Physik (PH) und Mathematik (M) der vollständigen Wertepaare	189
Tab. 11.4	Prä-Post-Mittelwertvergleich für DWPS pro Gruppe	192
Tab. 11.5	Gruppenvergleich der Differenzen für DWPS	193
Tab. 11.6	Gruppenvergleich des Fachwissens für Wertepaare zum Prä-Messzeitpunkt	193
Tab. 11.7	Gruppenvergleich des Selbstkonzepts für Wertepaare zum Prä-Messzeitpunkt	194
Tab. 11.8	Deskriptive Daten für Subskalen des Selbstkonzepts mit Gruppenunterschieden	194
Tab. 11.9	Gruppenvergleich Sortieraufgaben für Post-MZP	197
Tab. 11.10	Prä-Post-Mittelwertvergleich für Problemlösetest pro Gruppe	199
Tab. 11.11	Gruppenvergleich der Differenzen für Problemlösetest	200
Tab. 11.12	Gruppenvergleich der Subskalen zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe zum Prä-Messzeitpunkt	201
Tab. 11.13	Prä-Post-Mittelwertvergleich für Problemrepräsentation pro Gruppe . .	202
Tab. 11.14	Gruppenvergleich der Differenzen für Problemrepräsentation zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe	202
Tab. 11.15	Prä-Post-Vorzeichen-Rangvergleich für Problemlösung pro Gruppe . .	203
Tab. 11.16	Gruppenvergleich der Differenzen für Problemlösung zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe	204
Tab. 11.17	Prä-Post-Mittelwertvergleich für Lösungsevaluation pro Gruppe	205

Tab. 11.18	Gruppenvergleich der Differenzen für Lösungsevaluation zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe	205
Tab. 11.19	Deskriptive Daten der Einstellungen der Studierenden zu Worked Examples zu beiden Messzeitpunkten (MZP)	206
Tab. 11.20	Prä-Post-Vorzeichen-Rangvergleich für Einstellungen zu Worked Examples pro Gruppe	207
Tab. 11.21	Prä-Post-Mittelwertvergleich für Einstellungen zu Worked Examples	207
Tab. 11.22	Gruppenvergleich der Einstellungen zu Worked Examples zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe zu beiden Messzeitpunkten (MZP)	207
Tab. 11.23	Deskriptive Daten der Einstellungen der Studierenden zu strategischen Lösungsverfahren zu beiden Messzeitpunkten (MZP)	208
Tab. 11.24	Prä-Post-Mittelwertvergleich für Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren	209
Tab. 11.25	Gruppenvergleich der Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe	209
Tab. 14.1	Übersicht der eingesetzten Items von Binder et al. (2019)	260
Tab. 14.2	Reliabilitätsanalyse Sortieraufgaben zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie	261
Tab. 14.3	Reliabilitätsanalyse Sortieraufgaben zum Post-Messzeitpunkt der Hauptstudie	261
Tab. 14.4	Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für Subskalen des Problemlösetests	262
Tab. 14.5	Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für Subskalen des Problemlösetests bei Ersatzkodierung fehlender Werte mit Null	262
Tab. 14.6	Reliabilitätsanalyse Fachwissen zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie vor Ausschluss von Items	263
Tab. 14.7	Reliabilitätsanalyse Fachwissen zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie nach Ausschluss von Items einer Trennschärfe unter .0	264
Tab. 14.8	Angepasste Skala Selbstkonzept Physik nach Brandenburger (2017)	265
Tab. 14.9	Angepasste Skala Selbstkonzept Mathematik nach Brandenburger (2017)	265
Tab. 14.10	Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (allgemein) nach Brandenburger (2017)	265
Tab. 14.11	Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (Repräsentation) nach Brandenburger (2017)	266
Tab. 14.12	Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (Lösungsweg) nach Brandenburger (2017)	266
Tab. 14.13	Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (Lösung) nach Brandenburger (2017)	267

Tab. 14.14	Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (Nachvollziehen) nach Brandenburger (2017)	267
Tab. 14.15	Skalenreliabilität für Skalen des Selbstkonzepts zum Prä-Messzeitpunkt	268
Tab. 14.16	Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Physik zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie	268
Tab. 14.17	Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Mathematik zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie	268
Tab. 14.18	Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (allgemein) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie	269
Tab. 14.19	Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (Repräsentation) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie	269
Tab. 14.20	Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (Lösungsweg) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie	269
Tab. 14.21	Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (Lösung) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie	270
Tab. 14.22	Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (Nachvollziehen) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie	270
Tab. 14.23	Gruppenunterschiede zum Prä-MZP für DWPS	271
Tab. 14.24	Paarweiser Vergleich zum Prä-MZP für DWPS	271
Tab. 14.25	Prä-Post-Vorzeichen-Rangvergleich pro Gruppe für DWPS	272
Tab. 14.26	Test auf Gruppenunterschiede der Prä-Post-Differenzen für DWPS . . .	273
Tab. 14.27	Paarweiser Vergleich der Prä-Post-Differenzen für DWPS	273
Tab. 14.28	Gruppenunterschiede zum Prä-MZP für Sortieraufgaben	274
Tab. 14.29	Paarweiser Vergleich zum Prä-MZP für Sortieraufgaben	274
Tab. 14.30	Gruppenunterschiede zum Post-MZP für Sortieraufgaben	275
Tab. 14.31	Gruppenunterschiede zum Prä-MZP für Problemlösetest	276
Tab. 14.32	Test auf Gruppenunterschiede zum Prä-MZP für Problemlösetest . . .	276
Tab. 14.33	Prä-Post-Vergleich für Problemlösetest pro Gruppe	277
Tab. 14.34	Gruppenunterschiede der Prä-Post-Differenzen für Problemlösetest . .	278
Tab. 14.35	Paarweiser Vergleich der Prä-Post-Differenzen für Problemlösetest . . .	278
Tab. 14.36	Prä-Post-Mittelwertvergleich für Problemrepräsentation pro Gruppe . .	279
Tab. 14.37	Prä-Post-Vorzeichen-Rangvergleich für Problemlösung pro Gruppe . .	279
Tab. 14.38	Prä-Post-Mittelwertvergleich für Lösungsevaluation pro Gruppe	280
Tab. 14.39	Test auf Gruppenunterschiede der Prä-Post-Differenzen für Subskala Lösungserklärung	280
Tab. 14.40	Deskriptive Daten der Einstellungen der Studierenden zu Worked Ex- amples	281

Tab. 14.41 Deskriptive Daten der Einstellungen der Studierenden zu strategischen Lösungsverfahren	281
Tab. 14.42 Test auf Normalverteilung pro Gruppe für DWPS (vollständige Datensätze zum Prä-MZP)	282
Tab. 14.43 Test auf Normalverteilung pro Gruppe für DWPS (Prä-Post-Differenzen)	282
Tab. 14.44 Tests auf Normalverteilung für Sortieraufgaben pro Gruppe (vollständige Datensätze zum Prä-MZP)	283
Tab. 14.45 Tests auf Normalverteilung für Sortieraufgaben pro Gruppe (Prä-Post-Differenzen)	283
Tab. 14.46 Tests auf Normalverteilung für Problemlösetest (vollständige Datensätze zum Prä-MZP)	283
Tab. 14.47 Tests auf Normalverteilung für Problemlösetest (Prä-Post-Differenzen)	284
Tab. 14.48 Tests auf Normalverteilung für Problemrepräsentation (vollständige Datensätze Prä-MZP)	284
Tab. 14.49 Tests auf Normalverteilung für Problemrepräsentation (Prä- Post - Differenzen)	284
Tab. 14.50 Tests auf Normalverteilung für Lösungsausarbeitung (vollständige Datensätze Prä-MZP)	285
Tab. 14.51 Tests auf Normalverteilung für Lösungsausarbeitung (Prä-Post-Differenzen)	285
Tab. 14.52 Tests auf Normalverteilung für Lösungsevaluation (vollständige Datensätze Prä-MZP)	285
Tab. 14.53 Tests auf Normalverteilung für Lösungsevaluation (Prä-Post-Differenzen)	286

Teil V.
Anhang

Ergänzungen zu Testinstrumenten

Deklaratives Wissen über Problemschemata

Testinstrument zu deklarativem Wissen über Problemschemata

Welche der nachfolgenden Merkmale charakterisieren einen waagerechten Wurf?

Wählen Sie eine Antwort:

- a) In x -Richtung: eine gleichförmige Bewegung.
In y -Richtung: eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
- b) In x -Richtung: eine gleichförmige Bewegung.
In y -Richtung: eine gleichförmige Bewegung.
- c) In x -Richtung: eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
In y -Richtung: eine gleichförmige Bewegung.
- d) In x -Richtung: eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
In y -Richtung: eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.

Abb. 14.1. DWPS Aufgabe Kin.A.1

Wählen Sie eine Antwort: Welches Merkmal trifft bei einer Aufgabe zur gleichförmigen Bewegung *nie* zu?

Wählen Sie eine Antwort:

- a) Die Geschwindigkeit ist Null.
- b) Die Richtung der Bewegung ist konstant.
- c) Die Beschleunigung ist konstant und ungleich Null.
- d) Die Geschwindigkeit ist konstant und ungleich Null.

Abb. 14.2. DWPS Aufgabe Kin.A.2

Bei welcher Bewegungsform handelt es sich *nicht* um eine mehrdimensionale Bewegung?

Wählen Sie eine Antwort:

- a) Gleiten an der schiefen Ebene
- b) Kreisbewegung
- c) Waagerechter Wurf
- d) Senkrechter Wurf

Abb. 14.3. DWPS Aufgabe Kin.A.3

Wie lautet der Lösungsansatz zur Bestimmung des Zeitpunkts des Hochpunktes einer Bewegung?

Dabei bezeichnet s den Ort, v die Geschwindigkeit, a die Beschleunigung, g die Erdbeschleunigung, h_0 die Anfangshöhe und t die Zeit.

Wählen Sie eine Antwort:

- a) $a_y(t) = 0$
- b) $v_y(t) = 0$
- c) $v_y(t) = g \cdot t + v_{0,y}$
- d) $s_x(t) = \sqrt{2g \cdot h_0}$

Abb. 14.4. DWPS Aufgabe Kin.L.2

Welche der folgenden Bewegungsgleichungen kann die x -Komponente eines schiefen Wurfes darstellen?

Dabei bezeichnet s den Ort, v die Geschwindigkeit, a die Beschleunigung, g die Erdbeschleunigung, h_0 die Anfangshöhe und t die Zeit.

Wählen Sie eine Antwort:

- a) $s_x(t) = \frac{1}{2}a_x \cdot t^2$
- b) $s_x(t) = \frac{1}{2}a_x \cdot t^2 + v_{0,x} \cdot t$
- c) $s_x(t) = s_{0,x}$
- d) $s_x(t) = v_{0,x} \cdot t$

Abb. 14.5. DWPS Aufgabe Kin.L.3

Welcher der nachfolgenden Schritte gehört *nicht notwendig* zur Herangehensweise an eine Aufgabe aus dem Bereich Kinematik?

Hinweis: Kinematik bezeichnet ein Teilgebiet der Physik, bei dem die Bewegungen von Körpern beschrieben werden.

Wählen Sie eine Antwort:

- a) Bewegungsgleichung aufstellen
- b) Bezugssystem der Bewegung festlegen
- c) Bewegungstyp erkennen
- d) Dauer der Bewegung bestimmen

Abb. 14.6. DWPS Aufgabe Kin.H.1

Welche der folgenden Situationen beschreibt nicht notwendig ein Kräftegleichgewicht? Dabei bezeichnet v die Geschwindigkeit und a die Beschleunigung.

Wählen Sie eine Antwort:

- a) $a = 0$ und $s = \text{konstant}$
- b) $v = 0$ und $s = \text{konstant}$
- c) $v = 0$ und $a = \text{konstant}$
- d) $a = 0$ und $v = \text{konstant}$

Abb. 14.7. DWPS Aufgabe Krä.A.1

Welches Merkmal charakterisiert eine Aufgabe zu einer resultierenden Kraft?

Wählen Sie eine Antwort:

- a) $\sum_i F_i = 0$ und $a = 0$,
Die Summe aller Kräfte und die Beschleunigung sind Null.,
- b) $\sum_i F_i = 0$ und $a = \textit{konstant}$,
Die Summe aller Kräfte ist gleich Null und die Beschleunigung ist konstant.
- c) $\sum_i F_i \neq 0$ und $a = 0$,
Die Summe aller Kräfte ist ungleich Null und die Beschleunigung ist Null.
- d) $\sum_i F_i \neq 0$ und $a = \textit{konstant}$,
Die Summe aller Kräfte ist ungleich Null und die Beschleunigung ist konstant.

Abb. 14.8. DWPS Aufgabe Krä.A.2

Welcher Ansatz eignet sich, um die resultierende Kraft F_{res} an der schiefen Ebene zu bestimmen?

Wählen Sie eine Antwort:

- a) Die resultierende Kraft ergibt sich aus der Differenz aller Kräfte senkrecht zur schiefen Ebene.
- b) Die resultierende Kraft ergibt sich aus der Summe aller Kräfte parallel zur schiefen Ebene.
- c) Die resultierende Kraft ergibt sich aus dem Produkt aller Kräfte parallel zur schiefen Ebene.
- d) Die resultierende Kraft ergibt sich aus der Summer aller Kräfte an der schiefen Ebene.

Abb. 14.9. DWPS Aufgabe Krä.L.1

Welches Merkmal kann eine Aufgabe charakterisieren, die eine Energieentwertung beinhaltet?

Dabei bezeichnet E_{kin} die kinetische Energie und W_{reib} die Reibarbeit. Wählen Sie eine Antwort:

- a) E_{kin} ist gleich Null.
- b) E_{kin} ist größer Null.
- c) W_{reib} ist gleich Null.
- d) W_{reib} ist größer Null.

Abb. 14.10. DWPS Aufgabe E.A.1

Welches Merkmal charakterisiert allgemein ein abgeschlossenes System? Dabei bezeichnet $\sum_i E_i$ die Summe aller Energiearten, E_{kin} die kinetische Energie und E_{pot} die potentielle Energie des Systems.

Wählen Sie eine Antwort:

- a) $\sum_i E_i = 0$
Die Summe aller Energien ist Null.
- b) $\sum_i E_i = \text{konstant}$
Die Summe aller Energien ist konstant.
- c) $E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = 0$
Die Summe der kinetischen und potentiellen Energie ist Null.
- d) $E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \text{konstant}$
Die Summe der kinetischen und potentiellen Energie ist konstant.

Abb. 14.11. DWPS Aufgabe E.A.2

Welches Merkmal charakterisiert einen vollkommen inelastischen Stoß?

Wählen Sie eine Antwort:

- a) Die Geschwindigkeiten der Körper nach dem Stoß sind betragsmäßig gleich und gleichgerichtet.
- b) Die Geschwindigkeiten der Körper nach dem Stoß sind betragsmäßig gleich, aber entgegengerichtet.
- c) Die kinetische Energie der Körper ist nach dem Stoß gleich groß.
- d) Der Impuls der Körper ist nach dem Stoß jeweils gleich groß.

Abb. 14.12. DWPS Aufgabe I.A.1

Ein Körper fällt aus einer Anfangshöhe auf den Boden. Sie möchten die Geschwindigkeit beim Aufprall berechnen. Welcher Lösungsansatz eignet sich dafür? Dabei bezeichnet E_{kin} die kinetische Energie, E_{pot} die potentielle Energie, E_{th} die thermische Energie, W_{reib} die Reibarbeit und E_{ges} die Gesamtenergie des Systems.

Wählen Sie eine Antwort:

- a) $E_{\text{ges}} = E_{\text{pot,maximal}} = E_{\text{kin,maximal}}$
- b) $E_{\text{ges}} = E_{\text{kin,maximal}} = E_{\text{th,maximal}}$
- c) $E_{\text{ges}} = E_{\text{kin,maximal}} = W_{\text{reib}}$
- d) $E_{\text{ges}} = E_{\text{pot,maximal}} = W_{\text{reib}}$

Abb. 14.13. DWPS Aufgabe E.L.2

Welcher der nachfolgenden Schritte gehört *nie* zur Bearbeitung von Aufgaben aus dem Bereich der Energie?

Wählen Sie eine Antwort aus:

- a) Nullniveau festlegen.
- b) Energieentwertung des Systems beschreiben.
- c) Zeitlichen Verlauf des Prozesses beschreiben.
- d) Reibung des Systems beschreiben.

Abb. 14.14. DWPS Aufgabe E.H.2

Welcher der folgenden Schritte muss immer für eine Aufgabe aus dem Bereich der Kinematik durchgeführt werden?

Hinweis: *Kinematik* bezeichnet ein Teilgebiet der Physik, bei dem die Bewegungen von Körpern beschrieben werden.

Wählen Sie eine Antwort:

- a) Hochpunkt der Bewegung bestimmen.
- b) Aufprallgeschwindigkeit der Bewegung bestimmen.
- c) Anfangsgeschwindigkeit der Bewegung bestimmen.
- d) Aufprallzeitpunkt der Bewegung bestimmen.

Abb. 14.15. DWPS Aufgabe Kin.H.3

Zu welchem Zeitpunkt kann/muss entschieden werden, ob es sich um einen elastischen Stoß handelt?

Wählen Sie eine Antwort:

- a) Nach der Berechnung der Impulsdifferenz beider Zeitpunkte.
- b) Nach der Berechnung der Energie vor dem Stoß.
- c) Nach der Berechnung der Energiedifferenz beider Zeitpunkte.
- d) Nach der Berechnung des Impulses vor dem Stoß.

Abb. 14.16. DWPS Aufgabe I.H.2

Welches Merkmal charakterisiert einen inelastischen Stoß?

Wählen Sie eine Antwort:

- a) Impulserhaltung, aber keine Energieerhaltung
- b) Energieerhaltung, aber keine Impulserhaltung
- c) Keine Impulserhaltung und keine Energieerhaltung
- d) Impulserhaltung und Energieerhaltung

Abb. 14.17. DWPS Aufgabe I.A.3

Sortieraufgaben

Items - Sortieraufgaben

Tabelle 14.1. Übersicht der eingesetzten Items von Binder et al. (2019)

Itemname	Itemkürzel/Problemschema
Meterstab	Energie.1
Austrittsgeschwindigkeit Elektronen	Energie
Schussauswirkung	Energie.2
Elektronen im homogenen Magnetfeld	Kräfte
Geschwindigkeit in der Kurve	Kräfte.1
Weitung des Atomabstands	Kräfte.2
Geschwindigkeitsberechnung bei einem Zusammenprall	Impuls.1
Geschwindigkeit nach Ladungserhöhung	Impuls.2
Abstoßgeschwindigkeit	Impuls.3
LKW-Rennen	Kinematik.1
Schallgeschwindigkeit	Kinematik.2
Radrotation	Kinematik.3

Parken am Berg

Sie stellen Ihr Auto an einem Berg mit 8° Steigung ab und vergessen dabei die Handbremse zu ziehen.

Aufgabenstellung: Berechnen Sie den Reibungskoeffizienten, der zwischen Reifen und Straße wirken muss, damit das Auto nicht den Berg hinunter rollt.

Hinweis: Sie brauchen diese Aufgabenstellung nicht tatsächlich zu lösen. Es geht nur um den Lösungsansatz, mit dem sie die Aufgabe lösen würden!

Abb. 14.18. Neues Item für das Problemschema Kräfteansatz (Kräfte.3)

Skater

Ein Skater fährt mit einer Geschwindigkeit von $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ die Straße entlang. Ohne abzubremsen rollt er einen **15m** hohen Hügel mit starker Steigung hinunter.
[Reibung wird an dieser Stelle vernachlässigt.]

Aufgabenstellung: Berechnen Sie die Geschwindigkeit des Skaters am Fuße des Hügels.

Hinweis: Sie brauchen diese Aufgabenstellung nicht tatsächlich zu lösen. Es geht nur um den Lösungsansatz, mit dem sie die Aufgabe lösen würden!

Abb. 14.19. Neues Item für das Problemschema Energieerhaltung (Energie.3)

Reliabilitätsanalyse - Sortieraufgaben

Tabelle 14.2. Reliabilitätsanalyse Sortieraufgaben zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Energie.1	.79	1.96	.323	.720
Impuls.1	.64	1.68	.373	.725
Kinematik.1	.74	1.67	.554	.680
Kräfte.1	.79	1.94	.314	.722
Kräfte.2	.80	1.88	.482	.698
Kinematik.2	.80	2.12	.114	.747
Kinematik.3	.82	2.03	.308	.721
Impuls.3	.81	1.93	.445	.704
Kräfte.3	.82	1.98	.408	.710
Energie.3	.79	1.71	.700	.662

Tabelle 14.3. Reliabilitätsanalyse Sortieraufgaben zum Post-Messzeitpunkt der Hauptstudie

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
Energie.1	3.11	5.12	.330	.703
Impuls.1	2.63	4.83	.353	.700
Kinematik.1	2.84	4.73	.382	.695
Kräfte.1	3.03	4.85	.405	.692
Kräfte.2	3.08	5.19	.254	.714
Kinematik.2	2.97	4.72	.432	.687
Kinematik.3	2.87	5.00	.255	.717
Impuls.3	3.03	4.82	.424	.689
Kräfte.3	2.94	4.55	.505	.673
Energie.3	2.97	4.72	.432	.687

Problemlösetest

Reliabilitätsanalyse - Problemlösetest

Tabelle 14.4. Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für Subskalen des Problemlösetests

Messzeitpunkt	gültige Fälle	Cronbachs Alpha	Items mit Trennschärfe unter .3 (von Gesamtitems)
Problemrepräsentation Prä	51	.709	3(10)
Problemansatz Prä	48	.295	5(5)
Lösungsausarbeitung Prä	16	.843	0(5)
Lösungsevaluation Prä	15	.799	1(9)
Problemrepräsentation Post	59	.649	4(10)
Problemansatz Post	37	-.046	5(5)
Lösungsausarbeitung Post	47	.627	0(3)
Lösungsevaluation Post	55	.770	0(8)

Tabelle 14.5. Cronbachs Alpha und unzureichende Trennschärfen für Subskalen des Problemlösetests bei Ersatzkodierung fehlender Werte mit Null

Messzeitpunkt	Cronbachs Alpha	Items mit Trennschärfe unter .3 (von Gesamtitems)
Problemrepräsentation Prä	.669	4(10)
Problemansatz Prä	.302	5(5)
Lösungsausarbeitung Prä	.756	0(5)
Lösungsevaluation Prä	.790	0(9)
Problemrepräsentation Post	.697	3(10)
Problemansatz Post	.335	3(5)
Lösungsausarbeitung Post	.599	0(3)
Lösungsevaluation Post	.762	0(8)

Fachwissen

Reliabilitätsanalyse - Fachwissen

Tabelle 14.6. Reliabilitätsanalyse Fachwissen zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie vor Ausschluss von Items

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
<i>A</i> ₁	4.24	5.02	.367	.579
<i>A</i> ₂	4.69	5.87	-.047	.645
<i>A</i> ₃	4.93	5.80	.235	.608
<i>A</i> ₄	4.92	5.77	.173	.609
<i>A</i> ₅	4.81	6.06	-.123	.645
<i>A</i> ₆	4.80	5.44	.240	.600
<i>A</i> ₁	4.86	5.49	.282	.596
<i>A</i> ₈	4.91	6.16	-.226	.638
<i>J</i> ₁	4.15	5.57	.123	.617
<i>J</i> ₂	4.59	4.82	.436	.565
<i>J</i> ₃	4.92	5.62	.343	.597
<i>J</i> _{4a}	4.83	5.04	.556	.560
<i>J</i> _{4b}	4.87	5.07	.652	.557
<i>J</i> ₅	4.76	5.59	.120	.617
<i>J</i> ₆	4.91	5.46	.468	.586
<i>H</i> _{1a}	4.08	5.64	.132	.614
<i>H</i> _{1b}	4.46	5.38	.147	.619
<i>H</i> ₂	4.85	6.00	-.080	6.36
<i>H</i> ₃	4.82	5.41	.283	.595
<i>H</i> ₄	4.80	5.48	.217	.603
<i>H</i> _{5a}	4.88	5.40	.401	.586
<i>H</i> _{5b}	4.94	5.79	.369	.605
<i>H</i> ₆	4.94	5.94	.043	.617

Tabelle 14.7. Reliabilitätsanalyse Fachwissen zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie nach Ausschluss von Items einer Trennschärfe unter .0

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
<i>A</i> ₁	3.68	5.25	.362	.698
<i>A</i> ₃	4.38	6.03	.234	.712
<i>A</i> ₄	4.36	5.97	.215	.711
<i>A</i> ₆	4.25	5.62	.269	.707
<i>A</i> ₇	4.30	5.66	.327	.702
<i>J</i> ₁	3.59	5.75	.154	.721
<i>J</i> ₂	4.04	4.93	.486	.680
<i>J</i> ₃	4.36	5.81	.383	.702
<i>J</i> _{4a}	4.27	5.21	.588	.676
<i>J</i> _{4b}	4.31	5.26	.670	.673
<i>J</i> ₅	4.21	5.86	.099	.726
<i>J</i> ₆	4.35	5.70	.454	.697
<i>H</i> _{1a}	3.53	5.81	.167	.717
<i>H</i> _{1b}	3.91	5.50	.193	.723
<i>H</i> ₃	4.26	5.61	.299	.704
<i>H</i> ₄	4.25	5.65	.246	.710
<i>H</i> _{5a}	4.32	5.67	.368	.699
<i>H</i> _{5b}	4.39	6.01	.384	.709
<i>H</i> _{6a}	4.39	6.16	.064	.718

Selbstkonzept

Items - Selbstkonzept

Nachfolgend werden die Items der einzelnen Skalen fürs Selbstkonzept so aufgeführt, wie sie in der Hauptstudie eingesetzt wurden. Die Itemnamen wurden aus der Originalstudie übernommen, sofern keine wesentlichen Änderungen des Items vorgenommen wurden. Veränderte oder ergänzte Items werden mit einem „P“ im Itemnamen ergänzt. Weitere Items der Originalversion von Brandenburger (2017), die nicht übernommen wurden oder aufgrund geringer Trennschärfen gestrichen wurden, werden zur Übersicht mit angeführt und durchgestrichen dargestellt.

Tabelle 14.8. Angepasste Skala Selbstkonzept Physik nach Brandenburger (2017)

physk.1	Ich komme mit den Anforderungen der Physikinhalte des Studiums 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 erbringe gute Leistungen in Physik.

Anmerkung. Negativ gepolte Items werden mit (-) gekennzeichnet.

Tabelle 14.9. Angepasste Skala Selbstkonzept Mathematik nach Brandenburger (2017)

matsk.1	Ich komme mit den mathematischen Anforderungen des Studiums gut zurecht.
matsk.2	Ich komme mit der Mathematik bei physikalischen Problemstellungen gut zurecht.
matsk.3	Ich bin begabt in Mathematik.
matsk.4	Die Übertragung der Mathematik auf die Physik liegt mir nicht besonders. (-)
matsk.5	Ich bringe gute Leistungen bei mathematikbezogenen Teilen in der Physik.

Anmerkung. Negativ gepolte Items werden mit (-) gekennzeichnet.

Tabelle 14.10. Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (allgemein) nach Brandenburger (2017)

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 Problemlösefähigkeiten für gut.
aplsk.4	Ich komme mit den Inhalten des Themengebiets Mechanik gut zurecht.
aplsk.5	Das Lösen von Problemen aus der Mechanik fällt mir leicht.

Anmerkung. Negativ gepolte Items werden mit (-) gekennzeichnet.

Tabelle 14.11. Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (Repräsentation) nach Brandenburger (2017)

replsk.P.1	Ich kann gute Skizzen für physikalische Probleme anfertigen.
replsk.2	Ich kann physikalische Probleme gut beschreiben.
replsk.3	Ich kann physikalische Fachbegriffe 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 unbekanntem 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. (-)

Anmerkung. Negativ gepolte Items werden mit (-) gekennzeichnet.

Tabelle 14.12. Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (Lösungsweg) nach Brandenburger (2017)

lwplsk.1	Ich kann einen Lösungsansatz selbstständig erarbeiten.
lwplsk.2	Ich brauche wenigstens eine vorgegebene Skizze für ein Problem, um daraus einen Lösungsansatz zu erarbeiten. (-)
lwplsk.3	Ich brauche wenigstens eine Beschreibung der relevanten physikalischen Eigenschaften eines Problems, um daraus einen Lösungsansatz zu erarbeiten. (-)
lwplsk.4	Ich kenne eine Auswahl an Lösungsansätzen, die auf verschiedene physikalische Probleme anwendbar sind.
lwplsk.5	Ich kann aus den relevanten physikalischen Konzepten eines Problems einen angemessenen Lösungsansatz erarbeiten.
lwplsk.6	Auch bei neuen Problemen kann ich mir einen Lösungsansatz erarbeiten.
lwplsk.7	In neuen Situationen kann ich mich darauf verlassen, dass ich auf Erfahrungen mit anderen Problemen zurückgreifen kann.
lwplsk.P.1	Ich kann richtige Lösungsansätze nachvollziehen, aber sie nicht selbst aufstellen. (-)
lwplsk.P.2	Es fällt mir schwer selbst auf kreative Ideen zu kommen, die oft zum Lösen von Problemen notwendig sind. (-)

Anmerkung. Negativ gepolte Items werden mit (-) gekennzeichnet.

Tabelle 14.13. Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (Lösung) nach Brandenburger (2017)

löplsk.1	Wenn ich den Lösungsansatz kenne, kann ich die eigentliche Lösung gut durchführen.
löplsk.3	Die Vorgabe von Lösungsschritten hilft mir, ein physikalisches Problem zu lösen.
löplsk.4	Ich kann mit mathematischen Anforderungen beim Lösen einer Physikaufgabe gut umgehen.
löplsk.5	Auch mathematische Elemente hindern mich nicht daran, ein physikalisches Problem zu lösen.
löplsk.6	Wenn ich beim Lösen von physikalischen Aufgaben auf Schwierigkeiten stoße, dann betreffen sie die Mathematik. (-)
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. (-)

Anmerkung. Negativ gepolte Items werden mit (-) gekennzeichnet.

Tabelle 14.14. Angepasste Skala Selbstkonzept Problemlösen (Nachvollziehen) nach Brandenburger (2017)

nvplsk.1	Liegt mir eine Lösung zu einem Problem vor, kann ich anderen diese Lösung 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 die physikalische Bedeutung mathematischer Gleichungen und Operationen (wie z.B. Ableitungen einer physikalischen Größe) gut verstehen.
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.
nvplsk.P.1	Ich kann beurteilen, ob die Lösung zu einem Problem richtig oder falsch ist.
nvplsk.P.2	Ich kann beurteilen, ob die Lösung zu einem Problem in dem Zusammenhang sinnvoll ist.

Anmerkung. Negativ gepolte Items werden mit (-) gekennzeichnet.

Reliabilitätsanalyse - Selbstkonzept

Tabelle 14.15. Skalenreliabilität für Skalen des Selbstkonzepts zum Prä-Messzeitpunkt

Skala	Cronbachs $\alpha_{\text{prä}}$
Selbstkonzept Physik	.758
Selbstkonzept Mathematik	.734
Selbstkonzept Problemlösen (allgemein)	.783
Selbstkonzept Problemlösen (Repräsentation)	.762
Selbstkonzept Problemlösen (Lösungsweg)	.568
Selbstkonzept Problemlösen (Lösung)	.652
Selbstkonzept Problemlösen (Nachvollziehen)	.666

Tabelle 14.16. Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Physik zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
physk.1	7.47	3.70	.494	.733
physk.3	7.58	3.37	.621	.665
physk.4	7.27	3.50	.547	.705
physk.5	7.42	3.43	.560	.698

Tabelle 14.17. Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Mathematik zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
matsk.1	11.07	4.60	.547	.671
matsk.2	11.18	4.25	.679	.622
matsk.3	11.30	4.29	.471	.700
matsk.4	11.34	5.02	.249	.786
matsk.5	11.26	4.29	.610	.644

Tabelle 14.18. Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (allgemein) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
aplsk.1	8.21	3.00	.620	.714
aplsk.3	7.97	3.39	.454	.795
aplsk.4	7.95	2.82	.632	.708
aplsk.5	8.10	3.00	.662	.694

Tabelle 14.19. Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (Repräsentation) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
replsk.2	9.98	5.79	.583	.702
replsk.3	10.06	5.42	.650	.675
replsk.5	10.02	5.65	.552	.712
replsk.6	10.22	6.17	.477	.737
replsk.P.1	9.69	6.09	.407	.765

Tabelle 14.20. Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (Lösungsweg) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
lwplsk.2	11.86	5.12	.256	.546
lwplsk.3	12.28	5.28	.316	.521
lwplsk.4	11.99	5.22	.236	.554
lwplsk.6	12.04	4.87	.456	.463
lwplsk.P.1	12.19	5.23	.254	.545
lwplsk.P.2	11.79	4.45	.357	.499

Tabelle 14.21. Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (Lösung) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
löplsk.4	9.56	2.17	.598	.465
löplsk.6	9.49	2.59	.284	.693
löplsk.7	9.23	2.40	.473	.557
löplsk.8	9.17	2.57	.357	.602

Tabelle 14.22. Reliabilitätsanalyse Skala Selbstkonzept Problemlösen (Nachvollziehen) zum Prä-Messzeitpunkt der Hauptstudie

Itemname	Skalenmittelwert, wenn Item weggelassen	Skalenvarianz, wenn Item weggelassen	Korrigierte Item-Skala- Korrelation	Cronbachs Alpha, wenn Item weggelassen
nvplsk.1	13.77	4.07	.339	.645
nvplsk.2	13.63	3.79	.534	.575
nvplsk.3	14.03	3.81	.396	.625
nvplsk.6	13.93	4.15	.583	.581
nvplsk.P.1	14.12	4.25	.283	.664
nvplsk.P.2	13.95	4.25	.323	.648

Ergänzende Ergebnisse

Gruppenvergleich mit Wiederholern

Deklaratives Wissen über Problemschemata

Gruppenunterschiede zum Prä-Messzeitpunkt

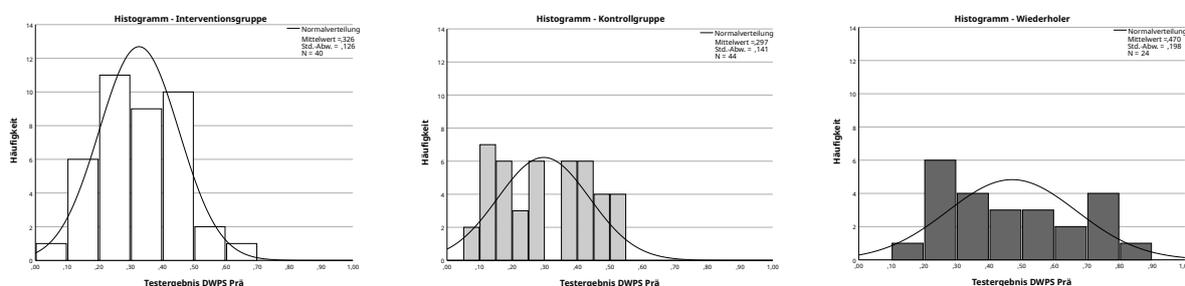


Abb. 14.20. Histogramme aller Gruppen für DWPS zum Prä-MZP

Tabelle 14.23. Gruppenunterschiede zum Prä-MZP für DWPS

Zusammenfassung des Kruskal-Wallis Test bei unabhängigen Stichproben	
Gesamtzahl	108
Teststatistik	11.486
Freiheitsgrad	2
Asymptotische Signifikanz	.003**

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.24. Paarweiser Vergleich zum Prä-MZP für DWPS

Gruppenvergleich	Teststatistik	SE	z	p	p*
IG vs. W	-20.600	8.033	-2.564	.010**	.031*
KG vs. W	-26.375	7.895	-3.341	< .001***	.003**
IG vs. KG	5.775	6.797	.850	.396	1.000

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit SE = Standardfehler, z = standardisierte Teststatistik, p = Signifikanz und p* = angepasste Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe, W=Wiederholer:innen

Prä-Post-Vergleich

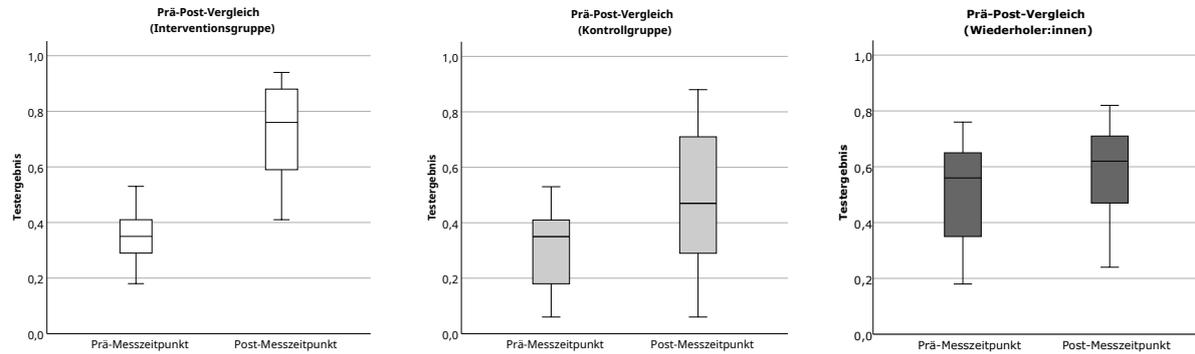


Abb. 14.21. Prä-Post-Vergleich aller Gruppen für DWPS

Tabelle 14.25. Prä-Post-Vorzeichen-Rangvergleich pro Gruppe für DWPS

Gruppe	<i>N</i>	<i>z</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Interventionsgruppe	22	4.107	.876	< .001***
Kontrollgruppe	33	5.012	.872	< .001***
Wiederholer:innen	14	3.296	.881	< .001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit N = Stichprobengröße, z = standardisierte Teststatistik, r = Effektstärke, p = Signifikanz

Gruppenunterschied des Lernzuwachses

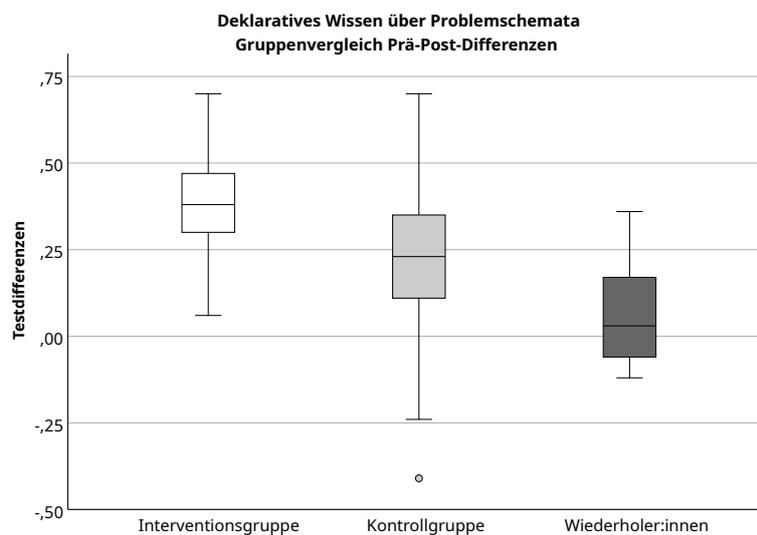


Abb. 14.22. Prä-Post-Vergleich der Differenzen für DWPS pro Gruppe

Tabelle 14.26. Test auf Gruppenunterschiede der Prä-Post-Differenzen für DWPS

Zusammenfassung des Kruskal-Wallis Test bei unabhängigen Stichproben	
Gesamtzahl	69
Teststatistik	19.720
Freiheitsgrad	2
Asymptotische Signifikanz	< .001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.27. Paarweiser Vergleich der Prä-Post-Differenzen für DWPS

Gruppenvergleich	Teststatistik	SE	z	p	p*
IG vs. KG	16.280	5.507	2.956	.003**	.009**
IG vs. W	29.617	6.841	4.330	< .001***	.000***
KG vs. W	13.337	6.382	2.090	.037*	.110

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit SE = Standardfehler, z = standardisierte Teststatistik, p = Signifikanz und p^* = angepasste Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe, W=Wiederholer:innen

Sortieraufgaben

Gruppenunterschiede zum Prä-Messzeitpunkt

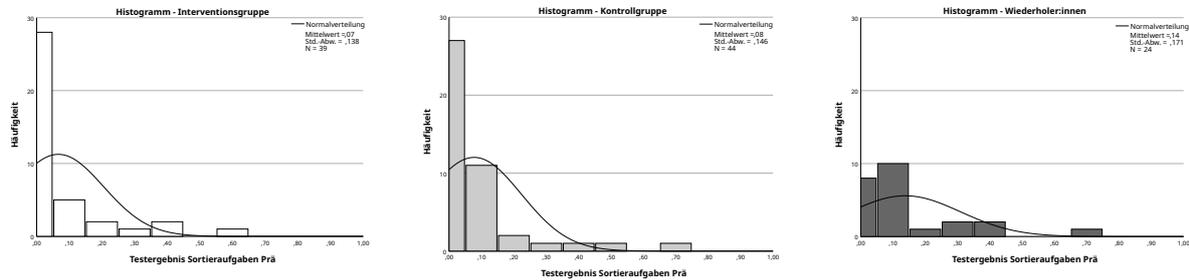


Abb. 14.23. Histogramme aller Gruppen für Sortieraufgaben zum Prä-MZP

Tabelle 14.28. Gruppenunterschiede zum Prä-MZP für Sortieraufgaben

Zusammenfassung des Kruskal-Wallis Test bei unabhängigen Stichproben	
Gesamtzahl	107
Teststatistik	8.469
Freiheitsgrad	2
Asymptotische Signifikanz	.014*

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.29. Paarweiser Vergleich zum Prä-MZP für Sortieraufgaben

Gruppenvergleich	Teststatistik	SE	z	p	p*
IG vs. W	-19.425	7.117	-2.730	.006**	.019*
KG vs. W	-15.055	6.961	-2.163	.031*	.092
IG vs. KG	-4.370	6.033	-.724	.469	1.000

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit SE = Standardfehler, z = standardisierte Teststatistik, p = Signifikanz und p* = angepasste Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe, W=Wiederholer:innen

Gruppenunterschiede für Post-Messzeitpunkt

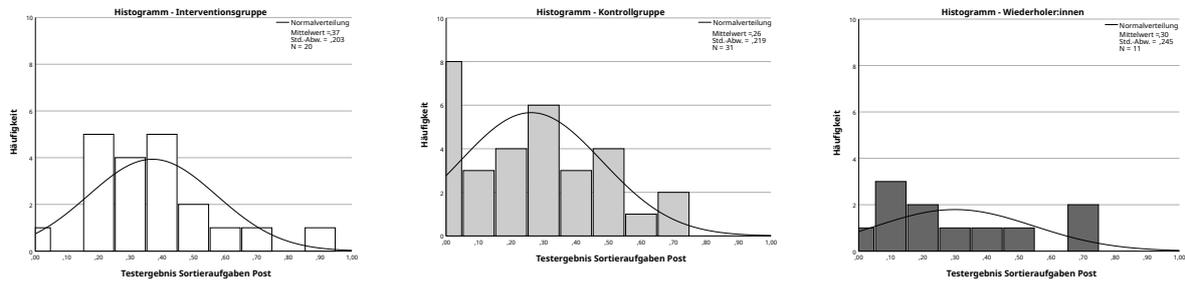


Abb. 14.24. Histogramme beider Gruppen für Sortieraufgaben zum Post MZP

Tabelle 14.30. Gruppenunterschiede zum Post-MZP für Sortieraufgaben

Zusammenfassung des Kruskal-Wallis Test bei unabhängigen Stichproben

Gesamtzahl	62
Teststatistik	2.360
Freiheitsgrad	2
Asymptotische Signifikanz	.307

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

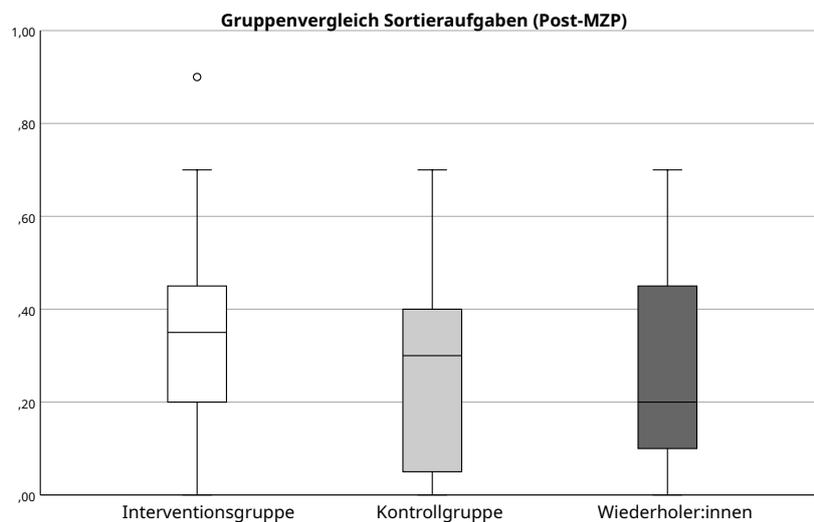


Abb. 14.25. Gruppenvergleich Sortieraufgaben zum Post-MZP

Problemlösetest

Gruppenunterschiede zum Prä-Messzeitpunkt

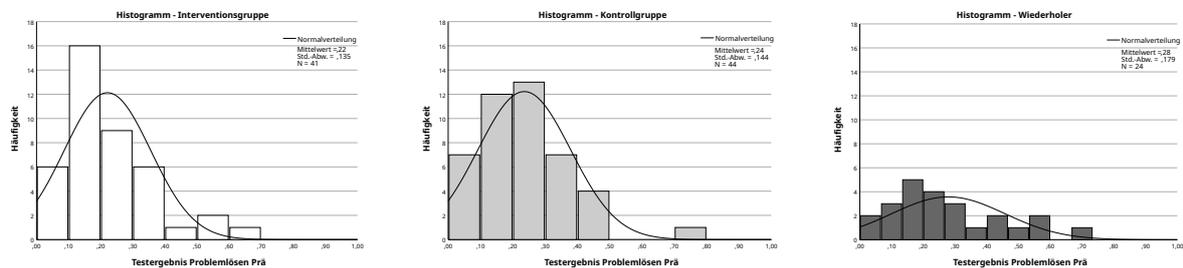


Abb. 14.26. Histogramme aller Gruppen für Problemlösetest zum Prä-MZP

Tabelle 14.31. Gruppenunterschiede zum Prä-MZP für Problemlösetest

Zusammenfassung des Kruskal-Wallis Test bei unabhängigen Stichproben	
Gesamtzahl	109
Teststatistik	1.539
Freiheitsgrad	2
Asymptotische Signifikanz	.463

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.32. Test auf Gruppenunterschiede zum Prä-MZP für Problemlösetest

Gruppenvergleich	Teststatistik	Standardfehler	Standardteststatistik	Signifikanz	angepasste Signifikanz
Interventionsgruppe vs. Wiederholer	-4.023	6.595	-.610	.542	1.000
Kontrollgruppe vs. Wiederholer	-4.633	6.260	-.740	.459	1.000
Interventionsgruppe vs. Kontrollgruppe	.611	5.291	.115	.908	1.000

Prä-Post-Vergleich

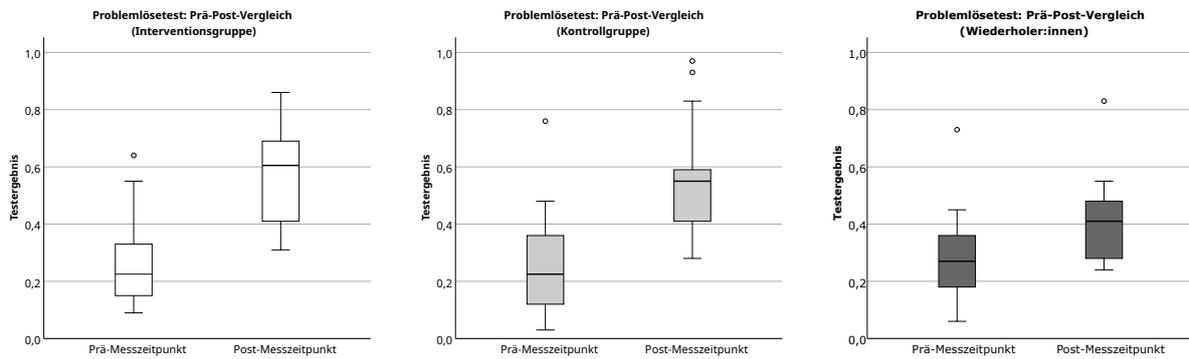


Abb. 14.27. Prä-Post-Vergleich aller Gruppen für Problemlösetest

Tabelle 14.33. Prä-Post-Vergleich für Problemlösetest pro Gruppe

Gruppe	Stichproben- größe N	Standardisierte Teststatistik (Wilcoxon-Test)	Pearson Korrelations- koeffizient r	Signifikanz p
Interventionsgruppe	22	4.075	.869	< .001***
Kontrollgruppe	30	4.536	.828	< .001***
Wiederholer:innen	13	2.238	.621	.025*

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Gruppenunterschiede für Lernzuwachs

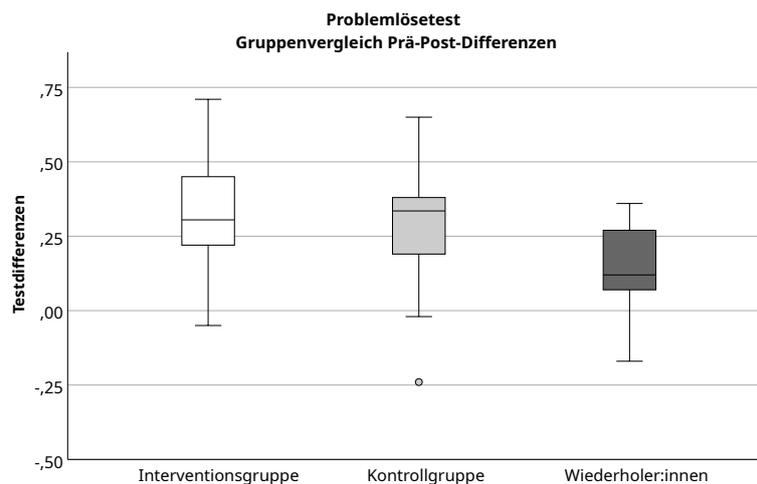


Abb. 14.28. Prä-Post-Vergleich der Differenzen für Problemlösen pro Gruppe

Tabelle 14.34. Gruppenunterschiede der Prä-Post-Differenzen für Problemlösetest

Zusammenfassung des Kruskal-Wallis Test bei unabhängigen Stichproben	
Gesamtzahl	65
Teststatistik	11.165
Freiheitsgrad	2
Asymptotische Signifikanz	.004

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.35. Paarweiser Vergleich der Prä-Post-Differenzen für Problemlösetest

Gruppenvergleich	Teststatistik	SE	z	p	p*
IG vs. KG	1.427	5.305	.269	.788	1.000
IG vs. W	20.343	6.612	3.077	.002**	.006**
KG vs. W	18.915	6.276	3.014	.003**	.008**

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit SE = Standardfehler, z = standardisierte Teststatistik, p = Signifikanz und p^* = angepasste Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe, W=Wiederholer:innen

Problemlösetest-Subskalen

Sowohl für die Subskala der Problemrepräsentation ($H = 1.816, p = .403$), der Lösungsschritte ($H = .370, p = .831$) als auch für die Subskala der Lösungserklärung ($H = 3.284, p = .194$) ergeben sich zum Prä-Messzeitpunkt keine Gruppenunterschiede.

Problemrepräsentation

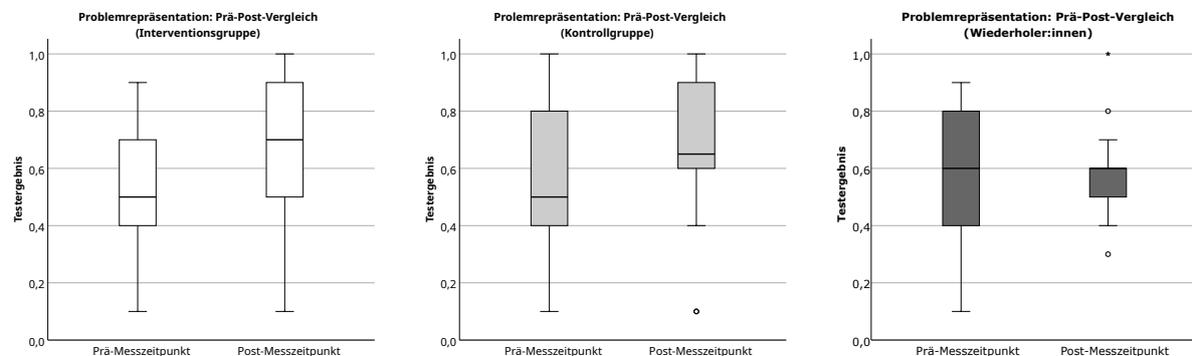


Abb. 14.29. Prä-Post-Vergleich aller Gruppen für Problemrepräsentation

Tabelle 14.36. Prä-Post-Mittelwertvergleich für Problemrepräsentation pro Gruppe

Gruppe	<i>N</i>	Gepaarter t-Test	Cohens <i>d</i>	<i>p</i>
Interventionsgruppe	22	$t(21) = 1.904$	.406	.035*
Kontrollgruppe	30	$t(29) = 2.041$	.373	.025*
Wiederholer:innen	13	$t(12) = -.310$	-.086	.381

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit *N* = Stichprobengröße, Cohens *d* = Effektstärke, *p* = Signifikanz

Für die Problemrepräsentation kann kein signifikanter Gruppenunterschied beobachtet werden ($H = 2.280, p = .320$).

Lösungsausarbeitung

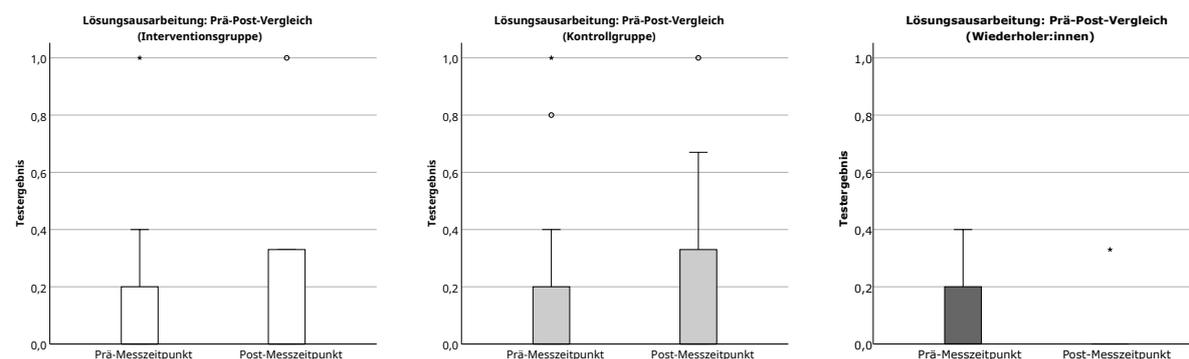


Abb. 14.30. Prä-Post-Vergleich aller Gruppen für Lösungsausarbeitung

Tabelle 14.37. Prä-Post-Vorzeichen-Rangvergleich für Problemlösung pro Gruppe

Gruppe	<i>N</i>	<i>z</i>	<i>r</i>	zweiseitiges <i>p</i>
Interventionsgruppe	18	.179	.042	.858
Kontrollgruppe	20	.458	.102	.647

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit *N* = Stichprobengröße, *z* = standardisierte Teststatistik, *r* = Effektstärke, *p* = Signifikanz

Für die Skala der Lösungsausarbeitung lässt sich kein signifikanter Gruppenunterschied durch den Kruskal-Wallis-Test feststellen ($H = .955, p = .620$).

Lösungsevaluation

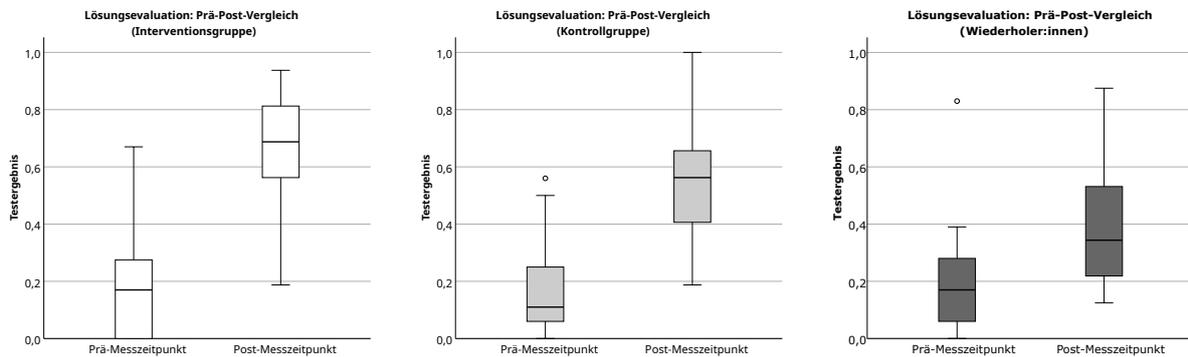


Abb. 14.31. Prä-Post-Vergleich beider Gruppen für Lösungsevaluation

Tabelle 14.38. Prä-Post-Mittelwertvergleich für Lösungsevaluation pro Gruppe

Gruppe	<i>N</i>	Gepaarter t-Test	Cohens <i>d</i>	<i>p</i>
Interventionsgruppe	19	$t(18) = 7.698$	1.766	< .001***
Kontrollgruppe	27	$t(26) = 9.750$	1.876	< .001***
Wiederholer:innen	12	$t(11) = 3.694$	1.066	.002**

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Mit *N* = Stichprobengröße, Cohens *d* = Effektstärke, *p* = Signifikanz

Für den Vergleich der Lösungserklärung ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen ($H = 13.818, p < .001$).

Tabelle 14.39. Test auf Gruppenunterschiede der Prä-Post-Differenzen für Subskala Lösungserklärung

Gruppenvergleich	Teststatistik	<i>SE</i>	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>p</i> *
IG vs. KG	6.918	5.055	1.369	.171	.513
IG vs. W	22.974	6.225	3.691	< .001***	.001***
KG vs. W	16.056	5.857	2.741	.006**	.018*

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

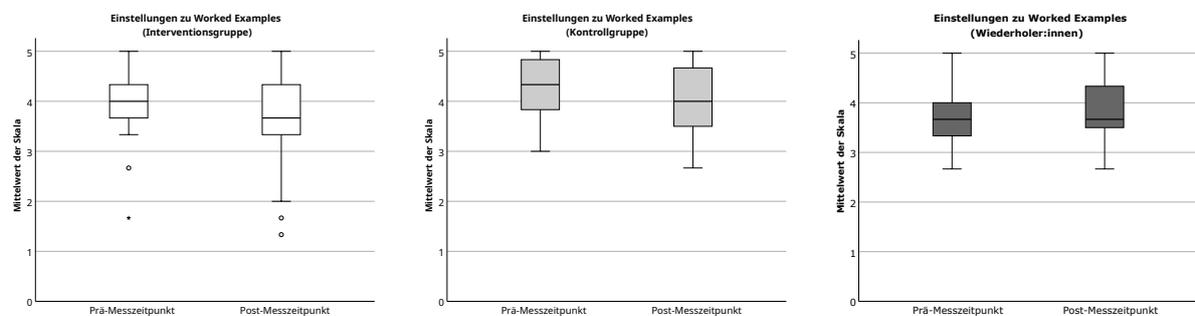
Mit *SE* = Standardfehler, *z* = standardisierte Teststatistik, *p* = Signifikanz und *p** = angepasste Signifikanz, IG=Interventionsgruppe, KG=Kontrollgruppe, W=Wiederholer:innen

Einstellungen der Studierenden

Einstellungen zu Worked Examples

Tabelle 14.40. Deskriptive Daten der Einstellungen der Studierenden zu Worked Examples

Gruppe	Messzeitpunkt	<i>N</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>
Interventionsgruppe	Prä	22	3.86 ± .75
Interventionsgruppe	Post	22	3.65 ± 1.01
Kontrollgruppe	Prä	32	4.26 ± .62
Kontrollgruppe	Post	32	3.99 ± .69
Wiederholer:innen	Prä	15	3.60 ± .62
Wiederholer:innen	Post	15	3.87 ± .70



(a) Interventionsgruppe

(b) Kontrollgruppe

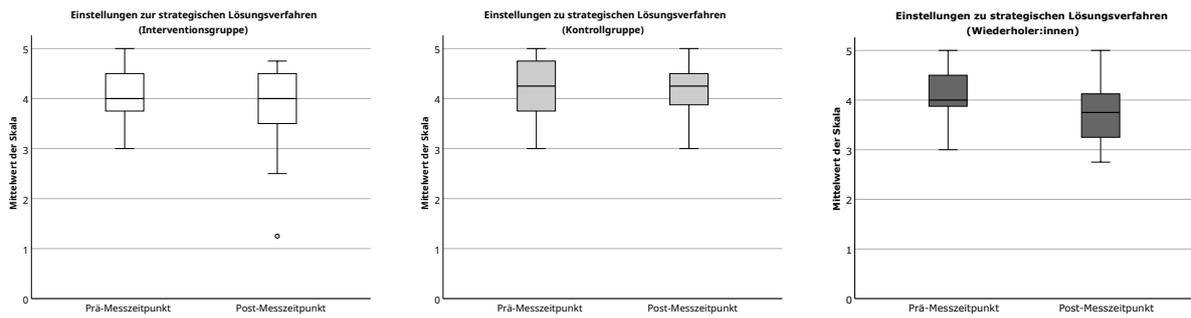
(c) Wiederholer:innen

Abb. 14.32. Prä-Post-Vergleich der Einstellungen zu Worked Examples pro Gruppe

Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren

Tabelle 14.41. Deskriptive Daten der Einstellungen der Studierenden zu strategischen Lösungsverfahren

Gruppe	Meszeitpunkt	<i>N</i>	<i>M</i> ± <i>SD</i>
Interventionsgruppe	Prä	22	4.05 ± .55
Interventionsgruppe	Post	22	3.84 ± .84
Kontrollgruppe	Prä	32	4.22 ± .56
Kontrollgruppe	Post	32	4.20 ± .50
Wiederholer:innen	Prä	15	4.05 ± .53
Wiederholer:innen	Post	15	3.77 ± .69



(a) Interventionsgruppe

(b) Kontrollgruppe

(c) Wiederholer:innen

Abb. 14.33. Prä-Post-Vergleich der Einstellungen zu strategischen Lösungsverfahren pro Gruppe

Test auf Normalverteilung

Deklaratives Wissen über Problemschemata

Tabelle 14.42. Test auf Normalverteilung pro Gruppe für DWPS
(vollständige Datensätze zum Prä-MZP)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.977	40	.597
Kontrollgruppe	.942	44	.027
Wiederholer	.924	24	.071

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.43. Test auf Normalverteilung pro Gruppe für DWPS
(Prä-Post-Differenzen)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.967	22	.634
Kontrollgruppe	.120	33	.132
Wiederholer	.242	14	.027*

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Sortieraufgaben

Tabelle 14.44. Tests auf Normalverteilung für Sortieraufgaben pro Gruppe
(vollständige Datensätze zum Prä-MZP)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.561	39	< .001***
Kontrollgruppe	.586	44	< .001***
Wiederholer	.749	24	< .001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.45. Tests auf Normalverteilung für Sortieraufgaben pro Gruppe
(Prä-Post-Differenzen)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.928	20	.141
Kontrollgruppe	.914	31	.016*
Wiederholer	.891	11	.144

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Problemlösen

Tabelle 14.46. Tests auf Normalverteilung für Problemlösetest
(vollständige Datensätze zum Prä-MZP)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.869	41	< .001***
Kontrollgruppe	.903	44	.001***
Wiederholer	.905	24	.027*

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.47. Tests auf Normalverteilung für Problemlösetest
(Prä-Post-Differenzen)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.959	22	.462
Kontrollgruppe	.958	30	.267
Wiederholer:innen	.957	13	.711

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Subskalen des Problemlösetests

Problemrepräsentation

Tabelle 14.48. Tests auf Normalverteilung für Problemrepräsentation
(vollständige Datensätze Prä-MZP)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.939	41	.030
Kontrollgruppe	.961	44	.139
Wiederholer:innen	.951	24	.290

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.49. Tests auf Normalverteilung für Problemrepräsentation
(Prä-Post-Differenzen)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.952	22	.349
Kontrollgruppe	.977	30	.743
Wiederholer:innen	.952	13	.631

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Lösungsausarbeitung

Tabelle 14.50. Tests auf Normalverteilung für Lösungsausarbeitung
(vollständige Datensätze Prä-MZP)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.590	25	< .001***
Kontrollgruppe	.566	32	< .001***
Wiederholer:innen	.735	14	< .001***

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.51. Tests auf Normalverteilung für Lösungsausarbeitung
(Prä-Post-Differenzen)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.885	19	.027
Kontrollgruppe	.896	22	.025
Wiederholer:innen	.932	7	.564

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Lösungsevaluation

Tabelle 14.52. Tests auf Normalverteilung für Lösungsevaluation
(vollständige Datensätze Prä-MZP)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.824	32	< .001***
Kontrollgruppe	.797	36	< .001***
Wiederholer:innen	.875	18	.022

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Tabelle 14.53. Tests auf Normalverteilung für Lösungsevaluation
(Prä-Post-Differenzen)

Gruppen	Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz
Interventionsgruppe	.921	19	.118
Kontrollgruppe	.977	27	.786
Wiederholer:innen	.948	12	.609

Anmerkung. * $p \leq .05$; ** $p \leq .01$; *** $p \leq .001$

Kodiermanual zur strukturellen Einteilung von Physikaufgaben

Einleitung

Das nachfolgende Kodiermanual dient der Einteilung von Physikaufgaben nach verschiedenen Bewertungsvorgaben. Dazu werden zunächst verschiedene Dimensionen ausgewählt, die im Weiteren berücksichtigt werden. Die Zuordnung einer passenden Kategorie pro Dimension soll anhand dieses Manuals eindeutig erfolgen können. Dazu werden zunächst die einzelnen Dimensionen, also Bewertungsmaßstäbe, näher beschrieben und nachfolgend die verschiedenen Kategorien, also Merkmalsausprägungen. Im Sinne einer möglichst objektiven Bewertung, werden an verschiedenen Stellen Hinweise zur Abgrenzungen der einzelnen Kategorien, sowie Beispiele angeführt.

Hinweise für Rater

Nachfolgend werden die Aufgaben eines ausgewählten Aufgabenpools und verschiedener Übungsblätter kodiert. In den angegebenen Beispielen wird zur Orientierung ebenfalls die verwendete Aufgabennummer angegeben. Es werden nur die Aufgaben selbst bewertet ohne die in Klammern angegebenen Kontrolllösungen.

Inhalt und Sachstruktur

Inhaltsbereich

Die Inhaltsbereiche werden aufgeteilt in vier grundlegende Themenbereiche der Mechanik, die sich bereits in anderen Untersuchungen als zentral erwiesen haben (vgl. Brandenburger 2017; Chi et al. 1981). Der Inhaltsbereich bezieht sich dabei auf das notwendige Problemschema, dass zur Lösung der Aufgabe verwendet werden muss bzw. kann. Es werden stets alle vorkommenden Inhaltsbereiche kodiert. Dabei kann die Bearbeitung der

Aufgabe einerseits den Rückgriff auf verschiedene Problemschemata voraussetzen oder es sind alternative Lösungsmöglichkeiten denkbar. Diese Unterscheidung wird über die Dimension *Lösungsmöglichkeit* erfasst und muss hier demnach nicht spezifiziert werden. Lediglich die Reihenfolge der Inhaltsbereiche wird an dieser Stelle berücksichtigt. Dabei wird zunächst der ursprünglich intendierte Inhaltsbereich der Aufgabe kodiert, der sich durch die Benennung des jeweiligen Übungsblattes oder Kapitels des Aufgabenpools ergibt. Ist eine Aufgabe nur durch Kombination dieses Inhaltsbereichs mit einem oder mehreren weiteren zu lösen, werden diese nachfolgend kodiert. Abschließend werden Inhaltsbereiche kodiert, über die eine Alternativlösung möglich ist, auch wenn diese zum gegebenen Zeitpunkt eventuell noch unbekannt ist. Dabei wird die thematisch aufsteigende Reihe eingehalten. Für den inhaltlichen Verlauf des Lernprozesses wird dabei vorausgesetzt, dass die Inhaltsbereiche in folgender Reihenfolge erarbeitet werden: Kinematik, Kräfte, Energie- und Impulserhaltung.

Kinematik

Die Kategorie Kinematik wird kodiert, wenn die Aufgabe im Wesentlichen durch die Bezugnahme auf das Wissen über Bewegungen und Bewegungsgleichungen gelöst werden kann. Die physikalischen Größen *Ort*, *Geschwindigkeit*, *Beschleunigung* und *Zeit* stehen hier im Mittelpunkt.

Zudem ist die Zuordnung zu dem entsprechenden Bewegungstyp oft wesentlicher Aspekt der Bearbeitung (gleichförmige oder gleichmäßig beschleunigte Bewegung). Dabei kann auch eine Kombination von Bewegungstypen möglich sein (bspw. im Sinne einer Superposition bei einem schrägen Wurf). Neben der Verwendung der Bewegungsgleichungen ist in der Regel die Identifikation von Anfangsbedingungen bzgl. Ort und Geschwindigkeit notwendig. Auch die Beschreibung von Kreisbewegungen fällt in diese Kategorie, sofern keine Betrachtung der zugehörigen Kräfte notwendig ist.

Im Folgenden werden elementare Formeln für diesen Lösungsansatz aufgeführt:

Gleichförmige Bewegung	Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	Kreisbewegung
$\vec{s}(t) = \vec{v}_0 \cdot t + \vec{s}_0$	$\vec{s}(t) = \frac{1}{2} \vec{a} \cdot t^2 + \vec{v}_0 \cdot t + \vec{s}_0$	$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$
$\vec{v}(t) = \vec{v}_0$	$\vec{v}(t) = \vec{a} \cdot t + \vec{v}_0$	$|\vec{v}_B| = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f = \omega r$
$\vec{a}(t) = \vec{0}$	$\vec{a}(t) = \vec{a}$	$a_r = \frac{v_B^2}{r} = \omega^2 r = \alpha \cdot r$

Schnittmenge: Energie

Die Kategorien Energie und Kinematik haben naturgemäß eine Schnittmenge an Problemstellungen, die mit beiden Lösungsansätzen bearbeitet werden können. Dabei bieten beide

Ansätze verschiedene Vorteile je nach Problemstellung. Eine doppelte Lösungsmöglichkeit wird anhand der Dimension 8 *Lösungsmöglichkeit* dargestellt.

Es bleibt jedoch zu berücksichtigen, dass die Aufgaben je nach Lernstand der Studierenden nur mit einem Ansatz gelöst werden können, sofern der andere noch nicht bekannt ist. Daher wird im Falle einer doppelten Lösungsmöglichkeit diejenige als Haupt-Inhaltsbereich kodiert, die durch die angegebenen Größen als intendiert erscheint.

Ist beispielsweise die Masse eines Körpers angegeben, ist in der Regel die Kategorie *Energie* zu wählen, da diese Angabe für Berechnungen mittels der Bewegungsgleichungen überflüssig ist. Diese Angabe ist jedoch generell für die Kategorie *Energie* nicht immer notwendig.

Ist hingegen die Zeit oder Beschleunigung (mit Ausnahme der Erdbeschleunigung) angegeben, ist in der Regel die Kategorie *Kinematik* zu wählen, da für Berechnungen mittels des Energieansatzes diese Angaben überflüssig sind.

Abgrenzung *Kräfte*:

Wenn für die Lösung einer Aufgabe mathematisch die Betrachtung der Beschleunigungen ausreicht, jedoch konzeptuell zunächst die Betrachtung der Kräfte erfolgt, wird dennoch der Inhaltsbereich *Kräfte* kodiert.

Kräfte

Die Kategorie Kräfte wird kodiert, wenn die Aufgabe im Wesentlichen durch die Bezugnahme auf das Wissen zu Kräften, dem Zusammenwirken von Kräften oder der Ursache und Wirkung von Kräften gelöst werden kann. Es stehen vor allem verschiedene Kräfte, sowie deren abhängige Größen, im Mittelpunkt. Durch die Einschränkung auf das Themenfeld der Mechanik ergibt sich damit die Begrenzung auf folgende Kräfte:

Beschleunigungskraft	$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$
Gewichtskraft	$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$
Gravitationskraft	$\vec{F}_G = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r$
Normalkraft	$\vec{F}_N = m \cdot \vec{g} \cdot \cos \alpha$
Hangabtriebskraft	$\vec{F}_{Ha} = m \cdot \vec{g} \cdot \sin \alpha$
Reibungskräfte	$\vec{F}_r = \mu \cdot \vec{F}_N = \mu \cdot m \cdot \vec{g} \cdot \sin \alpha$
Federkraft	$\vec{F}_s = -k \cdot \vec{s}$
Zentripetalkraft	$\vec{F}_z = \frac{m \cdot \vec{v}^2}{\vec{r}}$

Abgrenzung *Kinematik*:

Wenn für die Lösung einer Aufgabe mathematisch die Betrachtung der Beschleunigungen ausreicht, jedoch konzeptuell zunächst die Betrachtung der Kräfte erfolgt, wird dennoch der Inhaltsbereich *Kräfte* kodiert.

Energie

Die Kategorie Energie wird kodiert, wenn die Aufgabe im Wesentlichen durch die Bezugnahme auf das Wissen zum Konzept der Energie, Energieformen, Energieumwandlung, Energieübertragung, Energieerhaltung, Energieentwertung oder Arbeit gelöst werden kann.

Im Folgenden werden elementare Formeln für diesen Lösungsansatz aufgeführt:

potentielle Energie	$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$
kinetische Energie	$E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
Spannenergie	$E_s = \frac{1}{2} k \cdot s^2$
Rotationsenergie	$E_{rot} = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} m \cdot r \cdot \omega^2$
Arbeit	$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot s \cdot \cos(\alpha) = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F} \cdot \vec{s} d\vec{s}$
Energieerhaltung	$E_{Ges,vor} = E_{Ges,nach}$

Impuls

Die Kategorie Impuls wird kodiert, wenn die Aufgabe im Wesentlichen durch die Bezugnahme auf das Wissen zum Konzept des Impulses, der Impulserhaltung oder der Impulsübertragung gelöst werden kann. Im Besonderen werden dabei der zentrale elastische und zentrale vollkommen inelastische Stoß berücksichtigt.

Im Folgenden werden elementare Formeln für diesen Lösungsansatz aufgeführt:

Impuls	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
Impulserhaltung	$p_{ges,vor} = p_{ges,nach}$
zentraler elastischer Stoß	$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2} \quad v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$
zentraler vollkommen inelastischer Stoß	$v' = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$

Lösungsansatz

Die Dimension Lösungsansatz berücksichtigt alle im Rahmen einer Aufgabe benötigten Ansätze. Um eine möglichst differenzierte Darstellung der relevanten Teilschritte zu ermöglichen, werden die Lösungsansätze entsprechend spezifisch zugeschnitten. Die gesamte Lösung lässt sich somit durch eine Überlagerung aller vorkommenden Lösungsansätze abzeichnen.

Das bedeutet, dass allgemeinere Lösungsansätze ggf. noch durch Spezifikationen ergänzt werden, die diesen allgemeinen Ansatz bereits beinhalten. Dies erfolgt allerdings nur, sofern verschiedene Spezifikationen möglich sind. So kann beispielsweise der Lösungsansatz *Energiebilanz* durch die darin enthaltenen Energieformen spezifiziert werden, während der Lösungsansatz *schiefe Ebene* bereits die Betrachtung der Gewichtskraft, Normalkraft und Hangabtriebskraft beinhaltet.

Die entsprechenden Ansätze sind somit nicht mehr ausschließlich auf einen Inhaltsbereich beschränkt. Werden in einer Aufgabe beispielsweise Wissens Elemente zu Energie und Kinematik benötigt, lässt sich dies an dieser Stelle abbilden.

Für den Fall verschiedener Lösungsmöglichkeiten (s. Dimension *Lösungsmöglichkeit*), werden die hinzukommenden Lösungsansätze separat als alternative Lösungsansätze kodiert. Es wird zunächst die zentrale Lösung kodiert, auch wenn diese nicht zwingend dem curricularen Auftauchen entspricht. Sind mathematische Variationen denkbar (bspw. durch die Wahl des Bezugssystems) wird stets die einfachere Möglichkeit kodiert (z. B. ohne Randbedingungen).

Die Kodierung der Lösungsansätze ist dabei thematisch strukturiert. Die übergeordnete Thematik gibt die erste Ziffer des dreistelligen Codes an und die Spezifikation innerhalb dieses Bereichs bestimmt die zweite und dritte Stelle. Die Reihenfolge der Kodierung erfolgt von der kleinsten zur höchsten Ziffer.

2.0 mathematische Ergänzung

Die Kodierung aller Lösungsansätze zur mathematischen Ergänzung beginnen mit der Ziffer 0. Dabei werden Ansätze erfasst, die nicht explizit physikalisch sind, aber dessen Berücksichtigung physikalisch relevant ist (z. B. trigonometrische Beziehungen zur Berechnung der Teilkomponenten einer Kraft).

Trigonometrische Beziehung

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn trigonometrische Beziehungen für die Berechnung eines Winkels oder einer anderen Größe (z. B. Strecke oder Kraft) benötigt werden.

Betrag eines Vektors

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Betrag eines Vektors berechnet werden muss.

Kinematik

Die Lösungsansätze der Kinematik werden im Sinne der Transparenz in die Abschnitte *gleichförmige Bewegung*, *beschleunigte Bewegung*, *mehrdimensionale Bewegung* und *Kreisbewegung* unterteilt. Wenn durch die Wahl verschiedener Bezugssysteme eine Unterscheidung der Randbedingungen möglich ist, wird grundsätzlich der Lösungsansatz mit weniger Randbedingungen gewählt.

Gleichförmige Bewegung

Die Kodierung aller Lösungsansätze zur gleichförmigen Bewegung beginnen mit der Ziffer 1.

Verwenden von $s(t)$

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Bewegungsgleichung $s(t) = v \cdot t$ in dieser Form verwendet oder umgestellt werden muss.

Verwenden von $s(t)$ mit s_0

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Bewegungsgleichung $s(t) = v \cdot t + s_0$ in dieser Form verwendet oder umgestellt werden muss.

Mehrere gleichgerichtete Bewegungen

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn verschiedene Bewegungen für Berechnungen verwendet werden, die gleichgerichtet sind. Dies kann einerseits die Bewegung mehrerer Körper betreffen, andererseits aber auch die Bewegung eines Körpers für verschiedene Zeitintervalle. Mindestens eine dieser Bewegungen ist dabei beschleunigt.

Mehrere unterschiedlich gerichtete Bewegungen

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn verschiedene Bewegungen für Berechnungen verwendet werden, die unterschiedlich gerichtet sind. Dies kann einerseits die Bewegung mehrerer Körper betreffen, andererseits aber auch die Bewegung eines Körpers für

verschiedene Zeitintervalle. Mindestens eine dieser Bewegungen ist dabei beschleunigt. Die Kategorie wird nicht bei der Überlagerung verschiedener Bewegungen im Sinne der Superposition kodiert. In diesem Fall greifen die Kategorien *senkrechter Wurf*, *waagerechter Wurf* und *schiefer Wurf*.

Grafische Darstellung einer Bewegung

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang $s(t)$ einer Bewegung in Form eines Diagramms dargestellt werden soll. An dieser Stelle wird mit einer Bewegung die Bewegung eines einzelnen Körpers beschrieben. Diese darf sich dennoch in verschiedenen Intervallen unterschiedlich verhalten.

Grafische Darstellung mehrerer Bewegungen

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang $s(t)$ mehrerer Bewegungen in Form eines Diagramms dargestellt werden soll. An dieser Stelle sind damit die Bewegungen von mindestens zwei unterschiedlichen Körpern gemeint.

Beschleunigte Bewegung

Die Kodierung aller Lösungsansätze zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung beginnen mit der Ziffer 2.

Verwenden von $s(t)$

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Bewegungsgleichung $s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2$ in dieser Form verwendet oder umgestellt werden muss.

Verwenden von $s(t)$ mit v_0

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Bewegungsgleichung $s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t$ in dieser Form verwendet oder umgestellt werden muss.

Verwenden von $s(t)$ mit s_0

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Bewegungsgleichung $s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + s_0$ in dieser Form verwendet oder umgestellt werden muss.

Verwenden von $s(t)$ mit v_0 und s_0

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Bewegungsgleichung $s(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$ in dieser Form verwendet oder umgestellt werden muss.

Maximale Höhe/Bremsweg/Beschleunigungsweg/Reichweite

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Berechnung einer spezifischen Strecke (z. B. maximale Höhe, Bremsweg, Beschleunigungsweg, Reichweite) gefordert ist.

Fallzeit/Bremszeit/Beschleunigungszeit

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Berechnung einer spezifischen Zeit (z. B. Fallzeit, Bremszeit, Beschleunigungszeit) gefordert ist.

Aufprallgeschwindigkeit/Anfangsgeschwindigkeit

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Berechnung einer spezifischen Geschwindigkeit (Aufprallgeschwindigkeit, Anfangsgeschwindigkeit,) gefordert ist.

Verwenden von $v(t)$ /Beschleunigung

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn a berechnet wird oder aber die Formel $v(t) = a \cdot t (+v_0)$ umgestellt nach t verwendet werden muss, z. B. zum Einsetzen in die Bewegungsgleichung $s(t)$. Die Berechnung der Geschwindigkeit über diese Formel erfolgt hingegen über den Lösungsansatz *Aufprallgeschwindigkeit/Anfangsgeschwindigkeit*

Verschiedene gleichgerichtete Bewegungen

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn verschiedene Bewegungen betrachtet werden, die gleich gerichtet sind. Dies kann einerseits die Bewegung mehrerer Körper betreffen, andererseits aber auch die Bewegung eines Körpers für verschiedene Zeitintervalle. Auch die Änderung der Bewegungsform wird hier berücksichtigt.

Verschiedene unterschiedlich gerichtete Bewegungen

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn verschiedene Bewegungen betrachtet werden, die unterschiedlich gerichtet sind. Dies kann einerseits die Bewegung mehrerer Körper betreffen, andererseits aber auch die Bewegung eines Körpers für verschiedene Zeitintervalle. Auch die Änderung der Bewegungsform wird hier berücksichtigt. Die Kategorie wird

nicht bei der Überlagerung verschiedener Bewegungen im Sinne der Superposition kodiert. In diesem Fall greifen die Kategorien *senkrechter Wurf*, *waagerechter Wurf* und *schiefen Wurf*.

$s(t)$ grafisch

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang $s(t)$ einer Bewegung als Diagramm dargestellt wird.

$v(t)$ grafisch

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang $v(t)$ einer Bewegung als Diagramm dargestellt wird.

$a(t)$ grafisch

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang $a(t)$ einer Bewegung als Diagramm dargestellt wird.

Grafische Darstellung mehrerer Bewegungen $s(t)$

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang $s(t)$ mehrerer Bewegungen, von denen mindestens eine beschleunigt ist, als Diagramm dargestellt wird.

Grafische Darstellung mehrerer Bewegungen $v(t)$

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang $v(t)$ mehrerer Bewegungen, von denen mindestens eine beschleunigt ist, als Diagramm dargestellt wird.

Mehrdimensionale Bewegung

Die Kodierung aller Lösungsansätze zur mehrdimensionalen Bewegung beginnen mit der Ziffer 3. Die nachfolgenden Spezifikationen der mehrdimensionalen Bewegung gehen immer mit einer entsprechenden Bewegungsgleichung einher, die bereits in dem Spezialfall enthalten ist, sodass diese nicht extra kodiert wird.

Freier Fall

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Bewegung sich lediglich durch die negative Beschleunigung in y-Richtung aufgrund der Erdanziehung auszeichnet und keine Anfangsgeschwindigkeit vorhanden ist. Es wird demnach die Formel $s(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2$ oder $s(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + s_0$ bzw. $v(t) = -g \cdot t$ verwendet oder umgestellt.

Senkrechter Wurf

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Bewegung sich durch die negative Beschleunigung in y-Richtung aufgrund der Erdanziehung auszeichnet und eine Anfangsgeschwindigkeit in y-Richtung vorhanden ist. Es wird demnach die Formel $s(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_0 \cdot t$ oder

$s(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$ bzw. $v(t) = -g \cdot t + v_0$ verwendet oder umgestellt.

Waagerechter Wurf

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn eine mehrdimensionale Bewegung mit Beschleunigung in y-Richtung und konstanter Geschwindigkeit in x-Richtung beschrieben wird, sodass eine Aufteilung der Bewegungsgleichungen in x- und y-Richtung erforderlich ist. Dabei wird in der Regel die Reichweite des Wurfs mit der Formel $x(t) = v_{0,x} \cdot t_{\text{Aufprall}} (+x_0) = v_{0,x} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} (+x_0)$ erfragt.

Schräger Wurf/Komponenten von $\mathbf{v}(t)$

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn eine mehrdimensionale Bewegung mit Beschleunigung in y-Richtung und konstanter Geschwindigkeit in x- und y-Richtung beschrieben wird, sodass eine Aufteilung der Bewegungsgleichungen in x- und y-Richtung erforderlich ist. Dabei muss die Aufteilung der Geschwindigkeit in ihre Komponenten berücksichtigt werden. Es gelten in der Regel folgende Bewegungsgleichungen: $y(t) = -\frac{1}{2}g \cdot t^2 + v_{0,y} \cdot t (+y_0)$ und $v(t) = -g \cdot t + v_{0,y}$ sowie $x(t) = v_{0,x} \cdot t (+x_0)$ und $v(t) = v_{0,x} = \text{const.}$. Im Sinne der Übersichtlichkeit wird an dieser Stelle auch die mathematische Ergänzung *trigonometrische Beziehung* kodiert, obwohl sie im Lösungsansatz inbegriffen ist.

Bahnkurve

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Bahnkurve eines Wurfes also die Beziehung $y(x)$ betrachtet wird. Dies geschieht in der Regel über eine Herleitung der Formel durch Elimination der Zeit aus der Bewegungsgleichung.

Kreisbewegung

Die Kodierung aller Lösungsansätze zur Kreisbewegung beginnen mit der Ziffer 4.

a/α bestimmen

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang für die Radialbeschleunigung oder Winkelbeschleunigung einer Kreisbewegung $a_r = \frac{v_B^2}{r} = \omega^2 r = \alpha \cdot r$ verwendet oder umgestellt werden muss.

v/ω bestimmen

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang für die Bahngeschwindigkeit oder Winkelgeschwindigkeit $|\vec{v}_B| = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f = \omega r$ einer Kreisbewegung verwendet oder umgestellt werden muss. Die Berechnung der Bahngeschwindigkeit über die Radialbeschleunigung wird jedoch über den Lösungsansatz a/α bestimmen abgefragt. Der Lösungsansatz wird demnach nur bei der (ggf. zusätzlichen) Notwendigkeit des genannten Zusammenhangs kodiert.

Periodendauer/Frequenz/Kreisfrequenz verwenden

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn ein Zusammenhang zwischen Periodendauer, Frequenz oder Kreisfrequenz einer Bewegung verwendet wird. Dafür werden folgende Formeln betrachtet: $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T}$ $f = \frac{1}{T}$.

Die Berechnung der Periodendauer, Frequenz oder Kreisfrequenz über die Bahngeschwindigkeit wird jedoch über den Lösungsansatz v/ω bestimmen abgefragt. Der Lösungsansatz wird demnach nur bei der (ggf. zusätzlichen) Notwendigkeit des genannten Zusammenhangs kodiert.

$\varphi(t)$ verwenden

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn ein die zeitliche Änderung des Winkels $\varphi(t) = \frac{1}{2}\alpha \cdot t^2 + \omega_0 \cdot t + \varphi_0$ verwendet werden muss.

Kräfte

Die Kodierung aller Lösungsansätze zu Kräften beginnen mit der Ziffer 5.

Newton II

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Zusammenhang $F = m \cdot a$ verwendet oder umgestellt verwendet wird.

Gleichheit bzw. Gleichgewicht von Kräften

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn als Ansatz das Gleichsetzen zweier Kräfte gewählt werden muss. Dabei wird nicht betrachtet, ob es sich um ein tatsächliches Kräftegleichgewicht handelt oder das beispielsweise das Wirken einer Kraft als eine weitere.

Schiefe Ebene

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn eine schiefe Ebene betrachtet wird. Dabei werden in der Regel folgende Kräfte betrachtet: Hangabtriebskraft, Normalkraft, Gewichtskraft und Reibungskräfte. Das Betrachten dieser Kräfte wird in diesem Fall also nicht separat erfasst, da es in der Regel zu dem genannten Lösungsansatz dazu gehört. Auch der Lösungsansatz *Kraftkomponenten* wird nicht extra erfasst, da auch dieser implizit inbegriffen ist. Die mathematische Ergänzung *trigonometrische Beziehung* wird trotz Implikation aus Übersichtszwecken mitkodiert.

Kraftkomponenten

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Aufteilung einer Kraft in ihre Komponenten betrachtet wird. Ausgenommen werden an dieser Stelle lediglich Kräfte an einer schiefen Ebene, da diese in der obenstehenden Kategorie erfasst werden.

Resultierende Kraft

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn das Zusammenwirken verschiedener Kräfte zu einer resultierenden Kraft betrachtet wird.

Grafische Zerlegung/Addition von Kräften

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn eine grafische Erarbeitung einer resultierenden Kraft oder von Kraftkomponenten durch Addition oder Zerlegung von Vektoren erfolgt.

Gewichtskraft

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für die Gewichtskraft $\vec{F}_g = m \cdot g$ verwendet oder umgestellt verwendet wird.

Reibungskräfte

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn Reibungskräfte betrachtet werden. Darunter fallen sowohl die Haftreibungs- als auch Gleit- und Rollreibungskraft. Allgemein gilt:

$$F_R = \mu \cdot F_N = \mu \cdot F_g \cos \phi$$

Gravitationskraft

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für die Gravitationskraft $\vec{F}_G = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \cdot \vec{e}_r$ verwendet oder umgestellt verwendet wird.

Federkraft

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für die Federkraft $\vec{F}_s = -k \cdot \vec{s}$ verwendet oder umgestellt verwendet wird.

Zentripetalkraft

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für die Zentripetalkraft $\vec{F}_z = \frac{m \cdot \vec{v}^2}{\vec{r}}$ verwendet oder umgestellt verwendet wird.

Corioliskraft

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für die Corioliskraft $F_c = 2m\vec{v}\omega \sin \Theta$ verwendet oder umgestellt verwendet wird.

Grafische Darstellung einer Kraft

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Abhängigkeit einer Kraft F von einer anderen Größe (z. B. s oder t) in Form eines Diagramms dargestellt wird.

Energie

Die Kodierung aller Lösungsansätze zur Energie und Arbeit beginnen der Ziffer 6.

Arbeit

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn eine Form der Arbeit berechnet werden muss. Dabei wird in der Regel die Formel $W = F \cdot s$ bzw. $W = \int \vec{F} \cdot \vec{s} d\vec{s}$. Die Spezifikation der zugehörigen Kraft wird somit als separater Lösungsansatz erfasst.

Kinetische Energie

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für die kinetische Energie $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$ verwendet wird.

Potentielle Energie

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für die potentielle Energie $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ verwendet wird.

Spannenergie

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für die Spannenergie $E_{Spann} = \frac{1}{2}ks^2$ verwendet wird.

Rotationsenergie

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formeln für die Rotationsenergie $E_{rot} = \frac{1}{2}I \cdot \omega^2 = \frac{1}{2}m \cdot r \cdot \omega^2$ verwendet wird.

Geschwindigkeit über Energie

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn über die Energiebetrachtung die Geschwindigkeit eines Körpers für einen bestimmten Zeitpunkt der Bewegung berechnet werden soll.

Höhe über Energie

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn über die Energiebetrachtung die Höhe eines Körpers für einen bestimmten Zeitpunkt der Bewegung berechnet werden soll.

Federkonstante über Energie

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn über die Energiebetrachtung die Federkonstante von einem System berechnet werden soll.

Energiebilanz

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Energiebilanz eines Prozesses betrachtet werden soll. Dies ist bereits dann der Fall, wenn zwei Energie- oder Arbeitsformen gleichgesetzt werden, die zu den jeweiligen Zeitpunkten die Gesamtenergie des Systems beschreiben. Die darin beinhalteten Energieformen und somit die Verwendung der zugehörigen Formeln wird zusätzlich mit erfasst, um eine Höhere Transparenz zu schaffen.

Energiebilanz mit Reibung

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Energiebilanz eines Prozesses mit Reibung betrachtet werden soll. Die darin beinhalteten Energieformen und somit die Verwendung der zugehörigen Formeln wird zusätzlich mit erfasst, um eine Höhere Transparenz zu schaffen. Lediglich der Lösungsansatz *Reibungskräfte* wird hier nicht separat erfasst, da dieser bereits im Lösungsansatz inbegriffen ist.

Grafische Energiebilanz

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Energiebilanz eines Prozesses grafisch dargestellt werden soll.

Impuls

Die Kodierung aller Lösungsansätze zum Impuls beginnen der Ziffer 7.

Impuls

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für den Impuls eines Körpers $p = m \cdot v$ verwendet werden soll.

Kraftstoß

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Formel für den Kraftstoß $I = F \cdot \delta t = \delta p$ verwendet werden soll.

Schwerpunktsystem

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn der Impuls des Schwerpunktes eines Systems betrachtet wird.

Impulserhaltung

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Impulserhaltung $p_{vorher} = p_{nachher}$ eines Prozesses verwendet wird.

Elastischer Stoß - ein ruhender Körper

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Geschwindigkeit eines Körpers bei einem elastischen Stoß berechnet werden soll, bei dem ein Körper vor dem Stoß ruht.

Elastischer Stoß - bewegte Körper

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Geschwindigkeit eines Körpers bei einem elastischen Stoß berechnet werden soll, bei dem alle Körper vor dem Stoß in Bewegung sind.

Vollkommen inelastischer Stoß - ein ruhender Körper

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Geschwindigkeit eines Körpers bei einem inelastischen Stoß berechnet werden soll, bei dem ein Körper vor dem Stoß ruht.

Vollkommen inelastischer Stoß - bewegte Körper

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn die Geschwindigkeit eines Körpers bei einem inelastischen Stoß berechnet werden soll, bei dem alle Körper vor dem Stoß in Bewegung sind.

Massenverhältnis

Der Lösungsansatz wird kodiert, wenn für über die Argumentation des Massenverhältnisses der betroffenen Körper eine Vereinfachung der vorliegenden Situation erzielt wird. Dies ist bereits dann der Fall, wenn die Gleichheit zweier Massen verwendet wird.

Hierarchische Komplexität

Die Dimension der *hierarchischen Komplexität* gibt das Vernetzungsniveau des zur Lösung der Aufgabe notwendigen Fachwissens sowie die dazu eigenständig anzugebenden Begründungen an. Hierzu wurde die hierarchische Skaleneinteilung nach Bernholt (2009) mit den Kategorien *Fakten*, *Prozessbeschreibung*, *lineare Kausalität* und *multivariate*

Interdependenz adaptiert, um sie für die vorliegenden Lernaufgaben funktional zu gestalten.

Die Einteilung der Komplexität erfolgt unabhängig von der Einteilung der Fachstufen, sodass eine beliebige Kombination von Fachstufen und Komplexitätsstufen denkbar ist. Es ist stets die Komplexität der zentralen Lösung zu kodieren. Sollten mehrere Lösungen vorkommen, wird die geringste vorkommende Komplexitätsstufe bewertet. Da die verwendeten Aufgaben zum Teil aus verschiedenen Sinneinheiten bestehen, die eine eigene Komplexität aufweisen, wird auch diese Kategorie mehrfach kodiert. Die entsprechenden Sinneinheiten können dabei aus einer oder mehreren Teilaufgaben bestehen (s. *zusammengesetzte multivariate Interdependenz*). Die Reihenfolge der Kodierung richtet sich nach der Reihenfolge der Sinneinheiten innerhalb der Aufgabe.

Wenn eine Sinneinheit vorkommt, die bereits den Bestandteil einer vorher auftretenden Sinneinheit höherer Komplexität darstellt (z. B. eine adaptierte lineare Kausalität nach einer zusammengesetzten multivariaten Interdependenz, die diesen Zusammenhang ebenfalls verwendet), so wird diese nicht zusätzlich kodiert.

Grundlegende Prozessbeschreibung

Die Kategorie *grundlegende Prozessbeschreibung* wird kodiert, wenn die Aufgabe durch die Verknüpfung von zwei oder mehr Fakten, Zuständen oder Positionen gelöst werden muss. "Hierunter fallen Beschreibungen von Vorgängen, die einen zeitlichen Verlauf aufweisen, mit oder ohne Zuhilfenahme von (mental) Modellen." (s. Bernholt et al. 2009, 231).

Auch das Erstellen oder Nutzen von Diagrammen wird dieser Kategorie zugeordnet. An dieser Stelle werden jedoch keine Begründungen oder Berechnungen verlangt, die über das Ablesen von Werten hinausgehen (vgl. Woitkowski 2015).

Diese Kategorie zeichnet sich spezifisch dadurch aus, dass die Beschreibung des Prozesses dabei auf keine eigenständigen Begründungen zurückgreifen muss, sondern durch die Vorlesung in dieser Form bekannt ist. Darunter fallen ausschließlich prototypische Aufgaben, die als Grundform eines Problemtyps gesehen werden können. Ausgeschlossen sind demnach Aufgaben, die zwar analog in der Vorlesung besprochen wurden, jedoch nur einen exemplarischen Charakter haben.

Grundlegende lineare Kausalität

Die Kategorie *grundlegende lineare Kausalität*, wird kodiert, wenn die Aufgabe eine explizite Begründung des Ergebnisses, Verlaufs oder eines anderen linearen Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs verlangt. Diese Begründung kann in Form einer Rechnung

erfolgen, sofern eine Gleichung für eine gesuchte Größe aufgestellt, nach dieser umgestellt und die Rechnung ausgeführt werden kann (vgl. Woitkowski 2015). Auch bei der gezielten Auswahl der gegebenen Aspekte (z. B. die Betrachtung einer Teilkomponente einer mehrdimensionalen Bewegung) wird eine entsprechende Begründung vorgenommen.

Diese Kategorie orientiert sich dabei ebenfalls an den in der Vorlesung behandelten grundlegenden Formeln. Aufgaben, die die reine Berechnung oder Umformung bekannter Grundgleichungen ohne weitere Begründungen oder Adaptionen verlangen, fallen damit in diese Kategorie.

Auch die Betrachtung einer Impulserhaltung fällt in diese Kategorie, da sie im Gegensatz zu einer Energiebilanz oder einem Kräftegleichgewicht in der Regel keine zusätzlichen Adaptionen benötigt.

Eine Ausnahme bilden dabei die Bewegungsgleichungen $s(t)$, $v(t)$ und $a(t)$ einer Bewegung. Da die Verwendung der entsprechenden Zusammenhänge in der Regel gemeinsam auftritt, auch wenn keine komplexe Begründung erforderlich ist, werden die Bewegungsgleichungen derselben Bewegung stets als ein Zusammenhang betrachtet. Sowohl eine separate als auch eine gemeinsame Verwendung, werden daher nicht als mehrere *lineare Kausalitäten* oder eine *multivariate Interdependenz* bzw. *zusammengesetzte multivariate Interdependenz*, sondern lediglich als einzelne *grundlegende* bzw. *adaptierte lineare Kausalität* kodiert.

Beispiel:

Aufgabe 2.4

Im Märchen Rapunzel wurde das Mädchen von der Zauberin in einem Turm eingesperrt, der ohne Tür war und nur oben ein kleines Fenster hatte. Wenn die Zauberin hinein wollte, so stellte sie sich unten hin und rief: „Rapunzel, Rapunzel, lass mir dein Haar herunter.“ Rapunzel hatte lange prächtige Haare, fein wie gesponnenes Gold. Wenn sie nun die Stimme der Zauberin vernahm, so band sie ihre Zöpfe los, wickelte sie oben um einen Fensterhaken und dann fielen die Haare zwanzig Ellen tief hinunter, und die Zauberin stieg daran herauf.“

Wie alt war Rapunzel, wenn sie nie beim Haareschneiden war und die Haare etwa 1 cm im Monat wachsen?

Eine Elle sind etwa 70 cm.

Adaptierte Prozessbeschreibung

Die Kategorie *adaptierte Prozessbeschreibung* wird kodiert, wenn die Aufgabe durch die Verknüpfung von zwei oder mehr Fakten, Zuständen oder Positionen gelöst werden muss. "Hierunter fallen Beschreibungen von Vorgängen, die einen zeitlichen Verlauf aufweisen, mit oder ohne Zuhilfenahme von (mental) Modellen." (s. Bernholt et al. 2009, 231).

Diese Kategorie zeichnet sich spezifisch dadurch aus, dass die Beschreibung des Prozesses dabei auf eigenständige Begründungen zurückgreifen muss und sich von den in der Vorlesung besprochenen prototypischen Grundformen unterscheidet. Auch die Kombination einfacher Zusammenhänge (z. B. durch die Beschreibung zweier Bewegungen in einem Bezugssystem) fällt in diese Kategorie. Auch Aufgaben, die zwar analog in der Vorlesung besprochen wurden, jedoch nur einen exemplarischen Charakter haben, gelten in diesem Sinne als adaptiert.

Adaptierte lineare Kausalität

Die Kategorie *adaptierte lineare Kausalität*, wird kodiert, wenn die Aufgabe eine explizite Begründung des Ergebnisses, Verlaufs oder eines anderen linearen Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs verlangt. Diese Begründung kann in Form einer Rechnung erfolgen, sofern eine Gleichung für eine gesuchte Größe aufgestellt, nach dieser umgestellt und die Rechnung ausgeführt werden kann (vgl. Woitkowski 2015). Auch bei der gezielten Auswahl der gegebenen Aspekte (z. B. die Betrachtung einer Teilkomponente einer mehrdimensionalen Bewegung) wird eine entsprechende Begründung vorgenommen.

Diese Kategorie zeichnet sich ebenfalls dadurch aus, dass die dargestellten Zusammenhänge durch eigenständige Begründungen ergänzt werden müssen und sich von den in der Vorlesung besprochenen prototypischen Grundgleichungen unterscheiden.

Das Aufstellen einer einfachen Energiebilanz oder eines Kräftegleichgewichts fallen dabei klassisch in diese Kategorie.

Auch das Gleichsetzen zweier Bewegungsgleichungen gelten an dieser Stelle als *adaptierte lineare Kausalität*, sofern die Bewegungsgleichungen eine Ursprungsform im Sinne der Lösungsansätze aus Kapitel 2.1 bzw. 2.2 aufweisen. Sofern die Gleichungen durch zusätzliche Annahmen oder Ersetzen vorkommender Größen durch andere Zusammenhänge adaptiert werden müssen, gilt dies als zusätzlicher Zusammenhang, sodass die Kategorie *multivariate Interdependenz* bzw. *zusammengesetzte multivariate Interdependenz* zu wählen ist.

Falls verschiedene lineare Kausalitäten auftauchen, wird die Kategorie in der entsprechenden Anzahl kodiert, sofern sie nicht im Sinne der *zusammengesetzten multivariaten Interdependenz* zusammengehören.

Beziehen sich die Teilaufgaben durch die Verwendung von Rechenergebnissen aufeinander, aber können ansonsten unabhängig voneinander gelöst werden, ist diese Kategorie zu wählen. Ist hingegen das Verständnis mehrerer Teilaufgaben notwendig, um eine weitere zu bearbeiten, wird die Kategorie *zusammengesetzte multivariate Interdependenz* kodiert. Eine Ausnahmen bilden dabei die Bewegungsgleichungen $s(t)$, $v(t)$ und $a(t)$ einer Bewegung. Da die Verwendung der entsprechenden Zusammenhänge in der Regel gemeinsam

auftritt, auch wenn keine komplexe Begründung erforderlich ist, werden die Bewegungsgleichungen derselben Bewegung stets als ein Zusammenhang betrachtet. Sowohl eine separate als auch eine gemeinsame Verwendung, werden daher nicht als mehrere *lineare Kausalitäten* oder eine *multivariate Interdependenz* bzw. *zusammengesetzte multivariate Interdependenz*, sondern lediglich als einzelne *grundlegende* bzw. *adaptierte lineare Kausalität* kodiert.

Werden dabei zwei Aspekte der Bewegung genutzt (z. B. wird $v(t)$ umgeformt und in $s(t)$ eingesetzt) handelt es sich um eine adaptierte lineare Kausalität.

Beispiel:

Aufgabe 2.6

Eine junge Familie (Vater, Mutter, Baby im Wagen) macht einen langen Spaziergang. Auf dem Rückweg bekommt das Baby 1500m vor dem Haus der Familie Hunger und ist nur durch ein Fläschchen zu beruhigen. Der Vater sprintet mit einer konstanten Geschwindigkeit von $11,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ los, schnappt sich zu Hause ohne Pause das bereit stehende Fläschchen und rennt mit der gleichen Geschwindigkeit zurück. Die Mutter ist währenddessen mit konstant $5,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ weitergelaufen.

Wie lange muss das Baby nach dem Losrennen des Vaters schreien, bis es etwas zu trinken bekommt?

Zusammengesetzte multivariate Interdependenz

Die Kategorie *zusammengesetzte multivariate Interdependenz*, wird kodiert, wenn die Aufgabe nur über eine komplexere Argumentation oder mindestens eine Rechnungen, die die Verwendung mehrerer Zusammenhänge verlangt, gelöst werden muss (vgl. Woitkowski 2015). Es sind demnach Begründungen gefordert, die über eindimensionale Zusammenhänge hinausgehen und entweder den Umgang mit komplexen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen oder mehreren linearen Beziehungen fordern (vgl. Bernholt et al. 2009). Die Verwendung zweier konzeptuell verwandter Gleichungen muss demnach ebenfalls durch zwei Argumentationsschritte ausgezeichnet sein, um die Verortung in dieser Kategorie gerecht zu werden.

Diese Kategorie zeichnet sich dadurch aus, dass die Argumentation bereits durch die Aufgabenstellung in verschiedene Teilaufgaben strukturiert ist, sodass der Sachzusammenhang zwar grundsätzlich die Kriterien der *multivariaten Interdependenz* erfüllt, die vorgegebene Zerlegung jedoch eine Verminderung der Komplexität bedeutet.

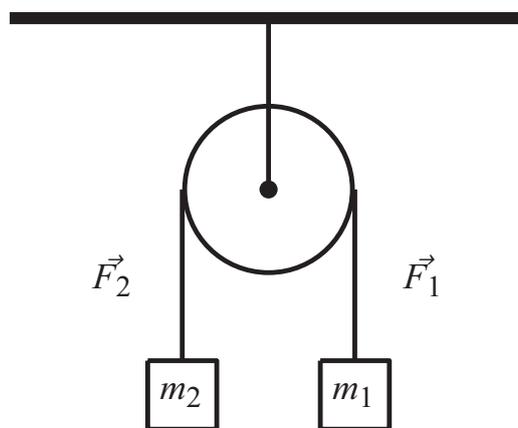
Eine Ausnahmen bilden dabei die Bewegungsgleichungen $s(t)$, $v(t)$ und $a(t)$ einer Bewegung. Da die Verwendung der entsprechenden Zusammenhänge in der Regel gemeinsam auftritt, auch wenn keine komplexe Begründung erforderlich ist, werden die Bewegungsgleichungen derselben Bewegung stets als ein Zusammenhang betrachtet. Sowohl eine

separate als auch eine gemeinsame Verwendung, werden daher nicht als mehrere *lineare Kausalitäten* oder eine *multivariate Interdependenz* bzw. *zusammengesetzte multivariate Interdependenz*, sondern lediglich als einzelne *lineare Kausalität* kodiert.

Beispiel:

Aufgabe 6.14

Die Skizze zeigt eine Versuchsanordnung die als Atwood'sche Maschine bezeichnet wird. Ein Seil wird über eine Rolle geführt und an beiden Seilenden jeweils ein Gewicht m_1 bzw. m_2 angehängt. (Die Bewegung der Rolle kann als reibungsfrei angenommen werden.)



- Stellen Sie die Kräftebilanz auf.
- Berechnen Sie die Beschleunigung der Körper.
- Der Versuchsaufbau kann zur Vermessung der Erdbeschleunigung g benutzt werden. Erklären Sie, warum das ein sinnvoller Ansatz ist.
- Berechnen Sie die Zugspannung F_S auf das Seil zwischen den beiden Klötzen.

Erläuterung: Da die einzelnen Schritte jeweils dem Niveau der *zusammengesetzte multivariate Interdependenz* entsprechen, aber verschiedene Zusammenhänge und Argumentationen darstellen, wird hier *mehrere lineare Kausalitäten* kodiert. Wäre die Lösung nicht durch die Teilaufgaben sequenziert und müsste selbst vom Lernenden strukturiert werden, würde es sich um eine *multivariate Interdependenz* handeln.

Multivariate Interdependenz

Die Kategorie *Multivariate Interdependenz*, wird kodiert, wenn die Aufgabe nur über eine komplexere Argumentation oder mindestens eine Rechnungen, die die Verwendung mehrerer Zusammenhänge verlangt, gelöst werden muss (vgl. Woitkowski 2015). Es sind demnach Begründungen gefordert, die über eindimensionale Zusammenhänge hinaus-

gehen und entweder den Umgang mit komplexen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen oder mehreren linearen Beziehungen fordern (vgl. Bernholt et al. 2009).

Die Verwendung zweier konzeptuell verwandter Gleichungen muss demnach ebenfalls durch zwei Argumentationsschritte ausgezeichnet sein, um die Verortung in dieser Kategorie gerecht zu werden.

Diese Kategorie zeichnet sich dadurch aus, dass die Argumentation vollkommen eigenständig zu leisten ist. Es ist also keine Einteilung in Teilaufgaben gegeben, die eine entsprechende Planung oder Strukturierung vereinfachen würde.

Eine Ausnahmen bilden dabei die Bewegungsgleichungen $s(t)$, $v(t)$ und $a(t)$ einer Bewegung. Da die Verwendung der entsprechenden Zusammenhänge in der Regel gemeinsam auftritt, auch wenn keine komplexe Begründung erforderlich ist, werden die Bewegungsgleichungen derselben Bewegung stets als ein Zusammenhang betrachtet. Sowohl eine separate als auch eine gemeinsame Verwendung, werden daher nicht als mehrere *lineare Kausalitäten* oder eine *multivariate Interdependenz* bzw. *zusammengesetzte multivariate Interdependenz*, sondern lediglich als einzelne *lineare Kausalität* kodiert.

Eine weitere Ausnahme bilden Aufgaben unter der Verwendung von Diagrammen, sofern für die Bearbeitung der Aufgabe die Verwendung elementarer Gleichungen (z. B. zum Berechnen einer Steigung) und das Ablesen oder Erstellen eines Diagramms kombiniert werden muss. An dieser Stelle wird die Kategorie *Prozessbeschreibung* und ggf. *lineare Kausalität* kodiert.

Falls mehrere multivariate Interdependenzen vorkommen, werden sie ebenfalls in der entsprechenden Anzahl kodiert.

Beispiel:

Aufgabe 6.11

Wir lassen eine Masse von 3kg eine schiefe Ebene mit einem Winkel von 30° herunterrutschen. Welche Geschwindigkeit hat die Masse nach 10s unter Vernachlässigung der Reibung, welche Geschwindigkeit hat sie bei einem Reibkoeffizienten von $\mu = 0,2$?

Erläuterung:

Da zunächst die Beschleunigung über die resultierende Bewegung hergeleitet werden muss und im Nachgang die Bewegungsgleichungen betrachtet werden müssen, sind hier verschiedene Argumentationen notwendig, sodass die Kategorie *multivariate Interdependenz* kodiert wird.

Niveaustufen

Die Dimension *Niveaustufen* gibt an, welche Schwierigkeit den Aufgaben beigemessen wird. Sie leitet sich aus der Dimension *hierarchische Komplexität* ab und dient der Transparenz den Studierenden gegenüber.

Niveaustufe 1

Aufgaben auf Niveaustufe 1 umfassen ausschließlich die Komplexitätsstufen *grundlegende Prozessbeschreibung* und *grundlegende lineare Kausalität*.

Niveaustufe 2

Aufgaben auf Niveaustufe 2 enthalten mindestens eine der Komplexitätsstufen *adaptierte Prozessbeschreibung* und *adaptierte lineare Kausalität*.

Niveaustufe 3

Aufgaben auf Niveaustufe 3 enthalten mindestens einmal die Komplexitätsstufe *zusammengesetzte multivariate Interdependenz*.

Niveaustufe 4

Aufgaben auf Niveaustufe 4 enthalten mindestens einmal die Komplexitätsstufe *multivariate Interdependenz*.

Scaffolding

Die Dimension *Scaffolding* erfasst den Zusammenhang zwischen zusätzlichen Lernhilfen in Form von Zwischenaufgaben und der zugehörigen Komplexität.

Lernhilfen

Die Kategorie *Lernhilfen* erfasst die in dem Lernmaterial eingesetzten Lernhilfen in Form von Zwischenaufgaben. Um ein Ansteigen der Komplexität unter Berücksichtigung dieser Lernhilfen im Sinne des Scaffoldings zu gewährleisten, wird zunächst die Anzahl der Zwischenaufgaben pro Sinneinheit kodiert. Diese Sinneinheiten werden wie bereits bei

der Dimension *hierarchische Komplexität* beschrieben, durch eine gemeinsame Begründung charakterisiert. Die Anzahl der Sinneinheiten gibt die entsprechende Anzahl der Kodierungen an. Die Wiederholung gleicher Lernhilfen bei gleichen Sinneinheiten, wird daher nicht mehrfach kodiert (s. z. B. Aufgabe „Ballwurf“ .)

normierte Komplexität

Die Kategorie *normierte Komplexität* gibt das Verhältnis der Komplexität der jeweiligen Sinneinheit zur entsprechenden Anzahl von Lernhilfen an, um einen Grad der Unterstützung abzuschätzen. Um auch Aufgaben ohne Lernhilfen berücksichtigen zu können, wird bei der Formel im Nenner eine 1 addiert, sodass die Komplexität dieser Aufgaben unverändert bleiben. Für alle weiteren Aufgaben ergibt sich eine entsprechende Verschiebung, die als nicht ausschlaggebend bewertet wird:

$$\bar{K}_S = \frac{K}{L+1}$$

Dabei stellt \bar{K}_S die normierte Komplexität einer Sinneinheit, K die entsprechende hierarchische Komplexität und L die Anzahl der Lernhilfen dar.

Scaffolding-Index

Die Kategorie *Scaffolding-Index* gibt den Durchschnittswert der normierten Komplexität pro Übungsblatt an, sodass die Entwicklung der Lernhilfen über das Semester hinweg direkt abgelesen werden kann und die normierte Komplexität systematisch gesteigert werden kann. Dazu wird der Mittelwert der normierten Komplexitäten aller Sinneinheiten eines Übungsblattes - also über alle Aufgaben hinweg - gebildet.

$$\bar{K} = \frac{\bar{K}_S}{N_S} = \frac{1}{N_S} \sum \frac{K}{L+1}$$

Dabei stellt \bar{K} die gesamte normierte Komplexität eines Übungsblattes, \bar{K}_S die normierte Komplexität einer Sinneinheit, N_S die Anzahl der Sinneinheiten, und L die Anzahl der Lernhilfen dar.

Lösungsmöglichkeit

Die Dimension der *Lösungsmöglichkeit* gibt an, ob für die betreffende Aufgabe nur die Lösung mittels eines grundlegenden Lösungsschemas sinnvoll ist oder ob mehrere Konzepte für einen sinnvollen Lösungsansatz dienen.

Im Fall einer Einteilung in Teilaufgaben ist jeweils die höchste vorkommende Stufe zu bewerten.

eine Lösung

Die Kategorie *eine Lösung* wird kodiert, wenn sich die Aufgabe ausschließlich durch Rückgriff auf ein einziges Lösungsschema lösen lässt. Dabei wird die Möglichkeit der Variation oder Reihenfolge des mathematischen Vorgehens nicht betrachtet, sondern ausschließlich die Möglichkeit der Verwendung verschiedener physikalischer Konzepte, in diesem Rahmen beschränkt auf die genannten Kategorien der Dimension *Inhaltsbereich*. Es werden demnach keine Variationen innerhalb eines Lösungsschemas betrachtet (z. B. durch Variation des Bezugspunktes innerhalb der Kinematik).

Abgrenzung zu *eine zentrale Lösung*:

Die Kategorie *eine Lösung* ermöglicht im Vergleich zur Kategorie *eine zentrale Lösung* keine Lösung der Aufgabe durch ein anderes physikalisches Konzept. Es besteht also keine Wahlmöglichkeit. Hingegen ermöglicht die Kategorie *eine zentrale Lösung* durchaus eine Auswahl aus mindestens zwei verschiedenen physikalischen Ansätzen, wobei jedoch einer aufgrund der Ökonomie der Bearbeitung oder geringeren Komplexität deutlich zu bevorzugen ist.

Abgrenzung zu *mehrere Lösungen*:

Die Kategorie *eine Lösung* setzt voraus, dass es nur eine *mögliche* Lösung gibt. Wenn also eine Aufgabe verschiedene Lösungsansätze zulässt, die zu dem jeweiligen Zeitpunkt aber eventuell noch nicht behandelt wurden, wird dennoch die Kategorie *mehrere Lösungen* oder *eine zentrale Lösung* kodiert. Es geht also um die inhaltliche Beschaffenheit und nicht die Bearbeitungskompetenz der Lernenden.

Beispiel:

Aufgabe 2.8

Rennschnecken laufen um die Wette. Da die eine ein berühmter Sprinter ist, erhält die andere 1m Vorsprung. Sie starten beide zur selben Zeit. Nach 15 Minuten hat der Sprinter die andere Schnecke eingeholt. Der Sprinter kroch dabei mit der mittleren Geschwindigkeit $60 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$. Wie groß war die Geschwindigkeit der anderen Schnecke?

Erläuterung: Für die angegebene Aufgabe eignet sich lediglich der kinematische Lösungsansatz. Andere Möglichkeiten bleiben aus.

mehrere Lösungen

Die Kategorie *mehrere Lösungen* wird kodiert, wenn sich die Aufgabe durch den Rückgriff auf verschiedene Lösungsschemata bearbeiten lässt, wobei sich jedoch keine Lösungsvariante eindeutig durch eine Überlegenheit in der Einfachheit oder Ökonomie als sinnvollste Wahl identifizieren lässt bzw. nur geringfügige Unterschiede in den genannten Aspekten

auftreten, die im Sinne einer subjektiven Präferenz vernachlässigt werden können. Dabei wird die Möglichkeit der Variation oder Reihenfolge des mathematischen Vorgehens nicht betrachtet, sondern ausschließlich die Möglichkeit der Verwendung verschiedener physikalischer Konzepte, in diesem Rahmen beschränkt auf die genannten Kategorien der Dimension *Inhaltsbereich*. Es werden demnach keine Variationen innerhalb eines Lösungsschemas betrachtet (z. B. durch Variation des Bezugspunktes innerhalb der Kinematik).

Abgrenzung zu *eine zentrale Lösung*:

Sowohl die Kategorie *mehrere Lösungen* als auch *eine zentrale Lösung* lassen mehrere Lösungsansätze mit konzeptionell grundlegend verschiedenen Ansätzen zu. Lässt sich im Gegensatz zur Kategorie *eine zentrale Lösung* jedoch keine eindeutige Überlegenheit des ein oder anderen Lösungsansatzes erkennen, wird die Kategorie *mehrere Lösungen* ausgewählt.

Für den Fall, dass eine zentrale Lösung identifiziert werden kann, die Ergebnisse der eingesparten Lösungsschritte jedoch ebenfalls in der Aufgabe gefordert werden (z. B. die Berechnung der Zeit zur Berechnung der Geschwindigkeit) und die angestrebte Ökonomie so nicht erhöht werden kann, wird die Kategorie *mehrere Lösungen* statt *eine zentrale Lösung* gewählt.

Beispiel:

Aufgabe 3.1

Wie lange dauert der Sprung von einem 10m hohen Sprungturm im Schwimmbad, und mit welcher Geschwindigkeit taucht die Springerin ins Wasser?

Erläuterung: Die Geschwindigkeit der Springerin kann hier sowohl über einen kinematischen Ansatz als auch über die Energieerhaltung berechnet werden. Die Berechnung über die Energieerhaltung kann dabei direkt erfolgen, während für die kinematische Lösung zunächst die benötigte Zeit berechnet werden muss. Da die Zeit in dieser Aufgabe jedoch ebenfalls zu berechnen ist, gibt es hier keinen erkennbar ökonomischeren Weg, sodass beider Lösungswege gleichwertig sind.

Beispiel:

Aufgabe 3.9

Auf dem Schrottplatz hebt ein Kran ein Autowrack mit einer Geschwindigkeit von $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ hoch. Plötzlich, in einer Höhe $h = 15\text{m}$ löst sich der Blechhaufen.

- a) Bestimmen Sie allgemein die Flugzeit, die Aufprallgeschwindigkeit und die maximale Fallhöhe des Wracks in Abhängigkeit von v, h und der Erdbeschleunigung g .
- b) Berechnen Sie für die angegebenen Werte von v, h und g die Flugzeit (!), die Aufprallgeschwindigkeit und die maximale Fallhöhe des Wracks.

Erläuterung: Hier greift die Regel für Teilaufgaben, da nicht für alle geforderten Aufgabenteile mehrere konzeptionell verschiedene Lösungsansätze denkbar sind. Während die Flugzeit nur über den kinematischen Ansatz bestimmt werden kann, lassen sich Aufprallgeschwindigkeit und maximale Fallhöhe ebenfalls über die Energieerhaltung bestimmen. Da jedoch der eingesparte Schritt explizit gefordert wird, entfällt die Priorisierung eines Lösungsansatzes.

eine zentrale Lösung

Die Kategorie *eine zentrale Lösung* wird kodiert, wenn sich die Aufgabe durch den Rückgriff auf verschiedene Lösungsschemata bearbeiten lässt, wobei sich jedoch eindeutig eine Lösungsvariante durch eine Überlegenheit in der Einfachheit oder Ökonomie als sinnvollste Wahl identifizieren lässt. Dabei wird die Möglichkeit der Variation oder Reihenfolge des mathematischen Vorgehens nicht betrachtet, sondern ausschließlich die Möglichkeit der Verwendung verschiedener physikalischer Konzepte, in diesem Rahmen beschränkt auf die genannten Kategorien der Dimension *Inhaltsbereich*. Es werden demnach keine Variationen innerhalb eines Lösungsschemas betrachtet (z. B. durch Variation des Bezugspunktes innerhalb der Kinematik).

Beispiel:

Aufgabe 3.10

Man lässt eine Stahlkugel aus einer Höhe von $1,6\text{m}$ frei fallen. Bei der Reflexion am Boden verliert sie ein Viertel ihrer Geschwindigkeit. Welche Höhe erreicht sie nach dem ersten, zweiten, dritten, vierten und fünften Aufschlag?

Erläuterung:

Die Aufgabe lässt sich über einen kinematischen oder Energieansatz lösen. Da der Energieansatz hier jedoch ökonomischer ist, gilt dieser als zentrale Lösung.

Mathematisierung

Die Dimension Mathematisierung beschreibt durch welche Art mathematischer Kenntnisse die Bearbeitung der Aufgabe beeinflusst wird. Die Einteilung erfolgt nach dem Modell von Schoppmeier et al. (2012).

Im Fall einer Einteilung in Teilaufgaben ist jeweils die höchste vorkommende Stufe zu bewerten. Sollte eine Bearbeitung über verschiedene Lösungswege möglich sein, wird stets die niedrigst mögliche Stufe kodiert.

keine Mathematisierung

Die Kategorie *keine Mathematisierung* wird kodiert, wenn keine mathematischen Kenntnisse zur Lösung der Aufgabe notwendig sind.

Berechnen

Die Kategorie *Berechnen* wird kodiert, wenn die Aufgabe durch reines Berechnen von Variablen oder Zahlenwerten zu lösen ist. Die zu berechnende Gleichung muss demnach in ihrer endgültigen Verwendungsform vorliegen, andernfalls sind weitere Umformungen nötig, sodass die entsprechende Kategorie kodiert werden muss. Ausnahmen bilden nur lineare Formeln, bei denen nicht zurückzuführen ist oder sinnvoll begründet werden kann, welche die "Ursprungsform" der Gleichung ist, beziehungsweise in welcher Form sie gelernt wurde (Bspw. $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$ und $\vec{s} = \vec{v} \cdot t$). Für derartige Fälle wird ebenfalls die Kategorie *Berechnen* kodiert.

Umformen

Die Kategorie *Umformen* wird kodiert, wenn die Aufgabe durch durch Äquivalenzumformungen, Einsetzverfahren oder einem weiteren Umgang mit Termen zu lösen ist. Die Komplexität der Umformung wird dabei nicht näher berücksichtigt. Ausnahmen bilden nur lineare Formeln, bei denen nicht zurückzuführen ist oder sinnvoll begründet werden kann, welche die "Ursprungsform" der Gleichung ist, beziehungsweise in welcher Form sie gelernt wurde (Bspw. $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$ und $\vec{s} = \vec{v} \cdot t$). Derartige Umformungen werden hier nicht berücksichtigt und fallen in die Kategorie *Berechnen*.

Die Formeln zu Berechnungen an der schiefen Ebene, werden an dieser Stelle als so prototypisch angesehen, dass hier kein Modellierungsprozess angenommen werden muss. Erst bei einer zusätzlichen Adaption (z. B. durch die Betrachtung der Reibung), ist dies gewährleistet.

Abgrenzung zu *Modellieren*: Wenn ein Ansatz formuliert werden muss, der grundsätzlich die Merkmale des *Modellierens* erfüllt, aber durch direkte Angaben der Aufgabe vereinfacht wird (z. B. Aufgabe 5.7 "bei 45° ist seine Zentrifugalbeschleunigung gleich der Gravitationsbeschleunigung"), werden die Aufgaben dieser Kategorie zugeordnet, sofern eine rechnerische Lösung verlangt wird.

Umgang mit funktionalen Zusammenhängen

Die Kategorie *Umgang mit funktionalen Zusammenhängen* wird kodiert, wenn die Aufgabe durch ein hohes Maß interpretatorischer Fähigkeit zu lösen ist. Diese Interpretation kann sich beispielsweise auf Funktionsverläufe, Diagramme oder die Instrumentalisierung mathematischer Operationen beziehen. Die Deutung entsprechender Angaben kann dabei explizit gefordert sein ("Erklären Sie die Bedeutung der Steigung des v-t-Diagramms.") oder ist mindestens notwendige Bedingung für das Lösen der Aufgabe ("Bestimmen Sie die Beschleunigung aus dem v-t-Diagramm."). Die Betrachtung des Einflusses einer Größe auf eine andere zählt ebenfalls zu diesem Bereich.

Modellieren

Die Kategorie *Modellieren* wird kodiert, wenn die Aufgabe durch einen Transfer physikalischer Informationen in eine mathematische Formulierung zu lösen ist. Dabei wird ebenfalls ein hohes Maß interpretatorischer Fähigkeiten vorausgesetzt. Es wird dabei also vor allem das Erstellen eines Ansatzes betrachtet und nicht die weiteren mathematischen Umformungen. Derartige Aufgaben kennzeichnen sich beispielsweise dadurch, dass Gleichungen an gegebene Bedingungen angepasst werden müssen oder Näherungen vorgenommen werden. Aufgaben die eine Begründung oder Herleitung eines physikalischen Zusammenhangs verlangen, fallen typischerweise in diese Kategorie.

Die Formeln zu Berechnungen an der schiefen Ebene, werden an dieser Stelle als so prototypisch angesehen, dass hier kein Modellierungsprozess angenommen werden muss. Erst bei einer zusätzlichen Adaption (z. B. durch die Betrachtung der Reibung), ist dies gewährleistet.

Sofern der Modellierungsprozess durch direkte Angaben der Aufgabe vereinfacht wird (z. B. Aufgabe 5.7 "bei 45° ist seine Zentrifugalbeschleunigung gleich der Gravitationsbeschleunigung"), werden die Aufgaben nicht dieser Kategorie zugeordnet.

Aufgabenmerkmale

Teilaufgaben

Die Dimension der Teilaufgaben unterscheidet, ob die Aufgabe in Teilaufgaben gegliedert ist und ob diese unabhängig voneinander lösbar sind oder ob sie in einem Abhängigkeitsverhältnis stehen. Eine Aufteilung in Teilaufgaben muss dabei nicht formal gegeben sein. Es liegt ebenso eine Aufgliederung vor, wenn in der beschriebenen Aufgabe mehr als eine Frage bzw. mehr als eine Aufforderung (z. B. berechne, skizziere, bestimme etc.) genannt wird bzw. wenn diese Aufforderung mehrfach ausgeführt werden soll (z. B. Berechne die zurückgelegte Strecke und die mittlere Geschwindigkeit).

Wird jedoch nur nach einem Aspekt bzw. einer Größe gefragt und es sind mehrere Teilschritte notwendig, um die Zielgröße zu bestimmen gilt dies nicht als Aufteilung in Teilaufgaben. Es wird demnach die Strukturierung der Aufgabe und nicht die notwendige Strukturierung der Lösung betrachtet.

Handelt es sich um ein geschlossenes Aufgabenformat mit mehreren Antwortmöglichkeiten, wird mit *keine Teilaufgaben* kodiert.

keine Teilaufgaben

Die Kategorie *keine Teilaufgaben* wird kodiert, wenn die Aufgabe weder strukturell noch semantisch in Unterabschnitte aufgeteilt ist. Damit ist eine explizite Vorstrukturierung gemeint, die in der Aufgabe selbst benannt wird. Die Kategorie wird also nur dann gewählt, wenn ausschließlich eine Frage oder Aufforderung (z. B. berechne, skizziere, bestimme etc.) genannt wird. Auch wenn für diese Aufgabe mehrere Teilschritte notwendig gelten diese nicht als Teilaufgaben, solange sie nicht explizit benannt werden.

Beispiel:

Aufgabe 2.8

Rennschnecken laufen um die Wette. Da die eine ein berühmter Sprinter ist, erhält die andere 1m Vorsprung. Sie starten beide zur selben Zeit. Nach 15 Minuten hat der Sprinter die andere Schnecke eingeholt. Der Sprinter kroch dabei mit der mittleren Geschwindigkeit $60 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$. Wie groß war die Geschwindigkeit der anderen Schnecke?

Erläuterung: In der vorliegenden Aufgabe wird lediglich eine Anforderung an die Lösung gestellt. Neben der Berechnung der Geschwindigkeit müssen keine weiteren Lösungen produziert werden, sodass die Aufgabe nicht in Teilaufgaben unterteilt werden kann.

unabhängige Teilaufgaben

Die Kategorie *unabhängige Teilaufgaben* wird kodiert, wenn alle Teilaufgaben ohne das explizite Lösen aller anderen Teilaufgabe möglich ist. Ist das Lösen einer anderen Teilaufgabe hilfreich, aber nicht notwendig, gelten sie ebenfalls als unabhängig. Die Unabhängigkeit der Teilaufgaben bedeutet hier, dass die Aufgaben streng genommen ohne das tatsächliche Lösen der anderen Teilaufgaben zu bewältigen sind. Auch wenn das Verständnis des gleichen Sachverhalts abgefragt wird (bspw. die rechnerische und zeichnerische Lösung einer Aufgabe), aber beide Teilaufgaben ohne die Ergebnisse der anderen vollständig gelöst werden können, gelten sie als unabhängig. Wenn der gleiche Zusammenhang jedoch ebenfalls in der gleichen Form abgefragt wird und die Teilaufgaben sich ausschließlich durch das Einsetzen unterschiedlicher Zahlenwerte unterscheiden, gelten die Aufgaben jedoch als abhängig.

Beispiel:

Aufgabe 2.7

In Mülheim startet ein autofahrender Professor um 8:00 Uhr in Richtung Bottrop (Fahrstrecke 15km). Er fährt mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Seine Kollegin aus Bottrop startet um 8:10 Uhr mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von $45 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ in Richtung Mülheim. Berechnen Sie Zeit und Ort (d.h. die Entfernung von Mülheim) der Begegnung. Zeichnen Sie ein Ort-Zeit-Diagramm und lösen Sie die Aufgabe auch graphisch.

Erläuterung:

Da die rechnerische und zeichnerische Lösung der Aufgabe hier verschiedene Kompetenzen abgreifen und unabhängig voneinander gelöst werden können, auch wenn sie gemeinsam einfacher zu lösen sind, gelten die beiden Teilaufgaben als unabhängig.

abhängige Teilaufgaben

Die Kategorie *abhängige Teilaufgaben* wird kodiert, wenn mindestens eine der Teilaufgaben nicht ohne das Lösen mindestens einer anderen Teilaufgabe möglich ist. Die Unumgänglichkeit des Lösens der einen Aufgabe ohne die andere ist demnach das entscheidende Kriterium für die entsprechende Zuordnung. Werden lediglich Teilaspekte oder Teilrechnungen einer Teilaufgabe benötigt, jedoch nicht die vollkommene Durchführung, so gelten die Teilaufgaben wiederum als unabhängig.

Beispiel:

Aufgabe 3.6

Ein Ball wird senkrecht emporgeworfen. Die Abwurfhöhe beträgt $y_0 = 1,5\text{m}$ und die Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 15\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- a) Nach welcher Zeit t_s erreicht der Ball den höchsten Punkt?
- b) Welche maximale Höhe y_s erreicht er?
- c) Wann befindet er sich **6m** über dem Boden?
- d) Wann erreicht der Ball auf dem Weg nach unten wieder seine Anfangshöhe?
- e) Wann trifft er auf dem Boden auf?
- f) Stellen Sie die Geschwindigkeit v und die momentane Höhe y als Funktion von t graphisch dar.

Art der gegebenen Aufgabeninformationen

Die Dimension *Art der gegebenen Informationen* wird in verschiedene Kategorien eingeteilt, die im Folgenden aufgeführt sind. Bis auf die Kategorie *Aufgabentext* werden die Ausprägungen ausschließlich dichotom als vorhanden (1) oder nicht vorhanden (0) kodiert. Es sollen alle Informationen berücksichtigt werden, auch wenn diese nicht lösungsrelevant sind.

Aufgabentext

Die Kategorie *Aufgabentext* erfasst die Beschaffenheit des einleitenden Textes zu jeder Aufgabe. Dieser Teil enthält lösungsrelevante und ggf. darüber hinausgehende Informationen. Die Aufgabenstellung wird hier ebenfalls berücksichtigt. Lediglich technische Hinweise werden nicht erfasst. Die Länge des Aufgabentextes wird über die Anzahl der Propositionen erfasst. Der Begriff der Propositionen stammt aus der Logik und wird definiert als die kleinste Bedeutungseinheit, die als selbständige Behauptung stehen kann und sinnvoll als wahr oder falsch beurteilt werden kann. Es werden demnach Sinneinheiten wie z. B. Haupt- oder Nebensätze als Proposition verstanden, nicht aber einzelne Attribute.

kurz

Der Aufgabentext gilt als kurz, wenn 0-5 Propositionen angegeben sind.

mittel

Der Aufgabentext gilt als kurz, wenn 6-15 Propositionen angegeben sind.

lang

Der Aufgabentext gilt als kurz, wenn mehr als 15 Propositionen angegeben sind.

Bild

Die Kategorie *Bild* wird mit 1 kodiert, wenn die Aufgabe über ein oder mehrere Bilder verfügt. Ein Bild ist eine Abbildung, die ein Objekt oder einen Sachverhalt originalgetreu oder skizzenhaft darstellt.

Grafik

Die Kategorie *Grafik* wird mit 1 kodiert, wenn die Aufgabe über eine oder mehrere Grafiken verfügt. Eine Grafik umfasst Symbole wie z. B. Kreise, Kästchen, Linien oder Pfeile und stellt schematisch ein Konstrukt oder einen Sachverhalt dar. Die Symbole können ggf. beschriftet sein.

Tabelle

Die Kategorie *Tabelle* wird mit 1 kodiert, wenn die Aufgabe über eine oder mehrere Tabellen verfügt. Eine Tabelle gibt dabei eine geordnete Zusammenstellung von Texten oder Daten in einem klaren Raster an. Zur Deklaration als Tabelle müssen mehr als zwei Datenpaare vorhanden sein.

Diagramm

Die Kategorie *Diagramm* wird mit 1 kodiert, wenn die Aufgabe über ein oder mehrere Diagramme verfügt. Ein Diagramm ist dabei eine Darstellung von mindestens zwei abhängigen Variablen in einem Koordinatensystem mit mindestens zwei Achsen.

Zahlen

Die Kategorie *Zahlen* wird mit 1 kodiert, wenn der Aufgabentext Zahlen beinhaltet. Es werden auch römische Zahlen berücksichtigt. Werden die Zahlen nur zur Unterscheidung von mehreren Objekten verwendet und könnten durch andere Bezeichnungen oder Buchstaben ersetzt werden, so werden diese nicht kodiert.

Andere

Die Kategorie *Andere* wird mit 1 kodiert, wenn die Aufgabe über weitere Aufgabeninformationen verfügt, die keiner der oben genannten Kategorien entspricht.

Relevanz der Aufgabeninformationen

Die Dimension *Textrelevanz* gibt an, ob der Aufgabentext vornehmlich lösungsrelevante Informationen enthält oder auch darüber hinausgehende Angaben, die für die Bearbeitung des Problems überflüssig sind.

Hinweis: Ein Kontext selbst stellt noch keine zusätzliche Aufgabeninformation dar (z. B. ein Auto wird beschleunigt). Das Einkleiden lösungsrelevanter Informationen wird hier demnach nicht erfasst. Erst wenn innerhalb des Kontextes lösungsirrelevante Angaben gemacht werden, die mindestens zwei Propositionen umfassen, gelten diese als zusätzliche Informationen.

lösungsrelevant

Die Kategorie *lösungsrelevant* wird kodiert, wenn der angegebene Aufgabentext vor allem lösungsrelevante Informationen enthält. Da beispielsweise durch den Kontext einer Aufgabe Ergänzungen wie z. B. ein Einleitungssatz als üblich und nicht deutlich ablenkend angesehen werden, wird trotz einer zusätzlichen Textinformation von maximal einer Proposition dennoch die vorliegende Kategorie kodiert.

zusätzliche Text-Informationen

Die Kategorie *zusätzliche Text-Informationen* wird kodiert, wenn die Aufgabe über die lösungsrelevanten Informationen hinaus weitere Angaben enthält, die in Form des Aufgabentextes vermittelt werden. Diese Information muss mindestens zwei Propositionen und nicht bloß einzelne Begriffe umfassen.

weitere zusätzliche Informationen

Die Kategorie *zusätzliche Text-Informationen* wird kodiert, wenn die Aufgabe über die lösungsrelevanten Informationen hinaus weitere Angaben enthält, die nicht in Form des Aufgabentextes vermittelt werden, sondern beispielsweise in Form einer Tabelle oder Grafik. Diese Kategorie wird nicht kodiert, wenn die zusätzliche Darstellungsform in dem Sinne überflüssig ist, dass die Informationen redundant zum Aufgabentext sind. Sie ist also nur anzuwenden, wenn in der gegebenen Form keinerlei lösungsrelevanten Informationen enthalten sind.

Lesbarkeit/LIX

Die Dimension *Lesbarkeit* gibt die Verständlichkeit des Aufgabentextes nach dem Lesbarkeitsindex (LIX) an. Der Index berechnet sich dabei über das Verhältnis der Wortanzahl zur Satzanzahl und Wortlänge zur Wortanzahl:

$$LIX = \frac{\text{Gesamtzahl der Wörter}}{\text{Zahl der Sätze}} + \frac{\text{Länge der Wörter}}{\text{Gesamtzahl der Wörter}} \cdot 100$$

Diese Dimension besitzt demnach keine fest definierten Kategorien als Ausprägungen, sondern wird mit dem Lesbarkeitsindex selbst kodiert. Der Wert wird jeweils ganzzahlig gerundet.

Kodiermanuale der Testinstrumente

Allgemeiner Hinweis

Die Auswertung der Testergebnisse wird in weiten Teilen durch Moodle selbst durchgeführt, sodass eine mehrfache händische Kodierung zur Überprüfung der Objektivität (z. B. Interraterreliabilität) nicht notwendig ist.

Für nicht automatisch zu bewertende Tests werden Kodierhilfen verfasst und es werden sowohl Zweit- als auch Drittkodierung durch trainierte SHKs durchgeführt.

Fehlende Angaben werden stets mit 99 kodiert. Antworten, die einer fehlenden Antwort entsprechen („keine Ahnung“, „weiß nicht“ etc.) werden mit 98 kodiert. Antworten, die aus anderen Gründen nicht verständlich sind oder keine Antwort darstellen werden mit 97 kodiert.

Allgemeine Daten

Geschlecht

Das Geschlecht wird nominal kodiert.

- 1: weiblich
- 2: männlich
- 3: divers
- 99: fehlend

Alter

Das Alter wird als metrische Variable übernommen.

Fehlende Werte werden mit 99 kodiert.

Hochschul- & Fachsemester

Beide Angaben werden als numerische Angabe übernommen.

Fehlende Werte werden mit 99 kodiert.

Studiengangsvoraussetzung

Die Studiengangsvoraussetzungen werden nominal kodiert. Für Fälle mit der Angabe „Sonstiges“ wird eine weitere Variable angelegt, die die entsprechende Angabe erfasst.

- 1: Abitur
- 2: Fachabitur
- 3: Berufsausbildung
- 4: anderes (Fach-) Hochschulstudium
- 5: Sonstiges
- 99: fehlend

Physiknote

Die Physiknote wird als ordinale Variable übernommen (1-6).

Schulphysik

Die letzte Teilnahme am Schulunterricht in Physik wird als nominale Variable kodiert.

- 1: vor dem Abitur abgewählt/maximal bis zur 10. Klasse
- 2: als Grundkurs bis zum Abitur
- 3: als 3. oder 4. Prüfungsfach
- 4: als Leistungskurs
- 99: fehlend

Mathenote

Die Mathenote wird als ordinale Variable übernommen (1-6).

Schulmathematik

Die letzte Teilnahme am Schulunterricht in Mathematik wird als nominale Variable kodiert.

- 1: vor dem Abitur abgewählt/maximal bis zur 10. Klasse
- 2: als Grundkurs bis zum Abitur
- 3: als 3. oder 4. Prüfungsfach
- 4: als Leistungskurs
- 99: fehlend

Studiengang

Der Studiengang wird nominal kodiert.

- 1: Maschinenbau, Bachelor of Science
- 2: Maschinenbau, monoedukativ, Bachelor of Science
- 3: Wirtschaftsingenieurwesen – Maschinenbau, Bachelor of Science
- 99: fehlend

Vorwissen Physik

Es wird das Vorwissen der folgenden Themenbereiche abgefragt:

Bewegungen, Kräfte, Impuls, Energie, Drehmoment und -impuls, Trägheitsmomente, Fliehkräfte, Ableitungen, Integrale, Vektorrechnung, Erstellen und Auswerten von Diagrammen.

Für alle Themenbereiche wird das Vorwissen nominal kodiert.

Falls die Optionen „Schule“ und „Studium“ gewählt wurden, wird die Option „Studium“ kodiert. Wenn „Weder noch“ in Kombination mit anderen Antworten gewählt wird, wird „Weder noch“ kodiert, es sei denn „Begriff unbekannt“ wird ebenfalls gewählt. Falls „Begriff unbekannt“ mit weiteren Antwortmöglichkeiten gewählt wird, wird stets „Begriff unbekannt“ kodiert.

- 0: Begriff unbekannt
- 1: Weder noch
- 2: Schule
- 3: Studium
- 99: fehlend

Deklaratives Wissen über Problemschemata in der Physik

Der Fragebogen zum deklarativen Wissen über Problemschemata liegt vollständig in Moodle implementiert vor und beinhaltet ausschließlich Single-Choice-Aufgaben. Dementsprechend sind die richtigen Antworten bereits hinterlegt und es wird eine automatisierte 1-0 Kodierung durchgeführt. Es können daher alle fertig bewerteten Antworten heruntergeladen werden. Von einer Mehrfachkodierung wird daher an dieser Stelle abgesehen.

Problemlösetest

Für weitere Hinweise wird das Manual von Brandenburger (2021) verwendet. Dort finden sich sowohl Kodierhilfen als auch Musterlösungen der Aufgaben. Nachfolgend werden Auszüge und Ergänzungen des Manuals aufgeführt.

Problemlösetest 2A

Aufgabe 1: Lückentext

Es wird jede einzelne Lücke kodiert. Für eine Übereinstimmung wird eine 1 kodiert, für einen falschen Begriff eine Null.

Wenn die Reihenfolge von zwei Lücken tauschbar ist und nur eine der Lücken richtig ausgefüllt wurde, wird diejenige mit 1 kodiert, die in der Musterlösung den entsprechenden Begriff enthält (z. B. Lücke 2 (Geschwindigkeit v) und 3 (Masse m)).

Lücke 1: Bewegungsenergie

Lücke 2: Geschwindigkeit [oder Masse]

Lücke 3: Masse [oder Geschwindigkeit]

Lücke 4: vollständig

Lücke 5: Lageenergie

Lücke 6: Geschwindigkeit

Lücke 7: Null

Lücke 8: maximal

Lücke 9: Höhe h

Skizze

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn die Skizze die Situation angemessen darstellt. Dabei werden mindestens die folgenden Aspekte dargestellt: Seil in Ruhelage und Seil ausgelenkt im Absprungpunkt. Dabei ist zu beachten, dass für das ausgelenkte Seil ein erkennbarer Höhenunterschied zum ruhenden Seil vorliegt.

...**und** für jeden Zustand eine zugehörige Variable angegeben wird:

Für das Rennen oder den Punkt am ruhenden Seil sind das: die Geschwindigkeit oder die kinetische Energie.

Für den Absprung sind das: der Auslenkungswinkel α oder die Höhendifferenz Δh oder die Höhe h oder die potentielle Energie.

...**und** die Skizze grundsätzlich übersichtlich bzw. nachvollziehbar gestaltet ist.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn die Situation nicht angemessen dargestellt wird. Dies ist der Fall, wenn...

...die Größenangaben fehlen.

...**oder** nicht alle relevanten Phasen der Bewegung dargestellt sind.

...**oder** die Zustände falsch beschriftet sind (z. B. $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ im Absprungpunkt).

...**oder** die Skizze nicht ausreichend übersichtlich ist, um die Situation zu verstehen.

...**oder** die Situation (sprachlich) beschrieben statt skizziert wurde.

Lösung: Rechnung

Jeder Lösungsschritt wird einzeln bewertet und somit als einzelne Variable angelegt. Entsprechend werden einzelne fehlende Schritte auch mit 99 und nicht mit 0 kodiert. Rechenfehler werden nur in einem Schritt berücksichtigt, sodass Folgefehler bei richtigem Vorgehen zur Kodierung mit 1 führen.

Grundsätzlich ist das vollständige Umformen der Gleichungen vor dem Einsetzen der Werte nicht zwingend notwendig für eine richtige Kodierung, sofern sinnvolle Zwischenergebnisse berechnet werden (z. B. $t_b = 3,47\text{ s}$, $b = 24,1\text{ m}$). Wenn keine anderweitigen Fehler vorliegen, wird der Schritt demnach ebenfalls mit 1 kodiert. Der Lösungsschritt wird mit 1 kodiert, wenn die Lösungsschritte im Wesentlichen richtig sind [s. hierzu Musterlösung (5 Lösungsschritte)]. Dabei gilt als Wesentlich, wenn...

...ein passender Ansatz in Form einer allgemeinen Formel (z. B. Bewegungsgleichung) verwendet wurde.

...**und** alle durchgeführten Umformungen richtig sind.

...**und** eine nach der Zielvariablen umgeformte Formel aufgestellt wurde.

...**und** falls erfordert eine korrektes Zahlenergebnis bestimmt wurde ($t_1 = 1,73\text{ s}$, $t_2 = 1,04\text{ s}$, $t_{gelb} = 3,77\text{ s}$).

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...ein falscher Ansatz gewählt wird.

...**oder** nur Zahlen und keine Formelzeichen verwendet werden (z. B. auch nur ein Zahlenergebnis).

...**oder** ein Fehler bei der Umformung vorliegt.

...**oder** ein anderer Rechenfehler vorliegt.

...**oder** ein Einheitenfehler vorliegt.

...**oder** kein Ergebnis vorliegt (für Schritte 3,4 und 5).

...**oder** statt einer physikalischen Formel wie einer Bewegungsgleichung eine andere Formel, z. B. aus der Fahrschule (z. B. für den Bremsweg) genutzt wurde.

Lösung: Lösungsschritt 1

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert...

...nach den Regeln vom Aufgabentyp *Rechnung*.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Bewegungsgleichung der Geschwindigkeit nicht mit Null gleichgesetzt wird, sondern $t = \frac{v}{a}$ als Ansatz gewählt wird.

Lösung: Lösungsschritt 2

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...statt der Bewegungsgleichung direkt die Formel $b = \frac{v_0^2}{2a}$ gewählt wird.

Die Aufgabe wird mit 0 kodiert...

...nach den Regeln vom Aufgabentyp *Rechnung*.

Normierung: Es wird der Mittelwert über die Anzahl der Lösungsschritte gebildet und als separate Variable hinterlegt. Dafür werden fehlende Schritte als Null betrachtet.

Aufgabe 2: *Single-Choice*

Richtige Lösung: Die Differenz der Lageenergien ist gleich der Bewegungsenergie 2, da Energieerhaltung gilt.

Aufgabe 3: *Multiple-Choice*

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn **alle** richtigen Antworten genannt wurden:

1) $\Delta E_{pot} = E_{kin,2}$; 2) $E_{kin} = \frac{1}{2}m \cdot v^2$; 3) $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...mindestens eine falsche Antwort genannt wurde.

...**oder** nicht alle richtigen Antworten genannt wurden.

Lösungsweg: Wissenselemente

Hinweis: Die genannten Stichworte dienen eher als Orientierung bei der Beurteilung sinnvoller Erklärungen. Sie sind somit eher notwendig als hinreichend für eine Kodierung mit 1.

Aufgaben werden grundsätzlich mit Null kodiert, wenn...

...der Begriff falsch oder unvollständig beschrieben wird.

.....**oder** die Formel lediglich wiedergegeben wird (ob sprachlich oder mittels Formelzeichen).

...**oder** eine ausschließlich auf das Beispiel passende Antwort gegeben wird, ohne das Konzept auch allgemein zu erklären (z. B. „ $E_{kin,2} = E_{pot,1} - E_{pot,2}$ “).

Aufgabe 4: Begriffserklärung 'Lageenergie'

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...der Begriff richtig beschrieben wird (mögliche Stichworte: Höhendifferenz bzw. Höhe, Potential, Gravitation, Gewichtskraft)

Ausschlaggebend ist hier der Bezug zur Höhe(ndifferenz) bzw. Lage., um das Potential des Zustands zu beschreiben. Dabei muss deutlich die Kausalität des Zusammenhangs bzw. Abhängigkeit der Größen herausgestellt werden. (z. B. „Die Lageenergie, ist die Energie, die ein Körper durch seine Lage bzw. Höhe hat. Verliert er durch zum Beispiel fallen an Höhe so nimmt die Lageenergie ab und wird in Bewegungsenergie umgewandelt.“; „Die Energie, die der Wagen an einem Punkt in einer bestimmten Höhe hat.“).

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Energie durch den Stillstand eines Körpers begründet wird (z. B. „Die Lageenergie ist die Wirkung während des Ruhezustands des Körpers.“).

...**oder** die Beschreibung sich auf eine andere Form der potentiellen Energie bezieht (z. B. „Die potenzielle Energie beschreibt die Energie eines Körpers in einem physikalischen System, die durch seine Lage in einem Kraftfeld oder *durch seine aktuelle (mechanische) Konfiguration bestimmt wird.*“).

...**oder** der zugehörige Prozess der verrichteten Arbeit statt des Zustands der Energie beschrieben wird.

...**oder** beschrieben wird, dass Energie „entsteht“ oder „generiert“ oder „erzeugt wird“.

Aufgabe 5: Begriffserklärung 'Bewegungsenergie'

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn der Begriff...

...richtig beschrieben wird (mögliche Stichworte: Geschwindigkeit, Impuls).

Ausschlaggebend ist hier dass der Bewegungszustand erwähnt wird (der Körper muss eine Geschwindigkeit haben).

Dabei muss deutlich die Kausalität des Zusammenhangs bzw. Abhängigkeit der Größen herausgestellt werden (z. B. „Energie, die ein Körper aufgrund seiner bewegten Masse besitzt.“ oder „Bewegungsenergie ist das selbe wie die Kinetische Energie. Diese ist Abhängig von der Masse und Geschwindigkeit des Körpers.“ oder „Ist die Energie die ein bewegtes Objekt zum Zeitpunkt x ausweist.“)

Es ist ebenfalls zulässig, wenn die Erklärung auf die dargelegte Situation bezogen wird, sofern der grundlegende Zusammenhang zur Bewegung/Geschwindigkeit richtig dargestellt wird (z. B. „Je mehr Geschwindigkeit der Körper aufnimmt, desto mehr nimmt auch die Bewegungsenergie zu. Währenddessen nimmt die Lageenergie immer weiter ab.“).

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn ...

... ein falscher Kausalzusammenhang genannt wird (z. B. „Ist somit die Energie, welche sich aus Masse und Geschwindigkeit zusammensetzt. Ein Körper in Bewegung hat somit mehr Energie als im Ruhezustand.“).

...**oder** wenn statt der Geschwindigkeit des Körpers die Beschleunigung als ausschlaggebend beschrieben wird.

...**oder** der zugehörige Prozess der verrichteten Arbeit statt des Zustands der Energie beschrieben wird.

...**oder** *ausschließlich* die Umwandlung von potentieller Energie als Ursache genannt wird.

...**oder** beschrieben wird, dass Energie „entsteht“ oder „generiert“ oder „erzeugt wird“.

Aufgabe 6: Begriffserklärung 'Energieerhaltung'

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn der Begriff...

...richtig beschrieben wird (mögliche Stichworte: abgeschlossenes System, nur Umwandlung, keine Vernichtung, keine Erzeugung, Systemgrenzen).

Ausschlaggebend ist hier, dass die Einschränkung des abgeschlossenen Systems genannt wird.

...**und** entweder das Erhaltenbleiben der Gesamtenergie genannt wird oder der Fakt, dass sich die Energie *nur* umformen kann, das System jedoch nicht verlässt.

...**oder** die Reibungsfreiheit und Erhaltung der Gesamtenergie beschrieben werden.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...ausschließlich Umformulierung ohne weitere Merkmale wie Umwandlung, abgeschlossenes System o.Ä. genannt werden (z. B. „Energie geht nie verloren“)

...**oder** ausschließlich mathematische Charakteristika wie „Gleichsetzen“ oder „Summe“ angegeben werden ohne den Aspekt der Erhaltung herauszustellen (z. B. „Summe der Energieformen“ (für Kodierung mit 1, z. B. „bleibt konstant“ oder „Gleichsetzen“ (für Kodierung mit 1, z. B. „verschiedener Gesamtenergien“).

Nachvollziehen

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn nachfolgende Aussagen zutreffen...

...die Lösung wurde fachlich richtig erklärt.

... die Struktur der Formeln wird aus physikalischer Sicht erklärt. (z. B. Superposition von Bewegungen als einander entgegenwirkende Termteile.)

...es wurde überwiegend mit Formelwissen argumentiert. (z. B. das ist die gegebene Formel für beschleunigte Bewegungen).

...es wurde auf mathem. Ebene argumentiert. (z. B. etwas wird 0 gesetzt).

...es wurde auf physikalischer Ebene argumentiert. (z. B. der Körper kommt zur Ruhe, weshalb die Geschwindigkeit gleich 0 sein muss).

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert wenn die vorherigen Aussagen teilweise zutreffen...

...oder die Begründung weniger physikalisch, sondern eher pragmatisch ist (z. B. „Das ist die Formel der gleichmäßig beschleunigten Bewegung in Abhängigkeit von der Reibung, nur das die Formel gleich null gesetzt wird um etwas auszurechnen.“).

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn die vorherigen Aussagen nicht zutreffen...

...**oder** die Erklärung zwar physikalisch richtig ist, aber sich nicht ausreichend auf die beschriebene Formel bezieht (z. B. „Gesucht ist eine Formel mit der bestimmt werden kann, wie weit der Körper rutscht. Wir wissen dass der Körper angestossen wird und wieder zum stehen kommt und dass er sich auf einer waagerechten Ebene befindet, d.h. Normalkraft ist gleich Gewichtskraft q_r für $F_R \propto F_G$).

...**oder** die Formel lediglich wiedergegeben wird (ob sprachlich oder mittels Formelzeichen; Ausnahme für Aufgabe 10 und 13).

Aufgabe 7 - Lösungserklärung: $F_R \sim F_G$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...Reibungskraft und Gewichtskraft als *proportional* zueinander beschrieben werden.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...zwar die mathematische Abhängigkeit herausgestellt wird (z. B. „ F_r wird größer, wenn F_g größer wird“) aber keine Nennung der Proportionalität erfolgt.

...**oder** die Proportionalität genannt wird, aber eine der Größen nicht deutlich als Kraft bezeichnet wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

... von einer Äquivalenz, Gleichheit, Beeinflussung oder ähnlichen Größe der Kräfte gesprochen wird.

...**oder** der Zusammenhang der Kräfte gar nicht weiter erläutert ist (z. B. „Die beiden Kräfte beeinflussen sich gegenseitig.“).

...**oder** nicht deutlich von Kräften gesprochen wird (z. B. „Die Reibung ist proportional zum Gewicht, das heißt je mehr der Körper wiegt, desto mehr Reibung entsteht.“).

...**oder** keiner der Aspekte genannt wird.

Aufgabe 8 - Lösungserklärung: $F_R =$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

... c als Proportionalitätsfaktor oder Reibungskoeffizient/Reibungszahl beschrieben wird. Dabei ist sowohl eine mathematische als auch physikalische Erklärung zulässig.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

... c nur als „Konstante“ benannt und nicht näher beschrieben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

... c als Lichtgeschwindigkeit beschrieben wird.

...**oder** keiner der Aspekte genannt wird.

Aufgabe 9 - Lösungserklärung: $a_R =$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...beschrieben wird, dass die Beschleunigung der Bewegung über den erwähnten Proportionalitätsfaktor/Reibungskoeffizienten/Reibungszahl und die Erdbeschleunigung berechnet wird.

...**oder** der Zusammenhang $F = m \cdot a$ und die Umformung vom vorherigem Schritt zu diesem beschrieben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Erdbeschleunigung mit falschen Begriffen wie „Gravitation“ oder „Anziehungskraft“ beschrieben wird. Zulässig ist neben „Erdbeschleunigung“ zusätzlich noch der Begriff „Ortsfaktor“ .

...oder die Erdbeschleunigung unerwähnt bleibt.

...oder statt von Beschleunigungen von Kräften gesprochen wird.

...oder keiner der Aspekte genannt wird.

Aufgabe 10 - Lösungserklärung: $v(t) =$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...die Formel z. B. anhand des Bewegungstyps beschrieben wird. Darüber hinaus wird die Bedeutung im vorliegenden Fall beschrieben.

(z. B. „da der Körper angestoßen wird haben wir eine Anfangsgeschwindigkeit, welche durch die Reibung gebremst, also negativ Beschleunigt wird. Darum ist es eine Frage der Zeit bis der Körper liegen bleibt, sprich die, die Startgeschwindigkeit abbauende Beschleunigung korreliert mit der Zeit“).

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Bewegungsgleichung anhand aller vorkommenden Größen beschrieben wird, jedoch keine Begründung bzw. kein Bezug zum Problem dargestellt wird.

...oder die Gleichung als Bewegungsgleichung der Geschwindigkeit für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung identifiziert wird.

...oder der Funktionscharakter der Geschwindigkeit deutlich wird bzw. die Zeitabhängigkeit genannt wird.

...oder nur die Bedeutung im vorliegenden Kontext genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die vorkommenden physikalischen Größen aufgezählt werden und falsch oder gar nicht in Zusammenhang gesetzt werden.

...oder die Gleichung als „Gleichung der beschleunigten Bewegung“ bezeichnet wird, ohne näher festzulegen auf welche physikalische Größe sich die Gleichung bezieht (hier Ort oder Geschwindigkeit).

...oder keiner der Aspekte genannt wird.

Aufgabe 11 - Lösungserklärung: $v(t_0) = 0$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...der mathematische Aspekt des Einsetzens von t_0 oder das Gleichsetzen mit Null benannt werden und die Bedeutung des Stillstands des Körpers benannt werden.

(z. B. „Hier wurde die Geschwindigkeit gleich null gesetzt, da sich der Körper nicht mehr bewegt wenn die Geschwindigkeit gleich null ist und folglich steht der Körper“).

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...
...nur einer der Aspekte genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...
... t_0 nicht als Zeitpunkt des Stillstands beschrieben wird (sondern beispielsweise als Startzeitpunkt).
...**oder** keiner der Aspekte genannt wird.

Aufgabe 12 - Lösungserklärung: $t_0 =$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...auf die vorherige Formel Bezug genommen wird und das Umstellen nach t_0 beschrieben wird. Außerdem wird die Bedeutung als Zeitpunkt des Stillstands benannt.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...nur einer der Aspekte genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

... t_0 nicht als Zeitpunkt des Stillstands beschrieben wird (sondern beispielsweise als Startzeitpunkt).

...**oder** keiner der Aspekte genannt wird.

Aufgabe 13 - Lösungserklärung: $s(t) =$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...die Formel z. B. anhand des Bewegungstyps beschrieben wird. Darüber hinaus wird die Bedeutung im vorliegenden Fall beschrieben.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Bewegungsgleichung anhand aller vorkommenden Größen beschrieben wird, jedoch keine Begründung bzw. kein Bezug zum Problem dargestellt wird.

...**oder** die Gleichung als Bewegungsgleichung des Ortes für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung identifiziert wird.

...**oder** der Funktionscharakter des Ortes deutlich wird bzw. die Zeitabhängigkeit genannt wird.

...**oder** nur die Bedeutung im vorliegenden Kontext genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die vorkommenden physikalischen Größen aufgezählt werden und falsch oder gar nicht in Zusammenhang gesetzt werden.

...**oder** die Gleichung als „Gleichung der beschleunigten Bewegung“ bezeichnet wird, ohne näher festzulegen auf welche physikalische Größe sich die Gleichung bezieht (hier Ort oder Geschwindigkeit).

...**oder** keiner der Aspekte genannt wird.

Aufgabe 14 - Lösungserklärung: $s(t_0) =$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...der Zusammenhang der beiden vorherigen Schritte berücksichtigt wird und somit sowohl das Einsetzen von t_0 als auch die Interpretation der gesuchten Reichweite angegeben wird.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...nur einer der Aspekte genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...keiner der Aspekte genannt wird.

Aufgabe 15 - Lösungserklärung: $x =$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...die Formel als fertig umgestelltes Ergebnis für die Reichweite beschrieben wird. Dabei sollte entweder die mathematische Umformung oder die Bedeutung der Variable näher erläutert werden, damit eine Kodierung mit 2 erfolgt.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...nur einer der Aspekte genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...keiner der Aspekte genannt wird.

Problemlösetest 2B

Aufgabe 1: Lückentext

Es wird jede einzelne Lücke kodiert. Für eine Übereinstimmung wird eine 1 kodiert, für einen falschen Begriff eine Null.

Wenn die Reihenfolge von zwei Lücken tauschbar ist und nur eine der Lücken richtig ausgefüllt wurde, wird diejenige mit 1 kodiert, die in der Musterlösung den entsprechenden Begriff enthält (z. B. Lücke 2 (Geschwindigkeit v) und 3 (Masse m)).

Lücke 1: Bewegungsenergie

Lücke 2: Geschwindigkeit [oder Masse]

Lücke 3: Masse [oder Geschwindigkeit]

Lücke 4: vollständig

Lücke 5: Lageenergie

Lücke 6: Geschwindigkeit

Lücke 7: Null

Lücke 8: maximal

Lücke 9: Höhe h

Skizze

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn die Skizze die Situation angemessen darstellt. Dabei werden mindestens die folgenden Aspekte dargestellt: Seil in Ruhelage und Seil ausgelenkt im Absprungpunkt. Dabei ist zu beachten, dass für das ausgelenkte Seil ein erkennbarer Höhenunterschied zum ruhenden Seil vorliegt.

...**und** für jeden Zustand eine zugehörige Variable angegeben wird:

Für das Rennen oder den Punkt am ruhenden Seil sind das: die Geschwindigkeit oder die kinetische Energie.

Für den Absprung sind das: der Auslenkungswinkel α oder die Höhendifferenz Δh oder die Höhe h oder die potentielle Energie.

...**und** die Skizze grundsätzlich übersichtlich bzw. nachvollziehbar gestaltet ist.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn die Situation nicht angemessen dargestellt wird. Dies ist der Fall, wenn...

...die Größenangaben fehlen.

...**oder** nicht alle relevanten Phasen der Bewegung dargestellt sind.

...**oder** die Zustände falsch beschriftet sind (z. B. $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ im Absprungpunkt).

...**oder** die Skizze nicht ausreichend übersichtlich ist, um die Situation zu verstehen.

...**oder** die Situation (sprachlich) beschrieben statt skizziert wurde.

Lösungsweg: Wissenselemente

Hinweis: Die genannten Stichworte dienen eher als Orientierung bei der Beurteilung sinnvoller Erklärungen. Sie sind somit eher notwendig als hinreichend für eine Kodierung mit 1.

Aufgaben werden grundsätzlich mit Null kodiert, wenn...

...der Begriff falsch oder unvollständig beschrieben wird.

...**oder** die Formel lediglich wiedergegeben wird (ob sprachlich oder mittels Formelzeichen).

...**oder** eine ausschließlich auf das Beispiel passende Antwort gegeben wird, ohne das Konzept auch allgemein zu erklären (z. B. ' $E_{kin,2} = E_{pot,1} - E_{pot,2}$ ').

Aufgabe 2: Begriffserklärung 'Gleichförmige Bewegung'

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn der Begriff...

...richtig beschrieben wird (mögliche Stichworte: konstante Geschwindigkeit, Änderung des Ortes, keine Beschleunigung)

Ausschlaggebend ist hier, dass der Aspekt der konstanten Geschwindigkeit genannt wird. Dies kann auch dadurch erfolgen, dass das Fehlen einer Beschleunigung angegeben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

... der Begriff falsch oder unvollständig beschrieben wird.

...**oder** von einer konstanten Bewegung statt einer konstanten Geschwindigkeit gesprochen wird.

...**oder** lediglich eine Formel angegeben wird (sprachlich oder mit Formelzeichen).

Aufgabe 3: Begriffserklärung 'Beschleunigte Bewegung'

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn der Begriff...

...richtig beschrieben wird (mögliche Stichworte: Änderung der Geschwindigkeit, konstante Beschleunigung, Kraft)

Ausschlaggebend ist hier, dass die Veränderung des Bewegungszustandes (Betrag und Richtung der Geschwindigkeit) angegeben wird. Dies kann auch durch die Beschreibung einer Kraft als Ursache für diese Veränderung erfolgen.

...**oder** der Bremsvorgang als negative Beschleunigung beschrieben wird.

(z. B. „Sobald der Fahrer bremst kommt es zu einer (negativ) beschleunigten Bewegung. Dies geschieht, sobald der Fahrer mit dem Bremsvorgang beginnt. Das Auto erfährt dann eine negative Beschleunigung, bis es steht.“)

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

... der Begriff falsch oder unvollständig beschrieben wird.

... **oder** lediglich eine Formel angegeben wird (sprachlich oder mit Formelzeichen)

Aufgabe 4: Begriffserklärung 'Superposition von Bewegungen'

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn der Begriff...

...richtig beschrieben wird.

...**oder** anhand der vorliegenden Situation das Entgegenwirken der gleichförmigen und beschleunigten Bewegung als Beispiel beschrieben wird. (z. B. „Der Bewegung mit einer konstanten Anfangsgeschwindigkeit des Autos wirkt der Bremsvorgang mit einer negativen Beschleunigung entgegen.“).

Ausschlaggebend ist hier, dass der Aspekt der störungsfreien Überlagerung zweier Bewegungen herausgestellt wird. Dabei ist auf die Richtung der Kausalität zu achten. Durch die störungsfreie Überlagerung können die entsprechenden Größen unabhängig beschrieben werden. *Nicht: Weil zwei Größen unabhängig beschrieben werden, Überlagern sie sich störungsfrei.*

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...der Begriff falsch oder unvollständig beschrieben wird (z. B. wenn der Aspekt „störungsfrei“ fehlt).

...**oder** die Superposition auf andere Größen als die der Bewegung bezogen wird.

Aufgabe 5: *Multiple-Choice*

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...alle richtigen Antworten gewählt wurden: $b = v_0 \cdot t_b - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t_b^2$.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...mindestens eine Antwort falsch ist.

Aufgabe 6: *Single-Choice*

Richtige Antwort: t_0 setzt sich aus der Reaktionszeit und der Zeit zum gleichförmigen Überqueren von Bremsweg und Breite der Straße zusammen.

Lösung: Rechnung

Jeder Lösungsschritt wird einzeln bewertet und somit als einzelne Variable angelegt. Entsprechend werden einzelne fehlende Schritte auch mit 99 und nicht mit 0 kodiert. Der Lösungsschritt wird mit 1 kodiert, wenn die Lösungsschritte im Wesentlichen richtig sind [s. hierzu Musterlösung (3 Lösungsschritte)]. Dabei gilt als Wesentlich, wenn...

...ein passender Ansatz in Form einer allgemeinen Formel verwendet wurde.

...**und** alle durchgeführten Umformungen richtig sind.

...**und** eine nach der Zielvariablen umgeformte Formel aufgestellt wurde.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...ein falscher Ansatz gewählt wird.

...**oder** ein Fehler bei der Umformung vorliegt.

Lösung: Lösungsschritt 1

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Rechnung'.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert...

...wenn die Beschleunigung als Produkt von Reibungskoeffizient und Erdbeschleunigung dargestellt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Beschleunigung nur als $a_r = \frac{F_r}{m}$ beschrieben wird und kein Bezug zur Gewichtskraft dargestellt wird.

...**oder** keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Lösung: Lösungsschritt 2

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Rechnung'.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...wenn die Bewegungsgleichung einer beschleunigten Bewegung für $v(t)$ aufgestellt, (zumindest implizit) mit Null gleichgesetzt und nach t umgeformt wird. Dabei werden beide Vorzeichen-Varianten akzeptiert, sofern sie konsequent berücksichtigt werden ($a = -|a|$ oder $a = |a|$).

...der Term $t_0 = \frac{v(t)-v_0}{a_r}$ aufgestellt wird ohne dass $v(t_0)$ hier bereits eingesetzt wird.

Die Aufgabe wird mit 0 kodiert...

...keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Lösung: Lösungsschritt 3

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Rechnung'.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...wenn die Bewegungsgleichung einer beschleunigten Bewegung für $s(t)$ aufgestellt und der Ausdruck für t_0 eingesetzt wird. Sofern a_r hier nicht weiter spezifiziert wird, wird dies als Folgefehler betrachtet, der nicht zu erneutem Punkteabzug führt.

Die Aufgabe wird mit 0 kodiert...

...keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Normierung: Es wird der Mittelwert über die Anzahl der Lösungsschritte gebildet und als separate Variable hinterlegt.

Nachvollziehen

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn nachfolgende Aussagen zutreffen...

...die Lösung wurde fachlich richtig erklärt.

... die Struktur der Formeln wird aus physikalischer Sicht erklärt. (z. B. Superposition von Bewegungen als einander entgegenwirkende Termteile.)

...es wurde überwiegend mit Formelwissen argumentiert. (z. B. das ist die gegebene Formel für beschleunigte Bewegungen).

...es wurde auf mathem. Ebene argumentiert. (z. B. etwas wird 0 gesetzt).

...es wurde auf physikalischer Ebene argumentiert. (z. B. der Körper kommt zur Ruhe, weshalb die Geschwindigkeit gleich 0 sein muss).

...die in dem jeweiligen Schritt relevanten physikalischen Größen ausgeschrieben und nicht als Formelzeichen übernommen werden (z. B. „kinetische und potentielle Energie“ statt E_{kin} und E_{pot} für Aufgaben 7,10,12 oder „Geschwindigkeit“ statt v in Aufgabe 14.)

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert wenn die vorherigen Aussagen teilweise zutreffen...

...oder die Begründung weniger physikalisch, sondern eher pragmatisch ist (z. B. „Das ist die Formel der gleichmäßig beschleunigten Bewegung in Abhängigkeit von der Reibung, nur das die Formel gleich null gesetzt wird um etwas auszurechnen.“).

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn die vorherigen Aussagen nicht zutreffen...

...**oder** die Erklärung zwar physikalisch richtig ist, aber sich nicht ausreichend auf die beschriebene Formel bezieht (z. B. „Gesucht ist eine Formel mit der bestimmt werden kann, wie weit der Körper rutscht. Wir wissen dass der Körper angestossen wird und wieder zum stehen kommt und dass er sich auf einer waagerechten Ebene befindet, d.h. Normalkraft ist gleich Gewichtskraft q_r für $F_R \propto F_G$ “).

...**oder** die Formel lediglich wiedergegeben wird (ob sprachlich oder mittels Formelzeichen).

Aufgabe 7 - Lösungserklärung: $E_{ges,1} = E_{pot,1} + E_{kin,1}$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...sowohl die einzelnen Energieformen beschrieben werden, als auch die Zugehörigkeit zum Zustand/Zeitpunkt 1 herausgestellt wird.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Gesamtenergie als Summe von kinetischer und potentieller Energie benannt wird (z. B. „Die gesamte Energie muss gleich der Summ von kinetischer und potenzieller Energie gleich sein.“).

...**oder** die Formel nur in Kontext gesetzt, aber nicht näher beschrieben wird (z. B. „Hier schaut man sich die Energie beim Start an“).

...**oder** die Gesamtenergie zum Startzeitpunkt als potentielle Energie beschrieben wird, ohne Bezug auf die kinetische Energie zu nehmen.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Gleichung als Anwendung des Energieerhaltungssatzes beschrieben wird.

...**oder** keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Aufgabe 8 - Lösungserklärung: $E_{ges,1} = m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2}m \cdot v_1^2$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...das Einsetzen der Formeln oder die Zuordnung zur jeweiligen Energieform beschrieben werden (z. B. „ E_{pot1} beschreibt hierbei $m \cdot g \cdot h$ und E_{kin1} $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ “ oder „Dies ist die ausgeschriebene Formel für potenzielle und kinetische Energie“).

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...lediglich einer der Aspekte genannt wird.

...Einschränkungen entsprechend den Ausführungen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen' zutreffen.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Aufgabe 9 - Lösungserklärung: $E_{ges,1} = m \cdot g \cdot h_1$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...einerseits erklärt wird, dass die kinetische Energie zu diesem Zeitpunkt Null ist und in der Gleichung wegfällt und andererseits eine Begründung für die nicht vorhandene kinetische Energie angegeben wird. Wurde die Begründung bereits im vorherigen Schritt angegeben, wird sie hier ebenfalls berücksichtigt.

...**oder** beschrieben und begründet wird, warum zum Zeitpunkt 1 ausschließlich potentielle Energie vorliegt.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...lediglich einer der Aspekte genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Aufgabe 10 - Lösungserklärung: $E_{ges,2} = E_{pot,2} + E_{kin,2}$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...sowohl die einzelnen Energieformen beschrieben werden, als auch die Zugehörigkeit zum Zustand/Zeitpunkt 2 herausgestellt wird.

...**oder** das analoge Vorgehen zur ersten Formel für einen weiteren Zeitpunkt beschrieben wird.

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Gesamtenergie als Summe von kinetischer und potentieller Energie benannt wird (z. B. „Die gesamte Energie muss gleich der Summ von kinetischer und potenzieller Energie gleich sein.“).

...die Formel nur in Kontext gesetzt, aber nicht näher beschrieben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Beschreibung eines Systemzustands als Abschnitt/Verlauf/Prozess o.ä. beschrieben wird (z. B. „Zweite Teilabschnitt. Wieder die Summe der Energien von Potentieller und Kinetischer Energie.“ oder „Im zweiten Verlauf des Systems, haben wir zum einen die Potentielle Energie die wir aufgrund des Hügels haben und die kinetische Energie.“).

...die Gleichung als Anwendung des Energieerhaltungssatzes beschrieben wird.

...**oder** keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Aufgabe 11 - Lösungserklärung: $E_{ges,1} = E_{ges,2}$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...einerseits das Gleichsetzen bzw. die Gleichheit der beiden Gesamtenergien beschrieben wird und andererseits die Energieerhaltung als entsprechende Begründung genannt wird. Dies ist auch über die Beschreibung der Vernachlässigung der Reibung zulässig. (z. B. „Hierbei wurden die die beiden Energien die jeweils vorher im System herrscht und nachher gleichgestellt. Dies kann man machen, da in einem geschlossenen System keine Energie verloren geht.“).

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...nur einer der Aspekte genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Aufgabe 12 - Lösungserklärung: $E_{kin,2} = E_{pot,1} - E_{pot,2}$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...sowohl das Einsetzen der Energieformen als auch das Umformen nach $E_{kin,2}$ beschrieben wird (z. B. „Nun wurden die Gesamtenergien wieder auf E_{kin} und E_{pot} aufgeteilt. In nächsten Schritt wurde noch $E_{pot,2}$ auf die andere Seite gebracht mit Hilfe von Subtraktion.“).

...**oder** begründet wird, dass aufgrund der Energieerhaltung die kinetische Energie zum zweiten Zeitpunkt der Differenz der potentiellen Energie beider Zustände entsprechen muss. (z. B. „Da im Laufe der Bewegung potentielle Energie in kinetische umgewandelt wird, entspricht die Bewegungsenergie am Punkt 2 der Differenz zwischen den Lageenergien an Punkt 1 und 2.“).

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...nur einer der Aspekte genannt wird (z. B. „Setzen wir nun für die Gesamtenergien die oben beschriebenen Formeln ein, erhält man diese Gleichung.“).

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...statt von der Differenz der potentiellen Energie in Punkt 1 und 2 allgemein von einer potentiellen Energie (in einem Punkt) gesprochen wird.

...oder keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Aufgabe 13 - Lösungserklärung: $E_{kin,2} = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...einerseits das Einsetzen und andererseits das Ausklammern von m und g bzw. die Abhängigkeit von der Höhendifferenz $h_1 - h_2$ beschrieben wird. (z. B. „Die entsprechenden Formeln wurden eingesetzt und m und g ausgeklammert.“).

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...nur einer der Aspekte genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...statt von der Differenz der potentiellen Energie in Punkt 1 und 2 allgemein von *einer* potentiellen Energie (in einem Punkt) gesprochen wird.

...oder das Einsetzen und Ausklammern nicht näher beschrieben wird.

(z. B. „nun einsetzten der Variablen und ausklammern der gleichen Varibalen kommt diese Formel heraus.“).

...oder keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Aufgabe 14 - Lösungserklärung: $v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)} =$

Die Kodierung erfolgt nach den Hinweisen zum Aufgabentyp 'Nachvollziehen'.

Die Aufgabe wird mit 2 kodiert, wenn...

...einerseits das Einsetzen der Formel für die kinetische Energie und andererseits die Bedeutung des Schritts als Berechnung der Zielvariablen v_2 genannt wird. Alternativ zum Einsetzen kann auch die Umformung oder die Zielformel näher beschrieben werden (z. B. „Zum Schluss wurde die Formel für die zweite kinetische Energie aufgeschrieben und es wurde nach der gesuchten Größe umgestellt“).

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...nur einer der Aspekte genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...keiner der genannten Aspekte erfüllt wird.

Selbstkonzept

Der Fragebogen zum Selbstkonzept (Brandenburger, 2021) liegt vollständig in Moodle implementiert vor und beinhaltet ausschließlich Fragen, die einer 5-stufigen Likert-Skala entsprechen. Da in Moodle eine Wertigkeit der einzelnen Antworten hinterlegt werden muss, werden die Items von -0.5 bis +0.5 (in 0.25er Schritten) hinterlegt. Die Umkodierung von 1 bis 5 wird anschließend in Excel durch Ersetzen der jeweiligen Werte realisiert. Von einer Mehrfachkodierung wird daher an dieser Stelle abgesehen.

Fachwissen

Der Fachwissenstest wurde von Woitkowski (2015) übernommen. Das Kodiermanual dazu wurde selbst angefertigt. Es wird eine dichotome 1-0 (richtig-falsch) Kodierung durchgeführt.

Folgende Kriterien gelten allgemein für diesen Fragebogen:

- Für Diagramme:

Entscheidend sind die qualitativen Aspekte der Diagramme. Wird der gefragte Fachinhalt erkennbar dargestellt (bspw. Art der Funktion bzw. Zusammenhang zwischen zwei Funktionen), ist das Diagramm mit 1 zu kodieren. Sorgfaltsaspekte und ein exakter Maßstab können daher vernachlässigt werden, sofern es zu keinen fachlichen Fehlschlüssen führt.

Abgrenzung:

Bei der Zeichnung bzw. Skizzierung von Vektoren ist beispielsweise das Längenverhältnis und auch die Richtung mit größerer Genauigkeit zu bewerten, da hier die vektoriellen Aspekte der Größe wesentlich für das Verständnis des Konzepts sind. Auch wenn keine Exaktheit der genauen Maße notwendig ist, so ist auch hier die Verhältnismäßigkeit der Größen untereinander wesentlich für die Bewertung.

- Berechnete Größen:

Wird als Antwort einer Aufgabe eine physikalische Größe berechnet, ist stets eine korrekte Einheit notwendig, damit mit 1 kodiert wird. Die Einheiten dürfen dabei von der angegebenen richtigen Lösung abweichen, sofern es sich um eine einfache Umrechnung in derselben Dimension handelt.

Die Anzahl der angegebenen Stellen wird hier vernachlässigt.

- Allgemein:

Sofern eine richtige Antwort durch einen falschen Aspekt ergänzt wird, wird sie stets mit Null kodiert.

Für alle Aufgaben mit Teilaufgaben, wird eine Gesamtvariable erstellt, die den Mittelwert der betreffenden Aufgabe wiedergibt. Dabei werden fehlende Bearbeitungen (99,98,97) als falsch(0) gewertet.

Aufgabe: Aufgabentyp

Abgabe 1/ A1: Zeichnung von Diagrammen

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das Weg-Zeit Diagramm eine lineare Funktion zeigt.

...**und** das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm eine konstante Funktion parallel zur x -Achse zeigt.

...**und** das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm die Ableitung des skizzierten Zeit-Weg-Diagramms ist (z. B. müssen Achsenabschnitte passen).

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...das Weg-Zeit-Diagramm keinen linearen Verlauf zeigt.

...**oder** das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm keine konstante Funktion parallel zur x -Achse zeigt.

... **oder** beide Diagramme nicht zusammen passen.

Aufgabe 1/ A2: *Single-Choice*

Richtige Lösung: $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$

Abgabe 2/ A3: Grafik adaptieren

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...der Beschleunigungspfeil beim Bremsen entgegen der Fahrtrichtung eingetragen ist.

...**und** bei der konstanten Tachoanzeige die Beschleunigung in Richtung des Kreismittelpunkts der Kurve eingetragen ist.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Pfeile falsch gerichtet sind.

...das Längenverhältnis der Pfeile falsch ist.

Abgabe 3/ A4: Grafik adaptieren

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Pfeile in jedem Punkt tangential zur Bahnkurve verlaufen.

...**und** die Pfeillängen folgende Relationen haben: $v_C > v_A > v_b$

Der Angriffspunkt der Pfeile kann hier vernachlässigt werden.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Pfeile nicht tangential eingetragen sind.

...**oder** an einer falschen Stelle eingetragen sind.

...**oder** die Längenverhältnisse falsch sind.

...**oder** die Pfeile losgelöst von der Skizze dargestellt werden.

Aufgabe 2/ A5: *Single-Choice*

Richtige Lösung: keine der obigen

Aufgabe 3/ A6: Rechenaufgabe

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das richtige Ergebnis genannt wird [$1 \frac{m}{s^2}$].

...eine sinnvolle Formel genannt wird [z. B. $F = konstant = 3 \cdot m \cdot a_{neu} = m \cdot 3 \frac{m}{s^2}$

...das Verhältnis zur vorherigen Beschleunigung genannt wird [nur noch ein Drittel].

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...weder Ergebnis noch Formel richtig und nachvollziehbar angegeben werden.

...das Ergebnis ohne oder mit der falschen Einheit angegeben wird (es sei denn es wird ein Verhältnis angegeben, also 1/3 der Beschleunigung).

Aufgabe 4/ A7: Rechenaufgabe

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das richtige Ergebnis genannt wird [$r = 10m$]. ...der *umgeformte* Ansatz $r = \frac{v^2}{\mu \cdot g}$ angegeben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...kein richtiges Ergebnis genannt wird.

Aufgabe 5/ A8 a): *Single-Choice*

Richtige Lösung: $E_{ges} = GmM(\frac{1}{h_0} - \frac{1}{h})$

Aufgabe 6/ A8 b): Konzeptaufgabe

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die fehlende Konstanz der Erdbeschleunigung g genannt wird.

...**oder** die Ortsabhängigkeit des Gravitationspotentials beschrieben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Veränderlichkeit von g nicht aufgegriffen wird.

Aufgabe 7/ J1: *Single-Choice*

Richtige Lösung: '... elektrische Energie in mechanische Energie um.'

Abgabe 4/ J2: Zeichnung von Diagrammen

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...für das Weg-Zeit-Diagramm in den Phasen des Gehens und Rennens ein linearer Verlauf eingezeichnet ist.

...**und** die Steigung beim Rennen größer ist als beim Gehen.

...**und** in der Phase des Stehens eine Waagerechte zur x-Achse eingetragen ist.

...**und** für das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm in den Phasen des Gehens und Rennens eine Waagerechte zur x-Achse eingezeichnet ist.

...**und** die Geschwindigkeit für das Rennen einen höheren Wert hat.

...**und** für das Stehen eine Waagerechte *auf der x-Achse* eingetragen ist.

...**und** die beiden Diagramme zueinander passen ($v-t$ -Diagramm als Ableitung des $s-t$ -Diagramms).

Dabei sind sowohl Varianten zu berücksichtigen, die zu Beginn des Gehens und/oder Rennens eine kurze Beschleunigungsphase darstellen, als auch solche, die von einer instantanen Änderung ausgehen.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...eines der zuvor genannten Kriterien nicht zutrifft.

Abgabe 5/ J3: Grafik adaptieren

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...in der ersten Position ein Pfeil parallel zur Ebene in Bewegungsrichtung eingetragen ist.

...**und** in der zweiten Position kein Pfeil eingezeichnet wird.

...**und** in der dritten Position ein Pfeil senkrecht nach unten eingetragen ist.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...für eine der Positionen ein falscher Pfeil eingezeichnet wird.

Abgabe 6/Aufgabe 13a/ J4: Skizze

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn ...

..ein weiterer Pfeil mit Betrag 1N nach links eingezeichnet wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...ein falscher Pfeil eingezeichnet wird.

Aufgabe 8/ Aufgabe 13b/ J4: Begründung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...anhand der konstanten Geschwindigkeit begründet wird, dass ein Kräftegleichgewicht vorliegen muss.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...**oder** eine Begründung fehlt.

...**oder** die Begründung nicht auf das Kräftegleichgewicht bzw. den Bewegungszustand eingeht.

Aufgabe 9/ J5: Aufgabentyp

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Formel einer Schreibweise von $E_{rot} = \frac{1}{2}I\omega^2$ entspricht. Gleichbedeutende andere Formeln sind ebenfalls zulässig, z. B. $E_{rot} = \frac{1}{2}m \cdot (\omega \cdot r)^2$. Dabei wird ebenfalls J als Formelzeichen für das Trägheitsmoment akzeptiert, jedoch nicht j oder i . Für ω wird ebenfalls w oder „*omega*“ akzeptiert.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...für jede andere Formel.

Aufgabe 10/ J6 : Erklärung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Gleichheit der Beträge der Kräfte angegeben wird.

...**und** die entgegengesetzte Richtung der Kräfte angegeben wird.

...**und** die konstante Geschwindigkeit als Grund für das Fehlen einer resultierenden Kraft genannt wird.

...**oder** die konstante Geschwindigkeit als Grund für das Fehlen einer resultierenden Beschleunigung angegeben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...keine Gleichheit der Kräfte angegeben wird.

...keine Begründung angegeben wird.

...die Begründung die Bewegungsform nicht berücksichtigt.

Aufgabe 11/ H1 a): *Wahr-Falsch*

Richtige Lösung: fachlich korrekt

Aufgabe 12/ H1 b): *Wahr-Falsch*

Richtige Lösung: fachlich nicht korrekt

Aufgabe 13/ H2: *Single-Choice*

Richtige Lösung: 'Die Beschleunigung von a ist genau so groß wie die Beschleunigung von b. Beide Beschleunigungen sind gleich Null.'

Aufgabe 14/H3: *Single-Choice*

Richtige Lösung: 'Keine Kraft'

Aufgabe 15/ H4: Rechenaufgabe

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Antwort gleichbedeutend mit einem Stillstand ist, z. B. $v = 0$.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...irgendeine Form der Bewegung angenommen wird.

Aufgabe 16/ H5 a): Aufgabentyp

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das korrekte Ergebnis $[v = 4,4 \frac{m}{s}]$ genannt wird.

...**oder** wenn die richtig *umgeformte* Formel $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...weder Formel noch Ergebnis korrekt sind.

Aufgabe 17/ H5 b): Aufgabentyp

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das richtige Ergebnis $\approx 687N$ genannt werden

...**oder** wenn die vollständige Formel $F_s = F_g + F_z = m \cdot (g + \frac{v^2}{r})$ angegeben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...weder Formel noch Ergebnis richtig angegeben werden.

Aufgabe 18/ H6: Aufgabentyp

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

... für den Betrag angegeben wird $v_C \approx 8,5 \frac{m}{s}$.

...**und** für die Richtung der Geschwindigkeit 45° unterhalb der x -Achse angegeben wird.

...oder die Geschwindigkeitskomponenten in positive x -Richtung und negative y -Richtung mit jeweils $6 \frac{m}{s}$ angegeben werden bzw. der entsprechende Vektor $\vec{v}_C = (\frac{6}{-6}) \frac{m}{s}$ aufgestellt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...Betrag oder Richtung nicht korrekt sind.

Aufgabe 19/ H7 : Aufgabentyp

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das Ergebnis $W = 80J$ angegeben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...ein anderes Ergebnis angegeben wird.

...statt eines Ergebnisses die Art einer Arbeit (z. B. Beschleunigungsarbeit) benannt wird.

Post MZP: EDB

Allgemeine Kriterien gelten wie für das Testinstrument zum Prä MZP Fachwissen.

Aufgabe 1/ E1: *Single-Choice*

Richtige Lösung: 'Eine Kiste rutscht mit konstanter Geschwindigkeit über den Boden.'

Abgabe 1/ E2: Zeichnen eines Diagramms

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...für die beiden Phasen mit konstanter Geschwindigkeit eine Waagerechte auf der x-Achse eingetragen wird (keine wirkende Kraft).

...**und** für die Phase der linear ansteigenden Geschwindigkeit eine Waagerechte positiven Betrags zur x-Achse gezeichnet wird (es wirkt eine konstante Kraft).

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...für eine der drei Phasen ein falsches Verhalten der Kraft eingetragen wird.

Aufgabe 2/ E3: Begründung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

... angegeben wird das eines der Räder schneller beschleunigt. Dieses kann dabei als Rad A identifiziert werden oder nicht näher bestimmt sein, sofern eine Begründung vorliegt. Sofern Rad B als das schneller beschleunigende identifiziert wird, ist aufgrund der fachlichen Inkorrektheit mit 0 zu kodieren.

...**und** eine Begründung über das höhere Trägheitsmoment von B erfolgt oder eine andere fachlich korrekte Begründung gegeben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...Rad B als dasjenige identifiziert wird, das schneller beschleunigt.

...**oder** eine Begründung fehlt.

...**oder** die Begründung weder auf Trägheitsmoment, Rotationsenergie oder Drehmoment eingeht.

Aufgabe 3/ E4: *Single-Choice*

Richtige Lösung: 'Je schneller sich ein Objekt bewegt, desto mehr Kraft hat es.'

Abgabe 2/ E5: Zeichnen eines Diagramms

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm in einem ersten Intervall mit Null oder einem positiven Wert startet und eine positive Steigung aufweist. Im nächsten Intervall bleibt der Graph konstant und im letzten Intervall nimmt er eine negative Steigung an, die entweder gespiegelt zum ersten Intervall oder steiler ist. Die Funktionswerte bleiben dabei jedoch größer Null.

...**und** das Beschleunigungs-Zeit-Diagramm die Ableitung des Geschwindigkeits-Zeit-Diagramms darstellt.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...der Bewegungsverlauf in einem der Diagramme nicht richtig dargestellt wird, beispielsweise weil die Intervalle ein falsches Verhältnis zueinander aufweisen.

...**oder** das Beschleunigungs-Zeit-Diagramm nicht die Ableitung des Geschwindigkeits-Zeit-Diagramms darstellt.

Aufgabe 4/ E6: *Single-Choice*

Richtige Lösung: 'Der konstante Graph C.'

Aufgabe 5/ E7: Einfache Rechnung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das Ergebnis $M = 5 \text{ Nm} = 5 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$ ist.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...ein anderes Ergebnis genannt wird.

...**oder** die Einheit Joule gewählt wird.

Abgabe 3/ D1: Grafik adaptieren

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...ein Pfeil eingezeichnet wird, der zwischen Mann und Junge verläuft und dabei deutlich näher an dem Mann als an dem Jungen verläuft. Die Länge des Pfeils ist dabei egal, sofern keine Kraftpfeile für Mann und Jungen eingezeichnet werden. Andernfalls müssen die Regeln der Vektoraddition berücksichtigt werden.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...der Pfeil näher in Richtung des Jungen verläuft.

...**oder** der Pfeil mittig zwischen beiden verläuft.

...**oder** der Pfeil außerhalb der beiden vorgezeichneten Linien verläuft.

...**oder** für die Kräfte von Mann und Jungem ebenfalls Pfeile eingezeichnet werden und sich die resultierende Kraft nicht aus diesen ergibt.

...**oder** statt eines Vektorpfeils nur eine Linie eingetragen wird.

Aufgabe 6/ D2: *Single-Choice*

Richtige Lösung: Antwort d)

Aufgabe 7/ D3: *Single-Choice*

Richtige Lösung: '...eine Rotationsbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit und konstantem Radius.'

Abgabe 4/ D5: Zeichnen eines Diagramms

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...der Impuls bei p_0 beginnt und linear ansteigt.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...ein anderer Verlauf dargestellt wird.

Aufgabe 8/ D6: Aufgabentyp

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...der vektorielle Charakter des Impulses genutzt wird um zu beschreiben, dass der Vorgang bei einem ruhenden Körper nicht derart ablaufen kann

...**oder** die Impulserhaltung anderweitig zur Erklärung genutzt wird.

...**oder** anders gezeigt wird, dass keine Möglichkeit besteht die gerichtete Größe zu kompensieren.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...angegeben wird, dass eine vollständige Umwandlung in andere Energieformen möglich ist.

...**oder** fälschlich über die Massen argumentiert wird (z. B. bei einer Wand).

...**oder** der vollkommen inelastische Stoß als alleinige Begründung genutzt wird, um zu erklären, dass die Körper sich anschließend noch bewegen müssen.

Abgabe 5/ D7: Aufgabentyp

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...eine radiale Beschleunigung zum Kreisbogen und eine tangentielle Beschleunigung nach hinten eingezeichnet werden.

...**und** eine resultierende Beschleunigung aus beiden Komponenten gebildet wird.

...**oder** nur die resultierende Beschleunigung mit Begründung über Bremsung (negative Beschleunigung) und Kreisbogen (Zentripetalbeschleunigung/Normalkomponente der Gewichtskraft) angegeben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...eine falsche Richtung der Beschleunigung eingetragen wird.

...**oder** keine Begründung/Vorgehen erkennbar ist.

Aufgabe 9/ D8: Einfache Rechnung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das Ergebnis $\alpha = \frac{M}{I} = 0,17 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$ angegeben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...ein anderes Ergebnis genannt wird.

Aufgabe 10/ B1: *Single-Choice*

Richtige Lösung: '... auf das Objekt eine Kraft eingewirkt hat.'

Aufgabe 11/ B2: Aufzählung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn mindestens zwei der folgenden Energieformen genannt werden...

...kinetische Energie/ Bewegungsenergie

...potentielle Energie/Lageenergie

...Spannenergie/Federenergie

...Rotationsenergie.

Dabei sind gängige Abkürzungen wie E_{kin} , E_{pot} , E_{spann} , E_{Feder} , E_{rot} ebenfalls zulässig, ebenso wie die bloße Benennung der Spezifikation ohne den Begriff „Energie“ erneut aufzugreifen, z. B. „kinetische und potentielle“.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

... keine Energieform genannt wird.

...**odernur** eine Energieform genannt wird.

...**oder** eine der Energieformen falsch ist.

...**oder** statt Energieformen Arbeitsformen genannt werden.

...**oder** lediglich Formeln angegeben werden, die die Energieform nicht benennen.

Abgabe 6/ B3: begründete Rechnung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Arbeit beider Männer korrekt berechnet wurde $W_{Chemerkin} = F_g \cdot \Delta h \approx 5100\text{J}$ (mit $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $W_{Chemerkin} \approx 5200\text{J}$) und $W_{Anderson} = F_g \cdot \Delta h = 274\text{J}$ (mit $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $W_{Anderson} \approx 279\text{J}$). Anstelle der Hubarbeit, kann auch ein Ansatz über die potentielle Energie gewählt werden.

...**und** sowohl Gleichungen als auch Ergebnisse korrekt sind.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...die Formel zur Berechnung der Arbeit fehlt.

...die Ergebnisse nicht korrekt sind.

Aufgabe 12/ B4 : Rechnung anhand eines Diagramms

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die Lösung mit **6cm** richtig angegeben ist. Die Rechnung ist nicht erforderlich.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...das Ergebnis falsch ist.

Aufgabe 13/ B5: Einfache Rechnung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...die richtige Lösung $f_{neu} = 4\text{Hz}$ genannt wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...weder Formel noch Ergebnis korrekt sind.

Aufgabe 14: *Single-Choice*

Richtige Lösung: $L = \int M dt$

Abgabe 7/ B7: Zeichnung eines Diagramms

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...beide Kurven eine nach unten geöffnete Parabel zeigen, die ihren Scheitelpunkt bei h_0 haben.

...**und entweder** beide Kurven gleich verlaufen (keine Reibung).

...**oder** die Parabel steiler der Kreide steiler ist und früher am Boden ankommt (mit Luftreibung). Dafür müssen die Graphen so beschriftet sein, dass die Zuordnung klar zu entnehmen ist.

...**und** die Graphen dabei qualitativ als Parabeln zu erkennen sind.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...mindestens eine der Kurven eine falsche Form hat.

Aufgabe 15/ B7: Begründung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...eine Begründung erfolgt, die die beschleunigte Bewegung berücksichtigt. ...**und** im Fall der verschiedenen Bewegungsverläufe einen Vergleich dieser berücksichtigt.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...keine Begründung vorgenommen wird,

...eine falsche Begründung vorgenommen wird.

Aufgabe 16/ B8: Einfache Rechnung

Die Aufgabe wird mit 1 kodiert, wenn...

...das Ergebnis $a = -1,39 \frac{m}{s^2}$ angegeben wird.

Die Aufgabe wird mit Null kodiert, wenn...

...das Ergebnis nicht übereinstimmt. Die einzige Ausnahme ist, wenn a negativ definiert wird und der Betrag dennoch übereinstimmt.

Sortieraufgaben

Die Sortieraufgaben (adaptiert von Binder, Schmiemann & Theyßen, 2019) liegen vollständig in Moodle implementiert vor. Da durch unterschiedliche Formulierungen mehrere richtige Antworten möglich sind, ist bisher eine Auswahl an richtigen Formulierungen zur automatischen Bewertung hinterlegt, die jedoch nicht vollständig sein kann.

Aus diesem Grund müssen die als falsch bewerteten Aufgaben nachkodiert werden und im Fall einer richtigen Antwort wird die Lösung im Manual aufgenommen und in Moodle als weitere richtige Antwort hinterlegt. Folgende Entscheidungshilfen gelten dabei:

Antworten werden als richtig kodiert, wenn...

...der richtige Lösungsansatz deutlich benannt wird. Dabei reicht die Benennung des zentralen Konzepts nicht aus, sondern es muss deutlich der zugehörige *Lösungsansatz* herausgestellt werden. Dies erfolgt in der Regel durch Spezifikationen.

Anstelle von „Kraft“ muss demnach „Kräfteansatz/Kräftegleichgewicht“ oder die *korrekte* Spezifikation beider Kräfte genannt werden.

Analog gilt für die Energieerhaltung, dass „Energieansatz/Energieerhaltung“ oder die *korrekte* Spezifikation der Energieformen der beiden Zeitpunkte genannt werden muss.

Für die Impulserhaltung gilt, dass „Impulsansatz/Impulserhaltung/Impulsübertragung“ oder die *korrekte* Spezifikation des Stoßes genannt werden muss.

Für den kinematischen Ansatz gilt, dass „Kinematik/kinematischer Ansatz/Bewegungsgleichungen/Ort-Zeit-Gesetz“ oder die *korrekte* Spezifikation der Bewegungstypen genannt werden muss. Variationen wie „Zeit-Ort-Gesetz/Weg-Zeit-Gesetz/Zeit-Weg-Gesetz“ sind alle gleichermaßen gültig. Es ist ebenfalls die Nennung eines Diagrammtyps statt des zugehörigen Gesetzes gültig (z. B. Ort-Zeit-Diagramm), da der gleiche Zusammenhang in grafischer Form angegeben wird. Sofern nur ein Bewegungstyp vorliegt reicht dessen Spezifikation aus.

...zwar eine spezifischer/detaillierter Lösungsansatz beschrieben wird, aber das jeweilige richtige Konzept (Kinematischer Ansatz, Kräftegleichgewicht, Energieerhaltung oder Impulserhaltung) klar im Fokus der Antwort steht.

Beispiele: „Summe aller Kräfte in x-Richtung gleich null, Summe aller Kräfte in y Richtung gleich null und entsprechendes Moment gleich null, dann nach so umstellen das man die geeigneten Größen berechnen kann und schliesslich v_{max} zu berechnen“ oder „=Zeit für freien Fall des Steins + Zeit resultierend aus der konstanten Geschwindigkeit des Schalls für 25m 'Rückweg'“ oder „Formel angucken und gucken wann die Kräfte sich ausgleichen“

...zu dem zentralen Konzept ein weiterer Aspekt ergänzt wird, der für die spezifische Aufgabe relevant, aber nicht hinreichend für die Beschreibung ist (z. B. „Kräfte und Kreisbewegung“ „Dynamik, schiefe Ebene“)

...die Beschreibung einer Gleichung genannt wird, sofern der ganze Ansatz richtig dargestellt wird (z. B. „Haftreibungskoeffizient mal Gewichtskraft, für Haftreibungskraft; $F_{\text{Haft}} > F_z$, Zentripetalkraft“).

...die Formel für den Ansatz ausgeschrieben wird (z. B. „Masse LKW * v_{LKW} + Masse PKW * v_{PKW} / Masse Ges“).

Antworten werden als falsch kodiert, wenn...

...die Antwort nicht ausreicht, um den konkreten Ansatz zu erkennen. Dies ist der Fall wenn die Antwort nicht spezifisch genug ist, um den geforderten Zusammenhang zu erkennen (z. B. „Kraft“ statt „Kräftegleichgewicht“) oder eine Beschreibung der Lösung erfolgt, die nicht auf den zugrundeliegenden Ansatz schließen lässt.

Beispiele: „Weg berechnen mittels Kreisbogen. Mit Fallbeschleunigung Geschwindigkeit nach berechneter Strecke ermitteln.“

„berechnen wie viel das zusätzliche gewicht die geschwindigkeit beeinflusst“ „,Fliehkräfte ermitteln und auf Feder wirken lassen. Längung mittels Federkonstante in Verbindung mit wirkender Kraft ermitteln.“)

...zwar das richtige Konzept genannt wird, aber die Aussage fachlich falsch ist (z. B. „Energiegewinnung“).

...ausschließlich ein Zahlenergebnis oder Rechnung angegeben wird (Abgrenzung: der allgemeine Ansatz über die Formel wird hingegen mit 1 kodiert).

...nur ein Aspekt des Konzepts angegeben wird (z. B. „Hookesches Gesetz“ anstatt „Kräftegleichgewicht“ oder nur „Federkraft“ statt „Federkraft und Zentripetalkraft“ ; oder „kinetische Energie“ statt „Energieerhaltung“)

...die Beschreibung einer Gleichung genannt wird, sofern sie nicht den ganzen Ansatz darstellt (z. B. „Geschwindigkeit ist Beschleunigung mal Zeit“ oder „Beschleunigung Formel anwenden“ oder „Weg berechnen mittels Kreisbogen. Mit Fallbeschleunigung Geschwindigkeit nach berechneter Strecke ermitteln.“)

...trotz einer richtigen Antwort ein fachlich falscher Teil oder ein falsches Konzept hinzukommen (z. B. „Zentripetalkraft, Reibungsarbeit“ oder „senkrechter Wurf+Impuls“)

...das Konzept fachlich unpräzise benannt wird oder fachsprachliche Neuschöpfungen genutzt werden die falsch oder ungenau sind (z. B. „Kraftumformende Einrichtungen, Geneigte Ebene“).

...zwar das richtige Vorgehen beschrieben wird, aber der Begriff des relevanten Konzepts bzw. Ansatzes nicht auftaucht (z. B. „spannung der Feder und Härte mit dem gewicht der kugel verrechnen“ für Kräfte).

...falsche Formelzeichen verwendet werden (z. B. $F_S = \frac{1}{2}m \cdot v^2$). *Ausnahmen sind Formelzeichen, die mit der Tastatur nicht einfach zu erstellen sind, wie beispielsweise ω . Hier werden ähnliche Zeichen wie in diesem Fall w oder das ausgeschriebene Wort Omega zugelassen.*

Weitere Entscheidungshilfen für die konkreten Themen:

Kinematik

Antworten werden als richtig kodiert, wenn...

...alle vorkommenden Bewegungstypen benannt werden, sofern diese zutreffend sind (z. B. „gleichförmige Bewegung“, „beschleunigte Bewegung“ oder „Kreisbewegung“ „Rotationsbewegung“). Dabei ist der Begriff „Bewegung“ nicht zwingende notwendig. Die Spezifikation „gleichmäßige Beschleunigung“ und „konstante Geschwindigkeit“ sind somit auch zulässig.

...der Bewegungstyp weiter spezifiziert wird (z. B. „freier Fall“).

...der Ansatz durch die Verwendung mehrerer Bewegungsgleichungen deutlich wird. Daher wird bei Nennung nur eines Schlagwortes ohne weitere Ausführungen streng auf den Plural geachtet.

Antworten werden als falsch kodiert, wenn...

...lediglich eine der Größen der Bewegungsgleichungen genannt wird ohne die Spezifikation der Bewegung zu berücksichtigen (z. B. „Geschwindigkeit“, „Zeitliche Änderungsrate der Ortes (Geschwindigkeit pro Sekunde ausrechnen)“)

...zwar eine Bewegungsgleichung der richtigen Bewegungsform aufgestellt wurde, diese jedoch nicht zur Lösung der Aufgabe passt (z. B. $v(t) = a \cdot t + v_0$ statt $s(t) = \frac{1}{2}a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$)

...nur der Singular „Bewegungsgleichung“ genannt wird, wenn mehrere Bewegungsgleichungen zur Lösung notwendig sind (A3 und A7).

Kräfte

Antworten werden als richtig kodiert, wenn...

...beide Kräfte in ihrer Spezifikation benannt werden (z. B. „Zentripetalkraft gleich Federkraft“).

...das Vorgehen bzgl. des Kräfteansatzes spezifiziert wird (z. B. „Summe aller Kräfte parallel zur Ebene“ oder „1) Gewichtskraft des Autos zerlegen in X und Y Richtung (Koordinatensystem 8 Grad Steigung) 2) $Fr = u_0 * FN$ nach u_0 umstellen“).

... die Begriffe „Statik“ oder „Dynamik“ verwendet werden.

...die korrekte Gleichung oder Ungleichung der betreffenden Kräfte aufgestellt wird.

...der Ansatz durch die Verwendung mehrerer Kräfte deutlich wird (z. B. „Kräfte“, „Kräfteansatz“, „Kräftegleichgewicht“). Daher wird bei Nennung nur eines Schlagwortes ohne weitere Ausführungen streng auf den Plural geachtet. Sofern der allgemeine Ansatz genannt wird, der zur Kodierung mit 1 führt, bleibt es dabei auch wenn nur eine der Kräfte spezifiziert wird (z. B. „Hoksche Gesetz, Kräftegleichgewicht“).

Antworten werden als falsch kodiert, wenn...

...nur die Newtonschen Axiome/Gesetze genannt werden und der Zusammenhang der Kräfte vernachlässigt wird.

...nur der Begriff „Schiefe Ebene“ ohne den Verweis auf die jeweilige Kraft genannt wird.

...andere Größen genannt werden insbesondere Momente (z. B. „Trägheitsmoment“ oder „Momentengleichung“).

...nur eine der Kräfte spezifiziert wird und die andere nicht erwähnt bleibt (z. B. „Reibungskraft“ oder „Hookesches Gesetz“).

...die falschen beiden Kräfte genannt werden (z. B. „Lagerreaktionen bestimmen also: FN und FR“).

...lediglich die Bewegungsform angegeben wird (z. B. „beschleunigte Bewegung“ oder „Kreisbewegung“).

...nur der Singular des Konzepts „Kraft“ genannt wird.

Energie

Antworten werden als richtig kodiert, wenn...

...der Umwandlungsprozess von Energieformen richtig beschrieben wird.

...das abgeschlossene System als Aspekt der Erhaltung genannt wird.

...die Gesamtenergie näher beschrieben wird (z. B. $E_{ges,vorher} = E_{ges,nachher}$)

... die beiden relevanten Energiezustände zu den jeweiligen Zeitpunkten spezifiziert werden (z. B. $E_{kin,1} = E_{pot,2}$)

Hinweis:Dabei wird im Fall der Rotationsenergie auch der übergeordnete Begriff der kinematischen Energie zugelassen.

Antworten werden als falsch kodiert, wenn...

...lediglich eine aufkommende Energieform genannt wird (z. B. „kinetische Energie“).

...ausschließlich der Begriff der Energie ohne den Erhaltungsaspekt genannt wird bzw. der Ansatz nicht anderweitig spezifiziert wird.

...die Arbeit anstelle der Energiezustände beschrieben wird oder die falsche Bezeichnung der Energie angegeben wird (z. B. „ $W_{kin} + W_{Feder} = 0$ “).

Impuls

Antworten werden als richtig kodiert, wenn...

...der *korrekte* spezifizierte Stoß genannt wird. Für einen vollkommen inelastischen Stoß, muss die Einschränkung „vollkommen“ jedoch nicht zwingend genannt werden.

...der Begriff „Impulserhaltung“ oder „Impulsansatz“ oder „Impulsübertragung“ genannt wird.

...die korrekte Impulserhaltung als Formel oder in Worten aufgestellt wird.

Antworten werden als falsch kodiert, wenn...

...der Stoß gar nicht oder falsch spezifiziert wird.

...nur das Konzept „Impuls“ oder die zugehörige Formel genannt wird.

Einstellungen zu den zentralen Elementen der Lehrveranstaltungen

Der Fragebogen zu den Einstellungen zu den zentralen Elementen der Lehrveranstaltungen liegt vollständig in Moodle implementiert vor und beinhaltet ausschließlich Fragen, die einer 5-stufigen Likert-Skala entsprechen. Da in Moodle eine Wertigkeit der einzelnen Antworten hinterlegt werden muss, werden die Items von -0.5 bis +0.5 (in 0.25er Schritten) hinterlegt. Die Umkodierung von 1 bis 5 wird anschließend in Excel durch Ersetzen der jeweiligen Werte realisiert. Von einer Mehrfachkodierung wird daher an dieser Stelle abgesehen.

Bisher erschienene Bände der Reihe
Studien zum Physik- und Chemielernen

ISSN 1614-8967

Vollständige Übersicht auf unserer Website



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

Aktuelle Bände

- 300 Amany Annaggar (2020): A Design Framework for Video Game-Based Gamification Elements to Assess Problem-solving Competence in Chemistry Education
ISBN 978-3-8325-5150-6 52.00 EUR
- 301 Alexander Engl (2020): CHEMIE PUR – Unterrichten in der Natur. Entwicklung und Evaluation eines kontextorientierten Unterrichtskonzepts im Bereich Outdoor Education zur Änderung der Einstellung zu „Chemie und Natur“
ISBN 978-3-8325-5174-2 59.00 EUR (open access)
- 302 Christin Marie Sajons (2020): Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln
ISBN 978-3-8325-5155-1 56.00 EUR (open access)
- 303 Philipp Bitzenbauer (2020): Quantenoptik an Schulen. Studie im Mixed-Methods Design zur Evaluation des Erlanger Unterrichtskonzepts zur Quantenoptik
ISBN 978-3-8325-5123-0 59.00 EUR (open access)
- 304 Malte Ubben (2020): Typisierung des Verständnisses mentaler Modelle mittels empirischer Datenerhebung am Beispiel der Quantenphysik
ISBN 978-3-8325-5181-0 43.50 EUR (open access)
- 305 Wiebke Hinrike Kuske-Janßen (2020): Sprachlicher Umgang mit Formeln von LehrerInnen im Physikunterricht am Beispiel des elektrischen Widerstandes in Klassenstufe 8
ISBN 978-3-8325-5183-4 47.50 EUR (open access)
- 306 Kai Bliesmer (2020): Physik der Küste für außerschulische Lernorte. Eine Didaktische Rekonstruktion
ISBN 978-3-8325-5190-2 58.00 EUR (open access)
- 307 Nikola Schild (2021): Eignung von domänenspezifischen Studieneingangsvariablen als Prädiktoren für Studienerfolg im Fach und Lehramt Physik
ISBN 978-3-8325-5226-8 42.00 EUR (open access)

- 308 Daniel Aeverbeck (2021): Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemie-
studiums. Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen
ISBN 978-3-8325-5227-5 51.00 EUR
- 309 Martina Strübe (2021): Modelle und Experimente im Chemieunterricht. Eine Video-
studie zum fachspezifischen Lehrerwissen und -handeln
ISBN 978-3-8325-5245-9 45.50 EUR
- 310 Wolfgang Becker (2021): Auswirkungen unterschiedlicher experimenteller Repräsen-
tationen auf den Kenntnisstand bei Grundschulkindern
ISBN 978-3-8325-5255-8 50.00 EUR
- 311 Marvin Rost (2021): Modelle als Mittel der Erkenntnisgewinnung im Chemieunter-
richt der Sekundarstufe I. Entwicklung und quantitative Dimensionalitätsanalyse eines
Testinstruments aus epistemologischer Perspektive
ISBN 978-3-8325-5256-5 44.00 EUR (open access)
- 312 Christina Kobl (2021): Förderung und Erfassung der Reflexionskompetenz im Fach
Chemie
ISBN 978-3-8325-5259-6 41.00 EUR (open access)
- 313 Ann-Kathrin Beretz (2021): Diagnostische Prozesse von Studierenden des Lehramts.
eine Videostudie in den Fächern Physik und Mathematik
ISBN 978-3-8325-5288-6 45.00 EUR (open access)
- 314 Judith Breuer (2021): Implementierung fachdidaktischer Innovationen durch das An-
gebot materialgestützter Unterrichtskonzeptionen. Fallanalysen zum Nutzungsverhalten
von Lehrkräften am Beispiel des Münchener Lehrgangs zur Quantenmechanik
ISBN 978-3-8325-5293-0 50.50 EUR (open access)
- 315 Michaela Oettle (2021): Modellierung des Fachwissens von Lehrkräften in der Teil-
chenphysik. Eine Delphi-Studie
ISBN 978-3-8325-5305-0 57.50 EUR (open access)
- 316 Volker Brüggemann (2021): Entwicklung und Pilotierung eines adaptiven Multistage-
Tests zur Kompetenzerfassung im Bereich naturwissenschaftlichen Denkens
ISBN 978-3-8325-5331-9 40.00 EUR (open access)
- 317 Stefan Müller (2021): Die Vorläufigkeit und soziokulturelle Eingebundenheit natur-
wissenschaftlicher Erkenntnisse. Kritische Reflexion, empirische Befunde und fachdi-
daktische Konsequenzen für die Chemielehrer*innenbildung
ISBN 978-3-8325-5343-2 63.00 EUR
- 318 Laurence Müller (2021): Alltagsentscheidungen für den Chemieunterricht erkennen
und Entscheidungsprozesse explorativ begleiten
ISBN 978-3-8325-5379-1 59.00 EUR
- 319 Lars Ehlert (2021): Entwicklung und Evaluation einer Lehrkräftefortbildung zur Pla-
nung von selbstgesteuerten Experimenten
ISBN 978-3-8325-5393-7 41.50 EUR (open access)

- 320 Florian Seiler (2021): Entwicklung und Evaluation eines Seminarkonzepts zur Förderung der experimentellen Planungskompetenz von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5397-5 47.50 EUR (open access)
- 321 Nadine Boele (2021): Entwicklung eines Messinstruments zur Erfassung der professionellen Unterrichtswahrnehmung von (angehenden) Chemielehrkräften hinsichtlich der Lernunterstützung
ISBN 978-3-8325-5402-6 46.50 EUR
- 322 Franziska Zimmermann (2022): Entwicklung und Evaluation digitalisierungsbezogener Kompetenzen von angehenden Chemielehrkräften
ISBN 978-3-8325-5410-1 49.50 EUR
- 323 Lars-Frederik Weiß (2021): Der Flipped Classroom in der Physik-Lehre. Empirische Untersuchungen in Schule und Hochschule
ISBN 978-3-8325-5418-7 51.00 EUR
- 324 Tilmann Steinmetz (2021): Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. Theorie und Evaluation eines Lehrkonzepts
ISBN 978-3-8325-5421-7 51.50 EUR
- 325 Kübra Nur Celik (2022): Entwicklung von chemischem Fachwissen in der Sekundarstufe I. Validierung einer Learning Progression für die Basiskonzepte „Struktur der Materie“, „Chemische Reaktion“ und „Energie“ im Kompetenzbereich „Umgang mit Fachwissen“
ISBN 978-3-8325-5431-6 55.00 EUR
- 326 Matthias Ungermann (2022): Förderung des Verständnisses von Nature of Science und der experimentellen Kompetenz im Schüler*innen-Labor Physik in Abgrenzung zum Regelunterricht
ISBN 978-3-8325-5442-2 55.50 EUR
- 327 Christoph Hoyer (2022): Multimedial unterstütztes Experimentieren im webbasierten Labor zur Messung, Visualisierung und Analyse des Feldes eines Permanentmagneten
ISBN 978-3-8325-5453-8 45.00 EUR
- 328 Tobias Schüttler (2022): Schülerlabore als interessefördernde authentische Lernorte für den naturwissenschaftlichen Unterricht nutzen
ISBN 978-3-8325-5454-5 50.50 EUR
- 329 Christopher Kurth (2022): Die Kompetenz von Studierenden, Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren zu diagnostizieren
ISBN 978-3-8325-5457-6 58.50 EUR
- 330 Dagmar Michna (2022): Inklusiver Anfangsunterricht Chemie. Entwicklung und Evaluation einer Unterrichtseinheit zur Einführung der chemischen Reaktion
ISBN 978-3-8325-5463-7 49.50 EUR
- 331 Marco Seiter (2022): Die Bedeutung der Elementarisierung für den Erfolg von Mechanikunterricht in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5471-2 66.00 EUR

- 332 Jörn Hägele (2022): Kompetenzaufbau zum experimentbezogenen Denken und Arbeiten. Videobasierte Analysen zu Aktivitäten und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe bei der Bearbeitung von fachmethodischer Instruktion
ISBN 978-3-8325-5476-7 56.50 EUR (open access)
- 333 Erik Heine (2022): Wissenschaftliche Kontroversen im Physikunterricht. Explorationsstudie zum Umgang von Physiklehrkräften und Physiklehramtsstudierenden mit einer wissenschaftlichen Kontroverse am Beispiel der Masse in der Speziellen Relativitätstheorie
ISBN 978-3-8325-5478-1 48.50 EUR (open access)
- 334 Simon Goertz (2022): Module und Lernzirkel der Plattform FLexKom zur Förderung experimenteller Kompetenzen in der Schulpraxis. Verlauf und Ergebnisse einer Design-Based Research Studie
ISBN 978-3-8325-5494-1 66.50 EUR
- 335 Christina Toschka (2022): Lernen mit Modellexperimenten. Empirische Untersuchung der Wahrnehmung und des Denkens in Analogien beim Umgang mit Modellexperimenten
ISBN 978-3-8325-5495-8 50.00 EUR (open access)
- 336 Alina Behrendt (2022): Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht der Primarstufe und dem Chemieunterricht der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5498-9 40.50 EUR (open access)
- 337 Manuel Daiber (2022): Entwicklung eines Lehrkonzepts für eine elementare Quantenmechanik. Formuliert mit In-Out Symbolen
ISBN 978-3-8325-5507-8 48.50 EUR
- 338 Felix Pawlak (2022): Das Gemeinsame Experimentieren (an-)leiten. Eine qualitative Studie zum chemiespezifischen Classroom-Management
ISBN 978-3-8325-5508-5 46.50 EUR
- 339 Liza Dopatka (2022): Konzeption und Evaluation eines kontextstrukturierten Unterrichtskonzeptes für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht
ISBN 978-3-8325-5514-6 69.50 EUR
- 340 Arne Bewersdorff (2022): Untersuchung der Effektivität zweier Fortbildungsformate zum Experimentieren mit dem Fokus auf das Unterrichtshandeln
ISBN 978-3-8325-5522-1 39.00 EUR (open access)
- 341 Thomas Christoph Münster (2022): Wie diagnostizieren Studierende des Lehramtes physikbezogene Lernprozesse von Schüler*innen?. Eine Videostudie zur Mechanik
ISBN 978-3-8325-5534-4 44.50 EUR (open access)
- 342 Ines Komor (2022): Förderung des symbolisch-mathematischen Modellverständnisses in der Physikalischen Chemie
ISBN 978-3-8325-5546-7 46.50 EUR

- 343 Verena Petermann (2022): Überzeugungen von Lehrkräften zum Lehren und Lernen von Fachinhalten und Fachmethoden und deren Beziehung zu unterrichtsnahem Handeln
ISBN 978-3-8325-5545-0 47.00 EUR (open access)
- 344 Jana Heinze (2022): Einfluss der sprachlichen Konzeption auf die Einschätzung der Qualität instruktionaler Unterrichtserklärungen im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5553-5 42.00 EUR (open access)
- 345 Jannis Weber (2022): Mathematische Modellbildung und Videoanalyse zum Lernen der Newtonschen Dynamik im Vergleich
ISBN 978-3-8325-5566-5 68.00 EUR (open access)
- 346 Fabian Sterzing (2022): Zur Lernwirksamkeit von Erklärvideos in der Physik. Eine Untersuchung in Abhängigkeit von ihrer fachdidaktischen Qualität und ihrem Einbettungsformat
ISBN 978-3-8325-5576-4 52.00 EUR (open access)
- 347 Lars Greitemann (2022): Wirkung des Tablet-Einsatzes im Chemieunterricht der Sekundarstufe I unter besonderer Berücksichtigung von Wissensvermittlung und Wissenssicherung
ISBN 978-3-8325-5580-1 50.00 EUR
- 348 Fabian Poengen (2022): Diagnose experimenteller Kompetenzen in der laborpraktischen Chemielehrer*innenbildung
ISBN 978-3-8325-5587-0 48.00 EUR
- 349 William Lindlahr (2023): Virtual-Reality-Experimente. Entwicklung und Evaluation eines Konzepts für den forschend-entwickelnden Physikunterricht mit digitalen Medien
ISBN 978-3-8325-5595-5 49.00 EUR
- 350 Bert Schlüter (2023): Teilnahmemotivation und situationales Interesse von Kindern und Eltern im experimentellen Lernsetting KEMIE
ISBN 978-3-8325-5598-6 43.00 EUR
- 351 Katharina Nave (2023): Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen. Eine qualitative Studie zur Operationalisierung mentaler Modellkomponenten für den Fachbereich Chemie
ISBN 978-3-8325-5599-3 43.00 EUR
- 352 Anna B. Bauer (2023): Experimentelle Kompetenz Physikstudierender. Entwicklung und erste Erprobung eines performanzorientierten Kompetenzstrukturmodells unter Nutzung qualitativer Methoden
ISBN 978-3-8325-5625-9 47.00 EUR (open access)
- 353 Jan Schröder (2023): Entwicklung eines Performanztests zur Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung bei Lehramtsstudierenden im Fach Physik
ISBN 978-3-8325-5655-6 46.50 EUR
- 354 Susanne Gerlach (2023): Aspekte einer Fachdidaktik Körperpflege. Ein Beitrag zur Standardentwicklung
ISBN 978-3-8325-5659-4 45.00 EUR

- 355 Livia Murer (2023): Diagnose experimenteller Kompetenzen beim praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten. Vergleich verschiedener Methoden und kognitive Validierung eines Testverfahrens
ISBN 978-3-8325-5657-0 41.50 EUR (open access)
- 356 Andrea Maria Schmid (2023): Authentische Kontexte für MINT-Lernumgebungen. Eine zweiteilige Interventionsstudie in den Fachdidaktiken Physik und Technik
ISBN 978-3-8325-5605-1 57.00 EUR (open access)
- 357 Julia Ortmann (2023): Bedeutung und Förderung von Kompetenzen zum naturwissenschaftlichen Denken und Arbeiten in universitären Praktika
ISBN 978-3-8325-5670-9 37.00 EUR (open access)
- 358 Axel-Thilo Prokop (2023): Entwicklung eines Lehr-Lern-Labors zum Thema Radioaktivität. Eine didaktische Rekonstruktion
ISBN 978-3-8325-5671-6 49.50 EUR
- 359 Timo Hackemann (2023): Textverständlichkeit sprachlich variiertes physikbezogener Sachtexte
ISBN 978-3-8325-5675-4 41.50 EUR (open access)
- 360 Dennis Dietz (2023): Vernetztes Lernen im fächerdifferenzierten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht aufgezeigt am Basiskonzept Energie. Eine Studie zur Analyse der Wirksamkeit der Konzeption und Implementation eines schulinternen Curriculums für das Unterrichtsfach „Integrierte Naturwissenschaften 7/8“
ISBN 978-3-8325-5676-1 49.50 EUR
- 361 Ann-Katrin Krebs (2023): Vielfalt im Physikunterricht. Zur Wirkung von Lehrkräftefortbildungen unter Diversitätsaspekten
ISBN 978-3-8325-5672-3 65.50 EUR (open access)
- 362 Simon Kaulhausen (2023): Strukturelle Ursachen für Klausurmisserfolg in Allgemeiner Chemie an der Universität
ISBN 978-3-8325-5699-0 37.50 EUR (open access)
- 363 Julia Eckoldt (2023): Den (Sach-)Unterricht öffnen. Selbstkompetenzen und motivationale Orientierungen von Lehrkräften bei der Implementation einer Innovation untersucht am Beispiel des Freien Explorierens und Experimentierens
ISBN 978-3-8325-5663-1 48.50 EUR (open access)
- 364 Albert Teichrow (2023): Physikalische Modellbildung mit dynamischen Modellen
ISBN 978-3-8325-5710-2 58.50 EUR (open access)
- 365 Sascha Neff (2023): Transfer digitaler Innovationen in die Schulpraxis. Eine explorative Untersuchung zur Förderung der Implementation
ISBN 978-3-8325-5687-7 59.00 EUR (open access)
- 366 Rahel Schmid (2023): Verständnis von Nature of Science-Aspekten und Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I. Am Beispiel von digital-basierten Lernprozessen im informellen Lernsetting Smartfeld
ISBN 978-3-8325-5722-5 53.50 EUR (open access)

- 367 Dennis Kirstein (2023): Individuelle Bedingungs- und Risikofaktoren für erfolgreiche Lernprozesse mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht. Eine Untersuchung zum Zusammenhang von Lernvoraussetzungen, Lerntätigkeiten, Schwierigkeiten und Lernerfolg beim Experimentieren in Kleingruppen der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5729-4 50.50 EUR (open access)
- 368 Frauke Düwel (2024): Argumentationslinien in Lehr-Lernkontexten. Potenziale englischer Fachtexte zur Chromatografie und deren hochschuldidaktische Einbindung
ISBN 978-3-8325-5731-7 63.00 EUR (open access)
- 369 Fabien Güth (2023): Interessenbasierte Differenzierung mithilfe systematisch variiertes Kontextaufgaben im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5737-9 48.00 EUR (open access)
- 370 Oliver Grewe (2023): Förderung der professionellen Unterrichtswahrnehmung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen hinsichtlich sprachsensibler Maßnahmen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. Konzeption und Evaluation einer video- und praxisbasierten Lehrveranstaltung im Masterstudium
ISBN 978-3-8325-5738-6 44.50 EUR (open access)
- 371 Anna Nowak (2023): Untersuchung der Qualität von Selbstreflexionstexten zum Physikunterricht. Entwicklung des Reflexionsmodells REIZ
ISBN 978-3-8325-5739-3 59.00 EUR (open access)
- 372 Dominique Angela Holland (2023): Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) kooperativ gestalten. Vergleich monodisziplinärer und interdisziplinärer Kooperation von Lehramtsstudierenden bei der Planung, Durchführung und Reflexion von Online-BNE-Unterricht
ISBN 978-3-8325-5760-7 47.00 EUR (open access)
- 373 Renan Marcello Vairo Nunes (2024): MINT-Personal an Schulen. Eine Untersuchung der Arbeitssituation und professionellen Kompetenzen von MINT-Lehrkräften verschiedener Ausbildungswege
ISBN 978-3-8325-5778-2 51.00 EUR (open access)
- 374 Mats Kieserling (2024): Digitalisierung im Chemieunterricht. Entwicklung und Evaluation einer experimentellen digitalen Lernumgebung mit universeller Zugänglichkeit
ISBN 978-3-8325-5786-7 45.50 EUR
- 375 Cem Aydin Salim (2024): Die Untersuchung adaptiver Lernsettings im Themenbereich „Schwimmen und Sinken“ im naturwissenschaftlichen Unterricht
ISBN 978-3-8325-5787-4 49.00 EUR (open access)
- 376 Novid Ghassemi (2024): Evaluation eines Lehramtsmasterstudiengangs mit dem Profil Quereinstieg im Fach Physik. Erkenntnisse zu Eingangsbedingungen, professionellen Kompetenzen und Aspekten individueller Angebotsnutzung
ISBN 978-3-8325-5789-8 41.50 EUR (open access)

- 377 Martina Flurina Cavelti (2024): Entwicklung und Validierung eines Messinstruments zur Erfassung der Schülerkompetenzen im Bereich des wissenschaftlichen Skizzierens im Fach Chemie in der Sekundarstufe I
ISBN 978-3-8325-5829-1 45.00 EUR (open access)
- 378 Tom Bleckmann (2024): Formatives Assessment auf Basis von maschinellem Lernen. Eine Studie über automatisiertes Feedback zu Concept Maps aus dem Bereich Mechanik
ISBN 978-3-8325-5842-0 46.50 EUR (open access)
- 379 Jana Marlies Rehberg (2024): Das physikspezifische Mindset zum Studienbeginn. Fragebogenentwicklung und Aufbau einer Online-Intervention
ISBN 978-3-8325-5850-5 59.50 EUR (open access)
- 380 Florian Trauten (2024): Entwicklung und Evaluation von automatisierten Feedbackschleifen in Online-Aufgaben im Fach Chemie
ISBN 978-3-8325-5859-8 46.00 EUR (open access)
- 381 Johanna Dejanovikj (2024): Reflexion als Lerngegenstand im Unterricht zur Förderung von Bewertungskompetenz
ISBN 978-3-8325-5860-4 41.00 EUR (open access)
- 382 Katharina Flieser (2024): Verständlichkeit physikalischer Sachtexte. Untersuchungen zum Wirkungsgefüge zwischen sprachlicher Textgestaltung und der Behaltensleistung sowie der Textwahrnehmung im Schulfach Physik
ISBN 978-3-8325-5858-1 44.00 EUR (open access)
- 383 Stephanie Neppl (2024): Perspektivenübernahme im Physikunterricht. Explorative Interviewstudie zu einer Seminarkonzeption mit dem Schwerpunkt Perspektivenübernahme bei der Planung von Physikunterricht
ISBN 978-3-8325-5865-9 48.00 EUR (open access)
- 384 Katja Plicht (2024): Ein Physikübungskonzept zur Förderung der Problemlösekompetenz. Entwicklung und empirische Evaluation eines Strategietrainings auf der Basis von Expertisemerkmalen
ISBN 978-3-8325-5875-8 45.00 EUR (open access)

Vollständige Übersicht unter: <https://www.logos-verlag.de/spcl>

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN direkt online (<http://www.logos-verlag.de>) oder telefonisch (030 - 42 85 10 90) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Studien zum Physik- und Chemielernen

Herausgegeben von Martin Hopf und Mathias Ropohl

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 im deutschsprachigen Raum.

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:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Universität Wien,
Österreichisches Kompetenzzentrum
für Didaktik der Physik,
Porzellangasse 4, Stiege 2,
1090 Wien, Österreich,
Tel. +43-1-4277-60330,
e-mail: martin.hopf@univie.ac.at

Prof. Dr. Mathias Ropohl
Didaktik der Chemie,
Fakultät für Chemie,
Universität Duisburg-Essen,
Schützenbahn 70, 45127 Essen,
Tel. 0201-183 2704,
e-mail: mathias.ropohl@uni-due.de

Problemlösen ist eine wichtige Kompetenz im Fach Physik und damit ein wichtiges Lernziel. Im Studium wird das Problemlösen vor allem durch das Lehrformat der Physikübung vermittelt, in dem wöchentlich Übungsaufgaben bearbeitet und deren Lösungen vorgestellt werden. Studierende zeigen jedoch auch nach den ersten Semestern Schwierigkeiten beim Lösen dieser wissenszentrierten Probleme, die ebenfalls das klassische Format von Klausuraufgaben sind.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Lehrkonzept für Physikübungen entwickelt, das sich der expliziten Vermittlung dieser Kompetenz widmet. Dabei wurden Erkenntnisse aus der Expertiseforschung genutzt, um erfolgreiche Problemlösestrategien herauszustellen und verbreitete Herausforderungen zu adressieren. Das Konzept wurde im Vergleich zu einem klassischen Übungskonzept in einem Kontrollgruppendesign mit $N = 55$ Studierenden des Studiengangs Maschinenbau evaluiert.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Studierenden der Interventionsgruppe nach einem Semester eine bessere Problemlösekompetenz aufweisen als die Studierenden der Kontrollgruppe. Dies zeigt sich sowohl durch ein höheres deklaratives Wissen über Problemschemata als auch durch einen größeren Erfolg in der Auswahl eines geeigneten Lösungsansatzes. Das Konzept stellt eine vielversprechende Alternative zu klassischen Konzepten dar, um die Anwendbarkeit des Fachwissens beim Problemlösen zu fördern.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5875-8