
Herausforderungen Studierender bei der Identifizierung von physikalischen Lösungsansätzen in Rechenaufgaben zur Mechanik

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
– Dr. rer. nat. –
am Fachbereich 07
(Mathematik und Informatik, Physik, Geographie)
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Nina von Bucholtz
geb. Pandikow

Institut für Didaktik der Physik
August 2024

Erstgutachterin: Prof. Dr. Claudia von Aufschnaiter
Zweitgutachterin: Prof. Dr. Katja Lengnink
Prüfer: Prof. Dr. Andreas Stefan Vorholzer
Prüferin: Prof. Dr. Claudia Höhne

Tag der Disputation: 21. Oktober 2024

Abstract. Solving physics calculation problems presents university students with various challenges that they often cannot manage without external aid. These tasks are critical not only in tutorials but also in exam situations, making their successful resolution crucial for academic progress. Therefore, promoting students' abilities to solve physics calculation problems independently is essential, particularly given the high dropout rates in university physics degree programs. However, little research has been done so far on how adaptive instructions should be designed. An extensive analysis of the processing steps and difficulties encountered can provide a basis for deriving adaptive instructions tailored to students' needs. Examinations of the challenges in solving calculation problems in other studies show that identifying effective solution approaches is particularly challenging. The research project presented in this thesis aims to examine the challenges in identifying solution approaches from various perspectives to better understand specific difficulties and their causes. A quantitative and a qualitative approach were employed, each consisting of two linked data collection steps. The first step involves gathering personal characteristics (e. g. understanding of concepts in mechanics, skills in performing mathematical operations) through a paper-pencil test, completed by $N_{1_quantitative} = 30$ and $N_{1_qualitative} = 30$ students in both approaches. The second step involves sorting or grouping physics calculation problems according to appropriate solution approaches (e. g. energy approach, motion approach) and surveying methods, difficulties, and other aspects. This step was conducted with $N_{2_quantitative} = 30$ students using a questionnaire (quantitative approach), and with $N_{2_qualitative} = 10$ students in interviews (qualitative approach). This thesis focuses on the quantitative approach. It was found that a higher understanding of mechanics concepts and higher scores in a mathematics test can each often be associated with greater success in assigning physics calculation problems to appropriate solution approaches. It was also found that success in sorting certain problems is related to the characteristics of the problem. Physics calculation problems involving inclined planes were more often successfully assigned to solution approaches than those involving throws. It is notable that problems involving throws were particularly rarely successfully assigned when the approach to be identified is an energy approach. A closer examination revealed that students often choose a motion approach instead of an energy approach.

Zusammenfassung. Die Bearbeitung physikalischer Rechenaufgaben stellt Studierende vor verschiedene Herausforderungen, die sie oft nicht selbstständig bewältigen können. Diese Aufgaben sind nicht nur in Übungs-, sondern auch in Prüfungssituationen von zentraler Bedeutung, weshalb ihre erfolgreiche Bearbeitung für den Studienverlauf entscheidend sein kann. Die Förderung der Studierenden zur eigenständigen Bearbeitung von physikalischen Rechenaufgaben ist somit – auch mit Blick auf hohe Abbruchquoten in physikalischen Studiengängen – dringend erforderlich. Wie solche Fördermaßnahmen gestaltet sein sollten, ist jedoch bislang wenig erforscht. Eine Grundlage zur Ableitung von Hinweisen über die Gestaltung geeigneter Maßnahmen kann die genaue Analyse der Bearbeitungsprozesse und der auftretenden Schwierigkeiten sein. Befunde bisheriger Studien zeigen zu Herausforderungen beim Bearbeiten von Rechenaufgaben, dass das Identifizieren von zielführenden Lösungsansätzen in besonderem Maße zu Schwierigkeiten führt. Im Rahmen des in dieser Arbeit vorgestellten Forschungsprojekts wurden daher Herausforderungen beim Identifizieren von Lösungsansätzen aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet, um spezifische Schwierigkeiten und deren Ursachen besser zu verstehen. Hierfür wurde ein quantitativer und ein qualitativer Zugang gewählt. Diese bestehen jeweils aus zwei gekoppelten Erhebungsschritten. Der erste Erhebungsschritt dient der Erfassung von Personenmerkmalen (z. B. Verständnis zu Konzepten aus der Mechanik, Fähigkeiten zur Durchführung mathematischer Operationen) mithilfe eines Fragebogens. Dieser wurde im quantitativen und qualitativen Zugang von jeweils $N_{1_quantitativ} = 30$ und $N_{1_qualitativ} = 30$ Studierenden bearbeitet. Der zweite Erhebungsschritt besteht aus der Sortierung bzw. Gruppierung von Rechenaufgaben nach angemessenen Lösungsansätzen (z. B. Energieansatz, Bewegungsansatz) und der Befragung zu Vorgehensweisen, Schwierigkeiten und weiteren Aspekten in diesem Prozess. Dieser Erhebungsschritt wurde im quantitativen Zugang mit allen Studierenden aus dem ersten Erhebungsschritt an einem Fragebogen und im qualitativen Zugang mit $N_{2_qualitativ} = 10$ freiwilligen Studierenden aus dem ersten Erhebungsschritt in einem Interview durchgeführt. Im Schwerpunkt dieser Arbeit steht der quantitative Zugang. Es zeigt sich u. a., dass jeweils ein höheres Verständnis zu Konzepten der Mechanik sowie eine höhere Punktzahl im Mathematiktest mit einem höheren Erfolg bei der Zuordnung von einigen Rechenaufgaben zu angemessenen Lösungsansätzen einhergeht. Weiter zeigt sich, dass der Erfolg der Zuordnung einiger Rechenaufgaben in Zusammenhang mit Merkmalen der Rechenaufgaben steht. Rechenaufgaben mit einem Kontext zu schiefen Ebenen wurden erfolgreicher Lösungsansätzen zugeordnet, als Rechenaufgaben mit einem Kontext zu Würfeln. Rechenaufgaben mit einem Wurf-Kontext wurden besonders selten erfolgreich zugeordnet, wenn der zu identifizierende Ansatz ein Energieansatz ist. In der genauen Betrachtung wird deutlich, dass Studierende statt eines Energieansatzes häufig einen Bewegungsansatz ausgewählt haben.

VORWORT



Persönliche Sicht

*Als Studentin im ersten Semester fiel es mir oft schwer, die Rechenaufgaben in der wöchentlichen Übungsveranstaltung zu lösen. Die Anwendung mathematischer Konzepte bereitete mir selten Probleme. Schwieriger war es für mich jedoch, relevante fachliche Konzepte zu identifizieren, die für die Lösung entscheidend waren. Folglich geriet meine Bearbeitung der Rechenaufgaben bereits beim Finden eines Lösungsansatzes ins Stocken. Da wir für die Klausurzulassung eine Mindestpunktzahl in den Übungen erreichen mussten, war ich stets dankbar, dass unser*e Übungsleiter*in (zur Anonymisierung geschlechtsneutral formuliert) uns den Ansatz oftmals vorgegeben hat, weil wir sonst die Aufgaben nicht hätten zielführend lösen können. Damals glaubte ich, dass meine Lerngruppe und ich zu den Wenigen gehörten, die Schwierigkeiten beim Lösen der Rechenaufgaben hatten. Während meiner Zeit als Übungsleiterin in späteren Semestern erkannte ich jedoch, dass die Rechenaufgaben viele Studierende vor diverse Herausforderungen stellen. Dies weckte mein Interesse daran zu verstehen, wie man Studierenden helfen kann, Rechenaufgaben eigenständiger und erfolgreicher zu lösen. Daher bin ich sehr dankbar, dass ich im Rahmen meiner Promotion diesem Interesse nachgehen durfte.*

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung und Ziele der Arbeit	1
2	Theoretische Grundlagen und Stand der Forschung	5
2.1	Merkmale physikalischer Rechenaufgaben	6
2.2	Begriff „Problem“: Definitionen und Anwendung auf Rechenaufgaben	8
2.3	Modelle in Verbindung mit dem Lösen physikalischer Rechenaufgaben	12
2.3.1	Modelle zum Problemlösen	12
2.3.2	Modelle zum mathematischen Modellieren	17
2.3.3	Lösungsabschnitte im Rahmen dieser Arbeit	21
2.4	Theoretische Annahmen und Befunde zum Lösen physikalischer Rechenaufgaben .	24
2.4.1	Allgemeine Annahmen und Befunde zum Lösen von physikalischen Rechen- aufgaben	25
2.4.2	Annahmen und Befunde zum Lösen von physikalischen Rechenaufgaben in Verbindung mit Personenmerkmalen	28
2.4.3	Annahmen und Befunde zum Lösen von physikalischen Rechenaufgaben in Verbindung mit Aufgabenmerkmalen	32
3	Fragestellungen der Arbeit	33
4	Anlage der Studien	37
4.1	Studie zum quantitativen Zugang	38
4.1.1	Erhebungsschritt 1: Erfassung von Personenmerkmalen der Studierenden .	41
4.1.2	Erhebungsschritt 2: Erfassung einiger Aspekte von Prozessen des Identifizie- rens von Lösungsansätzen	52
4.1.3	Stichprobenbeschreibung	59
4.2	Studie zum qualitativen Zugang	61
4.2.1	Fragebogen zur Erfassung von Personenmerkmalen im qualitativen Zugang	62
4.2.2	Interviews zur Erfassung einiger Aspekte von Prozessen des Identifizierens von Lösungsansätzen im qualitativen Zugang	63
4.2.3	Stichprobenbeschreibung zur Studie im qualitativen Zugang	76
4.3	Pilotstudien	77

5	Aufbereitung und Auswertung der Daten	84
5.1	Umgang mit Daten über Personenmerkmale	85
5.1.1	Auswertung von Daten über das Selbstkonzept zu physik- und mathematik- bezogenen Fähigkeiten	85
5.1.2	Auswertung von Daten über häufige Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben	87
5.1.3	Auswertung von Daten über die Selbstwirksamkeitserwartung bei der Bear- beitung von Rechenaufgaben	88
5.1.4	Auswertung von Daten über die Fähigkeiten der Studierenden in Mechanik	90
5.1.5	Auswertung von Daten über mathematische Fähigkeiten der Studierenden .	91
5.2	Umgang mit Daten über Zuordnungen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen .	93
5.2.1	Auswertung von Daten über fehlende Zuordnungen	95
5.2.2	Auswertung von Daten über die Zuordnungswahrscheinlichkeit einzelner Rechenaufgaben	97
5.2.3	Auswertung von Daten über den Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen	99
5.2.4	Auswertung von Daten über die Häufigkeit ausgewählter Lösungsansätze bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen	105
5.2.5	Auswertung von Daten über den Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz	107
6	Darstellung der Ergebnisse	114
6.1	Ergebnisse zu Personenmerkmalen	114
6.1.1	Ergebnisse über das Selbstkonzept zu physik- und mathematikbezogenen Fähigkeiten	115
6.1.2	Ergebnisse über die Einschätzung zu häufigen Schwierigkeiten bei der Bear- beitung von Rechenaufgaben	119
6.1.3	Ergebnisse über die Selbstwirksamkeitserwartung zum Abschließen von Lösungsschritten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben	126
6.1.4	Ergebnisse über die Fähigkeiten der Studierenden zu Mechanik	133
6.1.5	Ergebnisse über die mathematischen Fähigkeiten der Studierenden	135
6.2	Ergebnisse zu Zuordnungen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen	138
6.2.1	Ergebnisse zu fehlenden Zuordnungen	139
6.2.2	Ergebnisse zur Zuordnungswahrscheinlichkeit einzelner Rechenaufgaben .	143
6.2.3	Ergebnisse zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufga- benmerkmalen	148
6.2.4	Ergebnisse zur Häufigkeit ausgewählter Lösungsansätze bzgl. Rechenaufga- ben mit gleichen Aufgabenmerkmalen	202
6.2.5	Ergebnisse zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufga- bensatz	211

7 Zusammenfassung und Ausblick	223
7.1 Zusammenfassung von Ergebnissen zu Personenmerkmalen	223
7.2 Zusammenfassung von Ergebnissen zu Zuordnungen Studierender von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen (Bezug Fragenkomplex 2)	226
7.2.1 Zusammenfassung zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen	226
7.2.2 Zusammenfassung zur Häufigkeit ausgewählter Lösungsansätze bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen	228
7.2.3 Zusammenfassung zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz	229
7.3 Zusammenfassung von Ergebnissen zu Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen (Bezug Fragenkomplex 3)	230
7.4 Zusammenfassung von Hinweisen zum Gruppieren von Rechenaufgaben als Fördermaßnahme (Bezug Forschungsfrage 5)	231
7.5 Mögliche Erträge und Implikationen für die Gestaltung von Lehrveranstaltungen im Physikstudium	231
7.6 Ableitung sich anschließender Forschungsperspektiven	234
7.6.1 Forschungsperspektiven mit Blick auf das Identifizieren von Lösungsansätzen	234
7.6.2 Weitere Forschungsperspektiven	237
Literaturverzeichnis	238
Anhänge	249
A Fragebogen aus Erhebungsschritt 1 des quantitativen Zugangs	249
B Fragebogen aus Erhebungsschritt 2 des quantitativen Zugangs	271
C Interviewleitfaden aus dem qualitativen Zugang	286
D Erhobene Daten aus dem quantitativen Zugang	299
D.1 Daten zu Personenmerkmalen der Studierenden	299
D.2 Daten über die Zuordnungen der Studierenden	305
E Ergänzende Tabellen aus Auswertungen zum quantitativen Zugang	311
E.1 Ergänzende Tabellen aus Auswertungen zu Personenmerkmalen der Studierenden	311
E.2 Ergänzende Tabellen aus Auswertungen über Zuordnungen der Studierenden	326
F Ausgearbeitetes Kategoriensystem zur Analyse von Daten im qualitativen Zugang .	328
Danksagung	329
Eigenständigkeitserklärung	331

KAPITEL 1

EINLEITUNG UND ZIELE DER ARBEIT

Die Bearbeitung von physikalischen Rechenaufgaben stellt Studierende in physikalischen und mathematischen Schritten vor verschiedene Herausforderungen (z. B. Brandenburger, Mikelskis-Seifert & Labudde, 2014; Pusch, 2014; Woitkowski & Reinhold, 2018), die nicht immer von den Studierenden bewältigt werden können. So kommt es bspw. dazu, dass Studierende „im Kreis rechnen“ (Woitkowski, 2021b) oder die Bearbeitung sogar abbrechen (Brandenburger, 2016). Die Bewältigung dieser Herausforderungen ist jedoch von großer Relevanz, da Rechenaufgaben im Rahmen des Physikstudiums nicht nur als Übungsaufgaben eingesetzt werden, sondern auch als Prüfungsaufgaben (z. B. Brandenburger et al., 2014). Der Erfolg bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben kann somit darüber entscheiden, ob ein*e Student*in das Studium fortsetzen darf. Es liegt daher nahe, dass Maßnahmen zur Unterstützung von Studierenden ergriffen werden sollten. Der Blick auf die hohen Abbruchquoten in physikalischen Studiengängen (bis zu 60 % nach Heublein, Hutzsch & Schmelzer, 2022) unterstreicht dies. Wie solche Maßnahmen gestaltet sein sollten, ist allerdings weitgehend unklar. Ein Forschungsinteresse zu dieser Arbeit ist daher Hinweise darüber abzuleiten, wie eine geeignete Förderung für Studierende aussehen kann, sodass sie im Anschluss Rechenaufgaben erfolgreicher und eigenständiger bearbeiten können. Unter der Annahme, dass erfolgreiche Lernprozesse eng an aktuell vorliegende Fähigkeiten und Fertigkeiten gekoppelt sind (z. B. Ausubel, 1968; Schecker & Wilhelm, 2018; Widodo & Duit, 2004), ist zunächst zentral, die Herausforderungen beim Bearbeiten von Rechenaufgaben sowie die Ursachen hierfür besser zu verstehen. Daher können im Rahmen dieser Arbeit nur Hinweise auf Antworten zu diesem Forschungsinteresse abgeleitet werden (s. Kapitel 7.4 und 7.5).

Die detailliertere Betrachtung der Herausforderungen beim Bearbeiten von Rechenaufgaben zeigt, dass die Identifikation von zielführenden Lösungsansätzen in besonderem Maße zu Schwierigkeiten zu führen scheint (Brandenburger, 2016; Woitkowski, 2021a). Bisher liegen jedoch kaum Hinweise dazu vor, auf welche spezifischen Schwierigkeiten Studierende bei der Suche nach Lösungsansätzen stoßen und welche Bedingungen sowie Unterstützungsmaßnahmen das Identifizieren geeigneter Lösungsansätze begünstigen. Eine genauere Untersuchung dieser Schwierigkeiten und Ursachen ist daher sinnvoll (Brandenburger, 2016). Im Rahmen des Forschungsprojekts zu dieser Arbeit wird aus diesem Grund genauer untersucht, wie sich Studierende dem Identifizieren von Lösungsansätzen nähern, welche Schwierigkeiten dabei auftreten und welche Gründe für deren Auftreten es gibt.

Aus der Problemlöseforschung liegen bereits Befunde zu möglichen Zusammenhängen zwischen dem Erfolg beim Lösen von physikalischen Rechenaufgaben und dem Fachwissen in Physik und Mathematik sowie weiteren Personenmerkmalen vor (z. B. Brandenburger, 2016; Friege, 2001; Friege & Lind, 2004). Diese Untersuchungen liefern vor allem Aussagen über das Ergebnis des Lösungsprozesses. In Bezug zum Lösungsprozess selbst finden sich in der Forschung bislang primär Beschreibungen von Vorgehensweisen, Strategien und allgemeinen Schwierigkeiten, wie z. B. in Kipman (2018), Pusch (2014) und Tuminaro (2004). Wenig erfasst sind u. a. mögliche Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von bestimmten Schwierigkeiten im Lösungsprozess (speziell beim Identifizieren von Lösungsansätzen) und Personenmerkmalen. Gerade solche Analysen zeigen jedoch, ob z. B. bei bestimmten Personengruppen gehäuft spezifische Schwierigkeiten auftreten, was sich auf die Gestaltung von Fördermaßnahmen auswirken müsste. Aus diesem Grund werden diese Zusammenhänge im Rahmen des Projekts am Beispiel der Mechanik genauer analysiert.

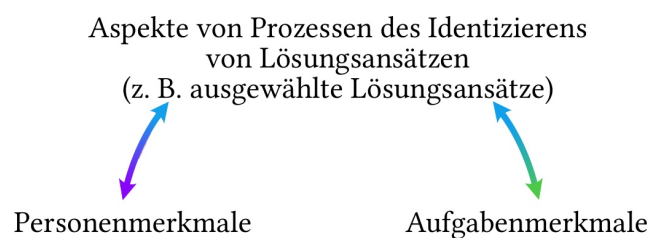
Neben der Berücksichtigung von Personenmerkmalen scheint es ertragreich, auch Aufgabenmerkmale einzubeziehen (z. B. Brandenburger, 2016; Chi, Feltovich & Glaser, 1981), da Rechenaufgaben üblicherweise nur eine eingeschränkte Anzahl an Variationen im Lösungsvorgehen erlauben. Es bleibt für Studierende somit meist wenig Varianz, um einen an ihre Fähigkeiten abgestimmten Lösungsweg zu entwickeln. Infolgedessen ist zu erwarten, dass Herangehensweisen von Studierenden beim Identifizieren von Lösungsansätzen und dabei auftretende Schwierigkeiten nicht nur mit Personenmerkmalen, sondern auch mit Aufgabenmerkmalen zusammenhängen können.

In dieser Arbeit werden somit Aspekte zum Identifizieren von Lösungsansätzen aus drei verschiedenen Perspektiven beleuchtet: Aspekte zum reinen Identifizieren von Lösungsansätzen, die Aspekte in Verbindung zu Personenmerkmalen der Studierenden und die Aspekte in Verbindung zu Aufgabenmerkmalen der Rechenaufgaben. Diese drei Perspektiven stellen das in dieser Arbeit zentrale *Forschungsdreieck* dar (s. Abb. 1.1). Das Dreieck dient von der Theoriearbeit bis zur Auswertung von Daten immer wieder als Orientierungsrahmen. Hierbei ist zu beachten, dass das Forschungsdreieck hier *nicht* als Modell zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Aspekten zum Identifizieren von Lösungsansätzen, Aufgaben- und Personenmerkmalen eingesetzt wird. Das Dreieck würde der Komplexität des Gegenstandes nicht gerecht werden. Dies wird u. a. daran deutlich, dass es eine klare Trennung von Personen- und Aufgabenmerkmalen nahelegt, die zumindest aus radikal-konstruktivistischer Perspektive (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995) nicht sachangemessen wäre. Das Forschungsdreieck soll daher lediglich der Strukturierung dieser Arbeit dienen.

Die vorliegende Arbeit ist in einen theoretischen und einen empirischen Teil gegliedert. Im theoretischen Teil werden theoretische Grundlagen und der aktuelle Stand der Forschung vorgestellt (Kapitel 2). Zunächst wird eine Auswahl von Merkmalen physikalischer Rechenaufgaben beschrieben, anhand derer Rechenaufgaben variieren können. Hierauf aufbauend wird diskutiert, inwiefern die in Übungs- und Prüfungsaufgaben häufig eingesetzten Rechenaufgaben als Probleme bezeichnet werden können. Anschließend werden Phasen von Problemlöseprozessen / Lösungsabschnitte beim Bearbeiten von Rechenaufgaben definiert. Diese Phasen / Abschnitte werden zur Systematisierung von empirischen Befunden und theoretischen Annahmen herangezogen. In Kapitel 3 werden Forschungsfragen auf Grundlage der in Kapitel 2 beschriebenen theoretischen Annahmen und Befunde

konkretisiert. Im empirischen Teil dieser Arbeit wird in Kapitel 4 die Gestaltung der durchgeführten Studien erläutert. Unterschieden wird dabei zwischen einer Studie mit quantitativem und einer Studie mit qualitativem Zugang zu den Forschungsfragen. In beiden Studien wurden Rechenaufgaben als Sortieraufgaben eingesetzt, die Studierende gruppiert bzw. Lösungsansätzen zugeordnet haben. Zudem werden durchgeführte Pilotstudien mit deren Auswirkungen auf die Gestaltung und den Einsatz der Erhebungsinstrumente vorgestellt. In Kapitel 5 wird das Vorgehen in der Auswertung von Daten aus dem quantitativem Zugang erläutert. In Kapitel 6 werden Ergebnisse hierzu dargestellt und diskutiert. Aus zeitlichen Gründen konnte die Auswertung von Daten aus dem qualitativen Zugang nicht vollständig durchgeführt werden. Infolgedessen werden im Rahmen dieser Arbeit keine Ergebnisse aus dem qualitativen Zugang vorgestellt. Das geplante Vorgehen sowie die bereits erstellten Produkte aus der Datenanalyse werden im Abschnitt *Fortsetzung von Auswertungen zum qualitativen Zugang* in Kapitel 7.6.1 beschrieben. Eine Zusammenfassung von Ergebnissen in dieser Arbeit mit Rückbezug auf die Fragestellungen sowie ein Ausblick auf an die Arbeit anschließende Forschungsperspektiven werden in Kapitel 7 dargestellt.

Abbildung 1.1
Forschungsdreieck



KAPITEL 2

THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND STAND DER FORSCHUNG

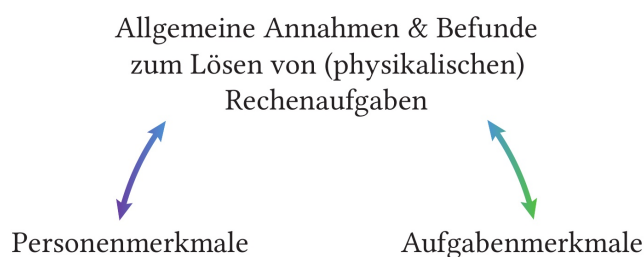
Der Mathematik kommt in der Physik eine große Bedeutung zu (z. B. Krey, 2012; Uhden, 2012; Trump, 2015), sodass sie teilweise sogar als Sprache der Physik bezeichnet wird (z. B. Bochner, 1963; vgl. Fuchs, 1975; Galilei, 1896, zitiert nach Krey, 2012; Wigner, 1960). Wie Krey (2012) zusammenfasst, erfüllt die Mathematik in der Physik verschiedene Funktionen: Sie ermöglicht kognitive Entlastung, fördert Exaktheit, erleichtert die Kommunikation und trägt zur Objektivität bei. Die Exaktheit der mathematischen „Sprache“ erlaubt dabei bspw. das Tätigen genauer Vorhersagen. So kann nicht nur beschrieben werden, dass die Flugbahn eines Geschosses gekrümmt ist (qualitative Prognose), sondern auch der Auftreffpunkt am Boden (quantitative, genaue Prognose) bestimmt werden (Krey, 2012). Es ist daher nicht überraschend, dass das Treffen von Vorhersagen in Form der Bearbeitung von Rechenaufgaben im Physikstudium eine Rolle spielt. Darüber hinaus gibt die Bearbeitung von Rechenaufgaben Anlässe zur Anwendung des in Schule und Studium aufgebauten Fachwissens. Da Rechenaufgaben nicht nur als Übungs- sondern auch als Prüfungsaufgaben eingesetzt werden (z. B. Brandenburger, 2016), kann der Erfolg beim Lösen dieser Rechenaufgaben sogar entscheidend für den Erfolg im Studium sein. Wie eingangs berichtet (s. Kapitel 1), stellt das Lösen von Rechenaufgaben Studierende jedoch vor Schwierigkeiten verschiedener Art, sodass das Anbieten von Fördermaßnahmen sinnvoll erscheint.

Unter der Annahme, dass erfolgreiche Lernprozesse eng an aktuell vorliegende Fähigkeiten und Fertigkeiten gekoppelt sind (z. B. Ausubel, 1968; Schecker & Wilhelm, 2018; Widodo & Duit, 2004), ist für die Erstellung von adaptiven Fördermaßnahmen zentral, die Schwierigkeiten der Studierenden beim Bearbeiten von Rechenaufgaben sowie die Ursachen hierfür besser zu verstehen. Untersuchungen zu Schwierigkeiten und Ursachen von Schwierigkeiten beim Lösen von Rechenaufgaben sind oft im Bereich des *Problemlösens* angesiedelt. Befunde beziehen sich somit auf spezielle Rechenaufgaben, die als *Probleme* bezeichnet werden. In Kapitel 2.1 werden daher zunächst Merkmale herausgearbeitet, anhand derer Rechenaufgaben variieren können. Daran anknüpfend wird in Kapitel 2.2 beschrieben, welche Eigenschaften Rechenaufgaben erfüllen müssen, um als *Probleme* bezeichnet werden zu können. Darauf aufbauend wird gefolgert, inwiefern typische Rechenaufgaben aus

Übungsveranstaltungen (und Klausuren) im Physikstudium als Probleme eingestuft werden können. In Kapitel 2.4 werden auf Grundlage dieser Einschätzung empirische Befunde und theoretische Annahmen zum Bearbeiten von Rechenaufgaben vorgestellt. Die Befunde und Annahmen werden dabei nach zwei Systematiken geordnet. Übergeordnet werden die Befunde danach gruppiert, welche Ecke des Forschungsdreiecks sie adressieren. Hierfür wird die obere Ecke des Dreiecks zunächst von „Aspekte zum Identifizieren von Lösungsansätzen“ (vgl. Abb. 1.1, Kapitel 1) zu „Aspekte zum Lösen von Rechenaufgaben“ erweitert (vgl. Abb. 2.1). Je Ecke des Forschungsdreiecks werden Befunde und Annahmen im Anschluss danach sortiert, ob diese den gesamten Löseprozess/das Ergebnis oder einzelne Lösungsabschnitte betreffen. Dafür werden zuvor in Kapitel 2.3 verschiedene Modelle zu Abschnitten in der Bearbeitung von Rechenaufgaben vorgestellt und in einer Arbeitsfassung zusammengeführt.

Abbildung 2.1

Allgemeines Forschungsdreieck zur systematischen Einordnung von theoretischen Annahmen und Befunden über das Lösen von (physikalischen) Rechenaufgaben



2.1 Merkmale physikalischer Rechenaufgaben

Unterschiede zwischen Rechenaufgaben können anhand diverser Merkmale festgestellt werden, wie z. B. an im Aufgabentext beschriebenen gegebenen / gesuchten Größen. Merkmale von Rechenaufgaben gehen dabei nicht immer unmittelbar aus dem Aufgabentext hervor. Ein Beispiel hierfür sind die zum Lösen anzuwendende Lösungsansätze. Wird in Rechenaufgaben nicht bspw. „Nutzen Sie hierfür einen Energieansatz.“ geschrieben, ist das eigenständige Identifizieren eines Lösungsansatzes auf Basis der beschriebenen Aufgabensituation und unter Anwendung von fachinhaltlichen Kenntnissen erforderlich. Merkmale von Rechenaufgaben, die unmittelbar aus den Aufgabentexten hervorgehen, können als *Oberflächenstrukturmerkmale* bezeichnet werden. Im Detail werden hier, analog zu Chi, Feltovich und Glaser (1981), folgende Merkmale als Oberflächenstrukturmerkmale aufgefasst:

„[...] (a) the objects referred to in the problem [...]; (b) the literal physics terms mentioned in the problem [...]; or (c) the physical configuration described in the problem [...].“ (Chi, Feltovich & Glaser, 1981, S. 125)

Lösungsansätze, bzw. die der Rechenaufgaben zugrundeliegenden physikalischen Prinzipien, werden nach Chi, Feltovich und Glaser (1981, S. 125) als Merkmal in der Tiefenstruktur von Rechenaufgaben bezeichnet. Im Rahmen des in dieser Arbeit dokumentierten Forschungsprojekts wird der Begriff

Tiefenstrukturmerkmale weiter gefasst, indem auch solche Merkmale als Tiefenstrukturmerkmale bezeichnet werden, die mit dem Anwenden von Lösungsansätzen direkt in Verbindung stehen, wie z. B. die Anzahl anzuwendender Lösungsansätze, alternative Lösungswege und die mathematischen Anforderungen bedingt durch die Anwendung der entsprechenden Lösungsansätze. Diese Erweiterung berücksichtigt, dass viele Rechenaufgaben auf mehreren Wegen gelöst werden können. Zur Auswahl eines Lösungsansatzes bzw. einer Kombination aus mehreren Ansätzen können weitere Faktoren, wie die Anzahl anzuwendender Lösungsansätze und die jeweils mit den Ansätzen verbundenen mathematischen Anforderungen, einbezogen werden.

Im Zuge der Theoriearbeit wurden zur Auseinandersetzung mit der Abgrenzung von Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen sowie zur Analyse, welche Aufgabenmerkmale in Ergebnissen anderer Arbeiten in Zusammenhang mit dem Lösen von Rechenaufgaben gebracht werden, Beispiele für Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmale gesammelt. Typische, auch in der Literatur aufzufindende Merkmale (vgl. z. B. Brandenburger, 2016; Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Friege, 2001; Just, von Aufschnaiter & Vorholzer, 2021) sind in Tabelle 2.1 notiert.

Tabelle 2.1

Beispiele für Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmale

Beispiele für	
... Oberflächenstrukturmerkmale	... Tiefenstrukturmerkmale
- Beschriebene Objekte (z. B. Feder, Hang) - Genannte physikalische Begriffe und Größen (z. B. zu angegebenen Randbedingungen: Reibung / Reibungsfreiheit; zum ausdrücklich geforderten Lösungsvorgehen: Energieerhaltung / Kräfteüberlagerung; gegebene / gesuchte Größen) - Genannte Eigenschaften der Aufgabensituation (z. B. beschriebener Zustand von Objekten: rutschend, fliegend, liegend, beschleunigt bewegend, mit konstanter Geschwindigkeit bewegend, ...; beschriebene Bewegungsrichtung der Objekte: vertikal, horizontal, schräg, rotierend, ...)	- Lösungsansatz bzw. dem Lösungsansatz zugrundeliegendes physikalisches Prinzip (z. B. Energieansatz: Energieerhaltung) - Anzahl möglicher Lösungswege* - Anzahl anzuwendender Lösungsansätze je Lösungsweg* - mathematische Anforderungen* (z. B. Darstellen; Ausführen mathematischer Operationen: Umformen – Einsetzen – Integrieren – ...; Modellieren)

Anmerkung. Mit „*“ versehene Punkte wurden auf Basis einer durch die Autorin dieser Arbeit durchgeführten Aufgabenanalyse von Rechenaufgaben aus Giancoli (2010) ergänzt.

Im Rahmen des in dieser Arbeit dokumentierten Forschungsprojektes kann die Unterscheidung von Oberflächenstruktur- und Tiefenstrukturmerkmalen, wie folgt begründet, als sinnvoll angenommen werden: Zum verstehensbasierten Lösen von Rechenaufgaben ist jeweils das Finden eines Lösungsansatzes erforderlich. Der Lösungsansatz stellt jedoch ein Tiefenstrukturmerkmal der zugehörigen Rechenaufgabe dar, weswegen dieser Studierenden im Löseprozess üblicherweise¹ nicht unmittelbar auf alleiniger Grundlage des Aufgabentextes zugänglich ist. Ein möglicher Lösungsansatz muss stattdessen unter Anwendung fachinhaltlicher Kenntnisse abgeleitet werden. Es ist naheliegend, dass hierdurch, im Vergleich zum Identifizieren von Merkmalen der Oberflächenstruktur, (andere) Schwierigkeiten für Studierende aufkommen können. Zur Analyse von Herausforderungen von Studierenden bei der Bearbeitung von physikalischen Rechenaufgaben sowie die darauf aufbauende Planung von Fördermaßnahmen kann die Unterscheidung von Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen daher sinnvoll sein. Die Relevanz der Unterscheidung zwischen Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen wird zudem dadurch untermauert, dass studentische Noviz*innen nach Chi, Feltovich und Glaser (1981) eher Oberflächen- und Expert*innen Tiefenstrukturmerkmale als Kriterien zur Gruppierung von Rechenaufgaben wählen. Dieser Befund kann als Hinweis aufgefasst werden, dass studentischen Noviz*innen Tiefenstrukturmerkmale – insb. Lösungsansätze – nicht zugänglich (genug) sind.

2.2 Begriff „Problem“: Definitionen und Anwendung auf Rechenaufgaben

Untersuchungen zu Bearbeitungen von physikalischen Rechenaufgaben werden häufig in Verbindung mit dem Begriff „Problemlösen“ gebracht (z. B. Brandenburger, 2016; Friege, 2001; Plicht, Deuber, Härtig & Dorschu, 2020; Woitkowski, 2022). Unter dem Begriff „Problemlösen“ wird das Lösen von Rechenaufgaben verstanden, die bestimmte Merkmale aufweisen und als „Probleme“ aufgefasst werden. Welche Merkmale Aufgaben bzw. deren Bearbeitungen aufweisen müssen, damit diese Aufgaben als Probleme gewertet werden können, ist von der Definition des Begriffs „Problem“ abhängig. Im Folgenden werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede einiger Definitionen erläutert und eine Arbeitsdefinition für den Begriff ausgewählt, die für die Charakterisierung von Rechenaufgaben im Physikstudium besonders hilfreich sein kann.

„Klassische“ Problemdefinitionen. Verschiedene Ausführungen gleichen sich in der Definition des Begriffs „Problem“ darin, dass bei einem Problem ein Anfangszustand existiert, der mit bestimmten Mitteln in einen Zielzustand überführt werden soll. Diese Mittel sind der problemlösenden Person nicht bekannt (vgl. z. B. Duncker, 1935; Newell & Simon, 1972). Es besteht somit eine Lücke (engl. „gap“) zwischen dem Start- und Zielzustand, sodass solche Definitionen auch als Gap-Definitionen bezeichnet werden können (z. B. in Brandenburger, 2016). Weitere Gap-Definitionen können bspw. auch Woods (1987) oder Hayes (1981) entnommen werden. Eine der bekanntesten Definitionen geht dabei auf Dörner (1976) zurück:

„Ein Individuum steht einem Problem gegenüber, wenn es sich in einem inneren oder

¹d. h. sofern im Aufgabentext nicht ausdrücklich die Anwendung eines bestimmten Lösungsansatzes gefordert wird.

*äußeren Zustand befindet, den es aus irgendwelchen Gründen nicht ihr wünschenswert hält, aber im Moment **nicht über die Mittel verfügt**, um den unerwünschten Zustand in den **wünschenswerten Zielzustand** zu überführen.“* (Dörner, 1976, S. 10; eigene Hervorhebungen)

Für die Operationalisierung des Problembegriffs im Rahmen eines Forschungsprojektes ergeben sich, wie Brandenburger (2016) und Jonassen (2010) feststellen, mehrere Schwierigkeiten zur der Anwendung der Definition. Der problemlösenden Person muss die Diskrepanz zwischen Anfangs- und Zielzustand bewusst sein (vgl. Jonassen, 2010), sie muss den *Wunsch* verspüren, das Problem zu lösen (z. B. Dörner, 1976, Jonassen, 2010) und sie darf nicht über die Mittel und Methoden zur Lösung des Problems verfügen (Dörner, 1976). Ob eine Aufgabe ein Problem ist, ist nach dieser Definition abhängig von kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten der problemlösenden Person sowie deren Motivation und Volition zum Lösen der Aufgabe bzw. des Problems sowie die Bekanntheit und Fähigkeit zur Anwendung relevanter Mittel und Methoden. Hierbei ist zudem nicht klar, inwiefern abgeschätzt werden kann, ab welchem Punkt Lernende genügend Fähigkeiten aufgebaut haben, sodass eine bestimmte Aufgabe nicht mehr als Problem aufgefasst werden kann. Bildlich formuliert stellt sich die Frage, ab welchem Punkt die Lücke zwischen Start- und Zielzustand zu klein ist, um die Aufgabe noch als Problem bezeichnen zu können. Smith (1991) ist der Auffassung, dass eine solche Einschätzung unmöglich dichotom erfolgen kann und stellt daher eine Kontinuumsdefinition vor, mit der Aufgaben mit Blick auf die Fähigkeiten und Kenntnisse der Lösenden in fünf Dimensionen entlang eines Kontinuums eingeschätzt werden können (z. B. „leicht“ bis „schwer“, „bekannt“ bis „unbekannt“; eigene Übersetzung). Darüber hinaus wird in der Definition des Begriffs „Problem“ nach Smith (1991) nicht die „Lücke“, wie in den oben zusammengefassten Gap-Definitionen in den Vordergrund gestellt, sondern andere Aspekte:

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

Smith (1991) betont in der Definition die Erforderlichkeit des Analysierens und Argumentierens sowie die Anwendung von Konzepten aus der Domäne der Aufgabe zum Erreichen des Ziels / der Lösung. Er präzisiert, im Vergleich zu typischen Gap-Definitionen, hiermit die Mittel, die zum Erreichen des Ziels eingesetzt werden. Smith (1991) hebt darüber hinaus hervor, dass die Lösung eines Problems nicht durch Erinnern, Wiedererkennen oder Reproduktion von bereits Bekanntem erschlossen werden kann. Ohne diese Erweiterung könnten Aufgaben, die nach einem bekannten Schema „abgearbeitet“ werden, ebenfalls der Kategorie „Problem“ zugewiesen werden. Dieser Aspekt ist kompatibel mit der in den Gap-Definitionen beschriebenen Unbekanntheit der Mittel. Die Forderung in Smith (1991) nach der Irrelevanz der empfundenen Schwierigkeit und Verwirrung, die die Aufgabe bei der lösenden Person auslöst, für die Definition der Aufgabe als Problem, geht über die oben beschriebenen Gap-Definitionen hinaus. Nach der Gap-Definition von Dörner (1976) verfügt die

problemlösende Person zu einem Zeitpunkt nicht über die Mittel, um den Start- in einen Zielzustand zu überführen. Dies kann so gedeutet werden, dass die problemlösende Person zu diesem Zeitpunkt eine Blockade erfährt und ratlos über die Problembehebung ist. Ebendiese Blockade und Ratlosigkeit ist in der Definition nach Smith (1991) nicht erkennbar. Die Definition nach Smith (1991) kann somit als „breiter“ aufgefasst werden. Dies führt dazu, dass eine Aufgabe gemäß der Definition von Smith (1991) als Problem eingestuft werden kann, auch wenn sie nach Gap-Definitionen nicht als solches aufgefasst werden würde.

Die Definition nach Smith (1991) beinhaltet insgesamt somit Elemente der Gap-Definitionen, unterscheidet sich jedoch in der Präzisierung der Mittel zur Lösung eines Problems und der Darstellung einer Barriere / Blockade. Laut Brandenburger (2016) geht mit der Definition nach Smith (1991) durch die Fokussierung auf die Mittel zur Lösung eines Problems und die Unabhängigkeit von der empfundenen Schwierigkeit oder Verwirrung eine Loslösung von Fähigkeiten der lösenden Person einher. Diese Loslösung erfolgt (nach Auffassung der Autorin dieser Arbeit) jedoch nicht vollständig, da die Kategorisierung einer Aufgabe als Problem weiterhin von Erfahrungen der lösenden Person abhängt. Hat eine Person bspw. bereits viele Rechenaufgaben gelöst, so erinnert sie sich (bewusst oder unbewusst) ggf. an eine sehr ähnliche zuvor gelöste Rechenaufgabe und löst die vorliegende Rechenaufgabe nach demselben Schema. Die Schwierigkeit in der Anwendung der Gap-Definitionen bleibt somit erhalten, sie wird nur leicht „verschoben“: Ab welchem Punkt haben Lernende so viele Erfahrungen beim Lösen von Rechenaufgaben gesammelt, dass zur Lösung abgeschlossene, ähnliche Bearbeitungen erinnert und herangezogen werden können?

Ein weiterer Unterschied zwischen den Definitionen von Smith (1991) und Dörner (1976) bezieht sich auf eine affektive Komponente. Dörner (1976) beschreibt den Startzustand als „unerwünscht[...]“ und den Zielzustand als „wünschenswert[...]“. Dies kann so aufgefasst werden, dass die zur Bearbeitung notwendige Motivation und Volition des Individuums zum Lösen des Problems Teil der Definition nach Dörner (1976) ist. Die Definition nach Smith (1991) beinhaltet diese nicht.

Weitere Problemdefinitionen. In den bisherigen Abschnitten wurden nur Definitionen zum Begriff des Problems vorgestellt, in denen die Unbekanntheit des Weges von einem Start- zu einem Zielzustand thematisiert wurde. Start- und Zielzustand der Aufgaben bzw. Probleme wurden dabei als bekannt angenommen. Nach Beschreibungen von bspw. Dörner (1976) können jedoch zusätzlich Zielzustände unklar sein und nach bspw. Johnstone (1993) auch Startzustände. Hieran ist eine weitere Einteilung von Problemen bzw. Problemlösen geknüpft: Das Lösen von Problemen, bei denen in der Problembeschreibung alle für die Lösung relevanten Informationen mitgeteilt werden, wird als *Einfaches Problemlösen* oder *Analytisches Problemlösen* bezeichnet (z. B. Funke, 2003; Leutner, Fleischer, Wirth, Greiff & Funke, 2012). Als Gegenstück kann das sog. *Komplexe Problemlösen* oder *Dynamische Problemlösen* gesehen werden (z. B. Funke, 2003; Leutner et al., 2012). Komplexe Problemstellungen zeichnen sich nach Funke (2003) durch die *Komplexität* der Problemsituation (Vielzahl beteiligter Variablen), die *Vernetztheit* von Variablen (, die in der Modellbildung berücksichtigt werden muss), die *Dynamik* der Problemsituation (Problemsituation verändert sich z. B. mit der Zeit), *Intransparenz* von beteiligten Variablen und der Zielstellung, *Polytelie* (Vielzieligkeit) aus.

Problemdefinition im Rahmen dieser Arbeit. Für diese Arbeit sind solche Aufgaben zentral, die typischerweise in Übungsveranstaltungen und Klausuren zu physikbasierten Studiengängen eingesetzt werden. Diese zeichnen sich üblicherweise dadurch aus, dass ein Startzustand in Form einer Situationsbeschreibung mit dazugehörigen Größen und der Zielzustand in Form von gesuchten Größen oder Zusammenhängen mitgeteilt wird. Die Mittel zum Erreichen des Zielzustandes / die Lösungsansätze und Lösungswege müssen von Studierenden eigenständig erarbeitet werden. Hierfür müssen die Studierenden zentrale fachinhaltliche Konzepte identifizieren und anwenden. Die Rechenaufgaben in den Übungsveranstaltungen sind dabei so gestaltet, dass die Studierenden die Aufgaben üblicherweise nicht durch Erinnern, Wiedererkennen oder das Reproduzieren lösen können (vgl. bspw. Abb. 2.2). Die in Übungsveranstaltungen vorwiegend eingesetzten Rechenaufgaben können somit als (analytische) Probleme nach der Definition von Smith (1991) bezeichnet werden (s. auch Brandenburger & Mikelskis-Seifert, 2013; Woitkowski, 2021b). Daher wird der Begriff „Problem“ in dieser Arbeit entsprechend der Definition nach Smith (1991) verstanden und theoretische Annahmen Befunde aus der Problemlöseforschung werden im Forschungsprojekt berücksichtigt. In der vorliegenden Arbeit werden die Rechenaufgaben dennoch nicht „Probleme“ genannt, sondern weiterhin als „Rechenaufgaben“ bezeichnet, da nicht beurteilt werden kann, inwiefern die in Befunden referenzierten Rechenaufgaben sowie die in Studien zu dieser Arbeit eingesetzten Rechenaufgaben für alle Probanden tatsächlich Probleme dargestellt haben und nicht etwa durch (bewusstes oder unbewusstes) Erinnern, Wiedererkennen oder Reproduktion bearbeitet werden konnten.

Abbildung 2.2

Ausschnitt einer Rechenaufgabe aus dem Übungsbetrieb (Justus-Liebig-Universität Gießen, Experimentalphysik I, WiSe 2019)

Ein dünner, homogener Stab der Länge $l = 1 \text{ m}$ ist um eine Achse drehbar gelagert, die senkrecht zum Stab durch eines seiner Enden verläuft. Er befindet sich in der labilen Gleichgewichtslage. Diese wird bei $t = 0$ durch einen vernachlässigbar kleinen Stoß gestört. Berechnen Sie die Geschwindigkeit des anderen Stabendes beim Durchgang durch die stabile Gleichgewichtslage [...]!

2.3 Modelle in Verbindung mit dem Lösen physikalischer Rechenaufgaben

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben wurde, können für diese Arbeit relevante physikalische Rechenaufgaben als Probleme nach Smith (1991) bezeichnet werden. In Folge dessen ist die Betrachtung von Modellen zum Problemlösen für die Beschreibung der Löseprozesse naheliegend. Einige dieser Modelle werden in Kapitel 2.3.1 vorgestellt. Diese Modelle stammen aus den verschiedenen Studiengengebieten Psychologie, Physik und Mathematik. Trotz der Verschiedenheit von Details in Problemlöseprozessen (z. B. Nutzung mathematischer Strukturen) sind die Modelle so allgemein formuliert, dass sie mit Blick auf die Bearbeitung von Rechenaufgaben vergleichbar sind.

Ein wesentlicher Bestandteil der Lösung physikalischer Rechenaufgaben, wie sie in dieser Arbeit betrachtet werden, ist das mathematische Handeln (insb. das Anwenden mathematischer Operationen). Der Fokus wird daher in Richtung des Fachgebiets der Mathematik(-didaktik) erweitert. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei dem mathematischen Modellieren¹, das u. a. den Prozess der Übersetzung von realen Situationen in mathematische Formulierungen und umgekehrt beschreibt (vgl. z. B. Sill, 2019). Da physikalische Rechenaufgaben in Übungsveranstaltungen (zumindest zur Mechanik) häufig in einem realen Kontext stehen und durch mathematische Methoden gelöst werden, scheint eine Verwandtschaft von physikalischen Rechenaufgaben und Modellierungsaufgaben plausibel. In Kapitel 2.3.2 wird daher ein Modell zum mathematischen Modellieren und ein Modell zum mathematischen Modellieren in physikalischen Kontexten vorgestellt sowie die Bedeutung des Mathematischen Modellierens für das Bearbeiten von übungstypischen physikalischen Rechenaufgaben (der Gattung „Probleme“) diskutiert.

Abschließend werden in Kapitel 2.3.3 Phasen zum Lösen physikalischer Rechenaufgaben vorgestellt, die auf den in Kapitel 2.3.1 und 2.3.2 basieren und der Systematisierung von Annahmen und Befunden zum Lösen von physikalischen Rechenaufgaben in Kapitel 2.4 dienen.

2.3.1 Modelle zum Problemlösen

Es gibt eine große Anzahl an Modellen zum Problemlösen, die im Rahmen der Arbeit nicht vollständig vorgestellt werden können und auch nicht sollen. Die Anforderungen an dieses Kapitel ist die Beschreibung einiger Modelle, sodass die Forschungsliteratur nach Abschnitten bzw. Stufen des Problemlöseprozesses geordnet werden kann. Hierauf aufbauend können die Forschungsfragen gezielter und strukturierter abgeleitet werden. Wie bei Modellen grundsätzlich gilt auch bei Modellen zum Problemlösen:

*„Modelle erfassen im allgemeinen [sic] **nicht alle** Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaftern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen.“* (Stachowiak, 1973, S. 132; Hervorhebungen wie im Original)

¹Das mathematische Modellieren ist nicht zu verwechseln mit dem physikalischen Modellieren. Das physikalische Modellieren bezeichnet die Entwicklung von Modellen zur Beschreibung von physikalischen Phänomenen und Systemen. Modelle beschreiben einen Teil der „Wirklichkeit“ und dienen der Analyse und Vorhersage bestimmter Eigenschaften und Verhaltensweisen. Modelle sind somit Werkzeuge zur Erkenntnisgewinnung.

So können Modelle zum Problemlösen u. a. danach kategorisiert werden, ob diese den häufig eher nichtlinearen Ablauf von Problemlöseprozessen (*eher deskriptive Modelle*, Rott, 2015) oder in einem „idealen“ linearen Prozess auftretende Phasen bzw. Stufen beschreiben (*eher normative Modelle*, Rott, 2015). Die meisten der hier vorgestellten Modelle sind eher normative Modelle, da diese häufig weniger komplex sind und dem Zweck der Kategorisierung von Forschungsbefunden und theoretischen Annahmen genügen.

Problemlösen nach Dewey. Eine der ersten Einteilung von Problemlöseprozessen in Stufen wurde durch Dewey vorgenommen (Neuhaus, 1995). Dewey (2002, S. 56) unterscheidet dabei folgende Stufen:

- (1) Man begegnet einer Schwierigkeit
- (2) sie wird lokalisiert und präzisiert
- (3) Ansatz einer möglichen Lösung
- (4) logische Entwicklung der Konsequenzen des Ansatzes
- (5) weitere Beobachtung und experimentelles Vorgehen

Die erste Stufe zeichnet sich dadurch aus, dass ein „Konflikt zwischen den gegebenen Verhältnissen und dem angestrebten Ergebnis“ (Dewey, 2002, S. 57) erlebt wird. Als Beispiele nennt Dewey (2002) u. a. eine Verabredung zu der eine Person trotz großer Entfernung und knapper Zeit pünktlich erscheinen möchte oder das Verstehen des Entstehens und Bewegens von Seifenblasen an gespülten warmen und kalten Gläsern. Die Stufen (1) und (2) gehen laut Dewey (2002) häufig ineinander über. In Stufe (2) wird das Problem / die Schwierigkeit genau analysiert, sodass hierauf aufbauend in Stufe (3) Ideen zur Lösung der Schwierigkeit generiert werden können. Diese Ideen sind zunächst spekulativ und können auch nicht zielführend sein. Ideen werden in Stufe (4) weiterentwickelt. Am Beispiel der Verabredung kann eine Idee die Nutzung einer Hochbahn sein. Die Entwicklung dieser Idee bedeutet dann u. a. das Tätigen von Überlegungen zum Ort der Haltestellen der Hochbahn und zur Fahrtzeit. Es werden also Bindeglieder zwischen dem Start- und Zielzustand entdeckt bzw. erarbeitet. In der letzten Stufe (5) wird versucht, die Idee experimentell zu prüfen.

Problemlösen nach Köster. Köster (1985, S. 129) arbeitet ähnliche Phasen im Vergleich zu Dewey (2002) heraus:

- (1) Bewusstwerden der Problemsituation
- (2) Problemanalyse und Fragestellung
- (3) Hypothesenbildung (Vermutungen) und Suche des Lösungsweges
- (4) Finden der Lösung
- (5) Kontrolle und Bewertung des Lösungsergebnisses

In der *ersten Phase* wird nach Köster (1985), analog zu Dewey (2002), der problemlösenden Person die Existenz des Problems bewusst, d. h. es fällt der Person auf, dass bisherige Kenntnisse und Lösungsverfahren zur Bewältigung des Problems nicht ausreichen. Wird die Differenz zwischen vorhandenem und anzueignenden Wissen und Können als bewältigbar eingeschätzt, soll ein Erkenntnisbedürfnis entstehen. In der *zweiten Phase* werden nach Köster (1985) Verbindungen zwischen Bekanntem und

Unbekanntem gesucht. Zudem wird ein Lösungsplan erarbeitet. Hierbei werden auch wesentliche Fragestellungen ausgearbeitet. Diese Phase deckt sich insofern mit Stufe 2 nach Dewey (2002), dass auch hier eine vertiefende Auseinandersetzung mit der Problemsituation erfolgt. In der *dritten Phase* des Modells nach Köster (1985) werden Hypothesen oder Vermutungen zu möglichen Lösungswegen aufgestellt. Die Hypothesen werden begründet und die möglichen Lösungswege geprüft, bis mindestens ein zur Klärung der Fragestellung geeigneter Lösungsweg ermittelt wurde. Auch diese Phase weist Parallelen zur dritten Stufe nach Dewey (2002) auf. Die Parallelen bestehen darin, dass in beiden Modellen *mehrere* Lösungswege bzw. *Ideen* zu Lösungswegen entwickelt werden. Ein Unterschied der beiden Modelle ist, dass Phase (3) nach Köster (1985) auch umfangreiche Überlegungen zu Lösungswegen beinhaltet, sodass die Erarbeitung von Bindegliedern zwischen dem Start- und Zielzustand bereits hier erfolgt. Nach Dewey (2002) findet die Weiterentwicklung von Lösungsideen erst in Stufe (4) statt. Zudem ist das Ergebnis von Phase (3) nach Köster (1985) mindestens ein zielführender Lösungsweg, während nach Dewey (2002) die in Stufe (3) erarbeiteten Ideen auch nicht zielführend sein dürfen. In der *vierten Phase* nach Köster (1985) wird eine Lösung erarbeitet, die gleichzeitig ein Ausgangspunkt für neue Problemsituationen sein kann. Die Erarbeitung mindestens einer Lösung findet ebenfalls in Stufe (4) nach Dewey (2002) mit der Weiterentwicklung der Lösungsidee(n) statt. Die Kontrolle der Lösung findet nach Köster (1985) in der *fünften Phase* statt. Hierbei wird das Ergebnis in Verbindung mit den aufgestellten Hypothesen und der Frage- oder Aufgabenstellung gebracht. Ggf. wird die Richtigkeit der Lösung bewiesen. Auch nach Dewey (2002) wird in Stufe (5) die Prüfung der Lösung vorgenommen. Hierfür werden im Gegensatz zu Köster (1985) Beobachtungen oder Experimente herangezogen.

Problemlösen nach Pólya. Die in Pólya (2014) vorgestellten Phasen werden häufig zitiert (z. B. Brandenburger, 2016; Rott, 2015; Byun, Ha & Lee, 2010; Blum & Borromeo Ferri, 2009; Finegold & Mass, 1985). Die vier Phasen, die Pólya (2014, S. xvi, xvii) zum Lösen eines mathematischen Problems unterscheidet, sind:

- (1) Understanding the Problem
- (2) Devising a Plan
- (3) Carrying out the Plan
- (4) Looking Back

In *Phase (1)* nach Pólya (2014) soll das Problem bzw. die Fragestellung inhaltlich verstanden werden. Des Weiteren soll Gegebenes und Gesuchtes herausgearbeitet werden. Hierbei soll die Person nicht nur das Gesuchte erkennen, sondern auch den Wunsch entwickeln, das Gesuchte / die Lösung zu finden. Der „Wunsch“ zur Lösung des Problems ist auch Element der Stufe (1) nach Dewey („angestrebtes Ergebnis“, Dewey, 2002, S. 57) und der Phase (1) nach Köster („Erkenntnisbedürfnis“, Köster, 1985, S. 129). Zum Finden der Lösung kann die Betrachtung des Problems aus unterschiedlichen Perspektiven, das Erstellen von Skizzen und die Einführung einer eigenen Notation (Symbole, Beschriftungen, ...) hilfreich sein. In *Phase (2)* im Modell nach Pólya (2014) werden die gegebenen Informationen analysiert und ähnliche Probleme und deren Lösungswege erinnert. Darauf aufbauend wird eine passende Lösungsstrategie gewählt, wie z. B. das Zerlegen des Problems in Teilprobleme

oder das Arbeiten mit Analogien. Im Anschluss wird ein detaillierter Plan erstellt, der die Reihenfolge der notwendigen Schritte und Methoden beschreibt. Hierbei ist wichtig, die Machbarkeit des Plans zu prüfen und mögliche Hindernisse zu berücksichtigen. Zudem müssen alle benötigten Ressourcen, wie Materialien und Werkzeuge, vorbereitet werden. Ein gut durchdachter Plan schafft eine klare Struktur und erleichtert die Durchführung in der nächsten Phase, was die Erfolgchancen erhöht. Die genaue Analyse des Problems mit den gegebenen Informationen erfolgt in den Modellen nach Dewey (2002) und nach Köster (1985) ebenfalls in Phase bzw. Stufe (2), wobei die Entwicklung eines Plans erst in Phase (3) nach Köster sowie Stufe (3) und (4) nach Dewey. In *Phase (3)* nach Pólya (2014) wird der erstellte Plan systematisch umgesetzt, indem die festgelegten Schritte und Methoden abgearbeitet werden. Während der Durchführung wird kontinuierlich die Richtigkeit der einzelnen Schritte überprüft. Die Umsetzung des Plans wird nach dem Modell von Köster (1985) erst in Phase (4) und nach dem Modell von Dewey (2002) in Stufe (5), sofern die Ausführungen von Dewey so verstanden werden können, dass Stufe (4) die mentale Ausarbeitung des Plans umfasst und erst Stufe (5) die praktische Umsetzung beinhaltet. In *Phase (4)* des Modells nach Pólya (2014) wird die Lösung und den Lösungsweg auf Richtigkeit geprüft. Hierfür wird überlegt, ob das Ergebnis auf einem anderem Weg abgeleitet werden kann. Zudem wird analysiert, inwiefern das Ergebnis oder die Methoden für das Lösen zukünftiger Probleme hilfreich sein kann. Die Prüfung des Ergebnisses erfolgt im Modell nach Dewey (2002) und Köster (1985) in Stufe bzw. Phase (5). Aus der Beschreibung der Stufen bzw. Phasen nach Dewey (2002) und Köster (1985) geht im Vergleich zum Modell nach Pólya (2014) nicht direkt hervor, dass eine Analyse der Nützlichkeit des Ergebnisses oder der angewendeten Methoden für zukünftige Probleme durchgeführt werden soll.

Eine zu Pólya (2014) ähnliche Einteilung des Problemlöseprozesses gibt Wessells (1994) an: (1) Definition des Problems – (2) Planung der Strategie – (3) Ausführung der Strategie – (4) Evaluierung des Prozesses (Wessells, 1994, S. 338f). Aufgrund der großen Ähnlichkeit wird im Rahmen dieser Arbeit auf die detaillierte Beschreibung des Modells verzichtet.

Problemlösen nach Friege. Das „Modell des wissenszentrierten Problemlösens in der Physik“ nach Friege (2001) ist das jüngste der hier vorgestellten Modelle und bezieht sich auf sog. „wissenszentrierte Probleme“ (s. Kapitel 2.2). Wie der Titel des Modells bereits nahelegt, wurde es zur Beschreibung von Löseprozessen zu physikalischen Problemen formuliert. Neben der Beschreibung des (nicht zwingend linear angenommenen) Problemlöseprozess sollen sog. „Wissenskomponenten“ und deren Verbindung zum Problemlöseprozess abgebildet werden. Zu diesen Wissenskomponenten zählen laut Friege (2001) Wissen über Beispielaufgaben, Faktenwissen, die Organisation des Wissens (die Hierarchisierung und Vernetzung des Wissens), und Wissen von Problemschemata. Unter *Wissen* versteht Friege „Informationen, Ergebnisse eines Erkenntnisprozesses über Gegebenheiten (kognitive Einheiten) und deren Eigenschaften und Beziehungen zu anderen Einheiten und Eigenschaften [...], wobei Letztere auf Zustände, Prozesse oder Aktionen hinweisen können“ (s. Friege, 2001, S. 50) und verweist dabei auf eine Definition nach Dorsch und Ries (1987), die tendenziell auf einem kognitivistischen Verständnis beruht. Die in Friege (2001) adressierten Wissenskomponenten werden an dieser Stelle nicht weiter vertieft, da der Fokus in diesem Kapitel auf Phasen / Stufen / Abschnitten / ...

von Problemlöseprozessen liegen soll. Dass Friege (2001) das Wissen der problemlösenden Personen in das Modell integriert, kann als Hinweis für die Relevanz von Personenmerkmalen im Problemlöseprozess aufgefasst werden. Dabei scheinen aus der Betrachtung des Modells heraus insbesondere Erfahrungen zum Problemlösen (vgl. Wissen über Beispielprobleme und Problemschemata), einige fachliche Fähigkeiten (vgl. Faktenwissen) und Fähigkeiten zur Vernetzung von fachlichen Konzepten (vgl. Hierarchisierung und Vernetzung des Wissens) bedeutsam zu sein.

Problemlöseprozesse können nach Friege (2001, S. 76) vier verschiedene Phasen / Stationen in variabler (auch wiederholender) Reihenfolge durchlaufen:

- (1) Problemrepräsentation
- (2) Erarbeitung oder Auswahl eines Problemschemas
- (3) Ausarbeitung einer Lösung
- (4) Evaluation der Lösung

In Phase (1) wird das physikalische Problem als solches erkannt und mithilfe von Fachtermini beschrieben. Des Weiteren werden Idealisierungen vorgenommen und ggf. Skizzen und Graphen erstellt. In Phase (2) wird auf Grundlage bereits bekannter Probleme ein Lösungsansatz abgeleitet oder durch Anwendung und Verbindung fachlicher Konzepte erarbeitet. In Phase (3) wird auf Grundlage des zuvor ausgewählten oder erarbeiteten Lösungsansatzes eine Lösung (primär auf mathematischem Weg) erarbeitet. Friege (2001) betont hierbei, dass die am Ende der Phase vorliegende Lösung richtig ist. In Phase (4) werden Zwischenergebnisse sowie die Lösung des Problems auf Richtigkeit geprüft. Die Phasen nach Friege (2001) weisen somit große Gemeinsamkeiten zum Modell nach Pólya (2014) sowie auch Gemeinsamkeiten zu den zuvor vorgestellten Modellen nach Dewey (2002) und Köster (1985) auf.

Problemlösen nach Wallas. Wallas (1926) beschreibt in seinem Werk einen Einblick in den Ablauf von Problemlöseprozessen des Physikers Helmholtz, von dem Helmholtz an einer seiner Geburtstagsfeiern berichtete. Wallas (1926) teilt diesen Ablauf in vier Phasen ein (s. Wallas, 1926, S. 79f.):

- (1) Preparation
- (2) Incubation
- (3) Illumination
- (4) Verification

In der *ersten Phase*, der Vorbereitungsphase, findet eine intensive Auseinandersetzung mit dem Problem statt, relevante Informationen werden gesammelt und verschiedene Ansätze durchdacht. Diese Phase ist somit von einem systematischen Durchdringen des Themas geprägt. Die *zweite Phase*, die Inkubationsphase, besteht aus einer Zeit der mentalen Entspannung und Ablenkung von der direkten Problembearbeitung. In dieser Phase arbeitete das Unterbewusstsein weiter an der Lösung, während andere Aktivitäten unternommen werden. Oft zeigte sich bei Helmholtz, dass gerade in dieser Phase unbewusste Prozesse zur Reifung und Strukturierung der Gedanken beitrugen. Die dritte Phase, die Phase der Illumination, beinhaltet den „Moment der Erleuchtung“. Helmholtz beschrieb,

wie ihm unerwartet eine klare und oft einfache Lösung einfiel. Diese Einsicht kam oft in ruhigen Momenten, zum Beispiel beim Spaziergehen oder kurz vor dem Einschlafen. In der abschließenden *vierten Phase*, der Verifikationsphase, wird die Lösung(sidee) überprüft.

Weitere Modelle zum Problemlösen. Über die bereits vorgestellten Modelle hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Modelle zum Problemlösen. Insbesondere gibt es neben dem Modell von Friege weitere deskriptive, nicht-lineare Modelle zum Problemlösen (z. B. Rott, 2015). Eine weitere Kategorie im Vergleich zu den oben beschriebenen „traditionellen“ Modellen eröffnen zudem bspw. Modelle auf Basis von Informationsverarbeitungsansätzen (z. B. Newell & Simon, 1972). Diese Modelle sind im Kern inhaltlich zumeist ähnlich zu den bisher vorgestellten Modellen. Allerdings sind Informationsverarbeitungsmodelle eher mithilfe von Computer- bzw. Programmieranalogien formuliert, sodass diese oberflächlich betrachtet weiter entfernt vom direkten Lösen von Rechenaufgaben wirken. Aus diesem Grund werden Modelle auf Basis von Informationsverarbeitungsansätzen nicht weiter betrachtet.

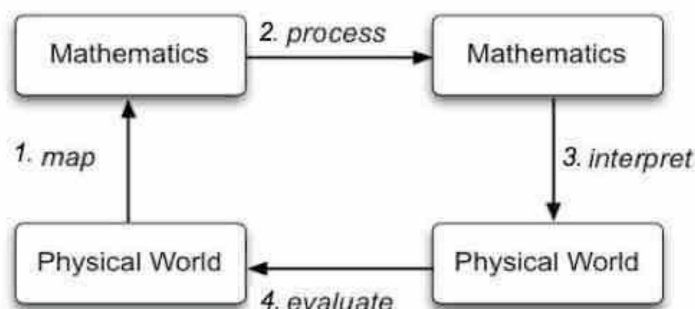
2.3.2 Modelle zum mathematischen Modellieren

Wie eingangs zum Kapitel 2 beschrieben wurde, kommt der Mathematik in der Physik eine große Bedeutung zu (z. B. Fuchs, 1975; Krey, 2012; Wigner, 1960). Im Rahmen von physikbasierten Studiengängen zeigt sich dies u. a. an der Bearbeitung von Rechenaufgaben. Die Anwendung mathematischer Fähigkeiten in u. a. physikalischen Kontexten beschreibt Redish (2006) mit dem in Abbildung 2.3 dargestellten Kreislauf. Der Kreislauf beginnt im unteren linken Kasten mit der Auswahl eines Systems, das beschrieben werden soll. Dabei wird festgelegt, welche Eigenschaften des Systems beachtet und welche ignoriert werden. Dieser Schritt ist laut Redish (2006) entscheidend und erfordert ein hohes Maß an Fachkenntnis (z. B. in Physik). Weniger wichtige Eigenschaften können zunächst ignoriert und später berücksichtigt werden. Im Anschluss folgt *Schritt 1: Map*. Die realen Strukturen werden in mathematische Strukturen überführt und ein mathematisches Modell wird erstellt. Dazu ist ein Verständnis über die verfügbaren mathematischen Strukturen nötig. Auch muss beachtet werden, welche Aspekte der Strukturen für die zu modellierenden Eigenschaften relevant sind. Nach der Mathematisierung des Systems folgt *Schritt 2: Process*. Die Techniken, die mit den gewählten mathematischen Strukturen verbunden sind, werden zur Transformierung der mathematischen Strukturen verwendet. Dies kann das Lösen einer Gleichung oder das Aufstellen neuer Gleichungen umfassen. Hiernach folgt *Schritt 3: Interpret*. Die mathematischen Ergebnisse werden in Begriffe der realen Welt übersetzt, sodass beurteilt werden kann, was sie über das System aussagen. Abschließend wird *Schritt 4: Evaluate* durchgeführt. Hierbei wird überprüft, inwiefern die Ergebnisse das reale System gut beschreiben oder ob das Modell angepasst werden muss.

Mit Blick auf die in Kapitel 2.3.1 vorgestellte Problemlösemodelle scheint das Modell nach Redish (2006) weniger präzise zu sein, da bspw. das Verstehen der Situation / des Systems oder das Finden von Lösungsansätzen nicht adressiert werden. Zu beachten ist jedoch, dass der Fokus des Modells nach Redish (2006) ein anderer ist. Im Vordergrund des Modells steht das Hin- und Herübersetzen zwischen Teilen der realen Welt und der Mathematik, das sog. *mathematische Modellieren* („the process

Abbildung 2.3

Modell zur Beschreibung der Anwendung von Mathematik in Physik und anderen Naturwissenschaften nach Redish (2006, S. 6)



Anmerkung. Der Kreislauf ist beginnend mit dem Kasten unten links „Physical World“ im Uhrzeigersinn zu lesen.

of translating between the real world and mathematics in both directions“, Blum & Borromeo Ferri, 2009, S. 45). „Präziser“ zum Lösen von physikalischen Rechenaufgaben passt das Modell von Trump und Borowski (2016), welches im Folgenden kurz vorgestellt wird.

Das Modell nach Trump und Borowski (2016) bzw. Trump (2015)¹ beschreibt den Lösungsprozess zu physikalischen Rechenaufgaben in strukturierter Weise mit einem Modellierungskreislauf (s. Abb. 2.4). Dieser Modellierungskreislauf basiert auf dem Modell zur physikalisch-mathematischen Modellierung nach Uhden (2012) und auf dem Modellierungskreislauf nach Borromeo Ferri (2011), welcher wiederum eine Adaption des Modellierungskreislaufs nach Blum (1985) darstellt. Der Modellierungsprozess beginnt mit dem Verstehen einer in einer Problemstellung² gegebenen Situation, die in einen bestimmten Kontext eingebettet ist, sowie das Verstehen der gegebenen Größen und Abläufe. Hierbei soll noch keine Fokussierung auf das Hervorbringen einer Lösung erfolgen. Das Ergebnis dieses *ersten Schrittes* ist eine konstruierte „Mentale Situations-Repräsentation“, die das beschriebene Szenario in komplexitätsreduzierter Form als handlungsrelevanten Gegenstand beinhaltet. Im *zweiten Schritt* wird eine „Mentale Problem-Repräsentation“ erstellt, indem physikalische Konzepte herangezogen werden, um die Situation zu vereinfachen / zu idealisieren und zu strukturieren. Hier wird somit entschieden, welche Größen und Zusammenhänge bedeutsam sind und welche ignoriert werden können. Die Mentale Problem-Repräsentation beinhaltet eine Abbildung des „unerwünschten“ Anfangs- und „erwünschten“ Endzustands sowie die Lücken dazwischen aus einer physikalischen Perspektive. Im *dritten Schritt* folgt durch Mathematisieren die Übertragung der Mentalen Problem-Repräsentation in ein „Vollständiges Mathematisiertes Modell“. Auch hier können physikalische Konzepte, ausgedrückt in Formeln, einfließen. Nach Trump und Borowski (2016) ist das Vollständig Mathematisierte Modell losgelöst von der Physik. Der *vierte Schritt* besteht aus dem mathematischen Arbeiten und wird durch das Erzeugen eines mathematischen Ergebnisses beendet. Im *fünften Schritt* wird das mathematische Ergebnis in Bezug auf die Situation / das Problem

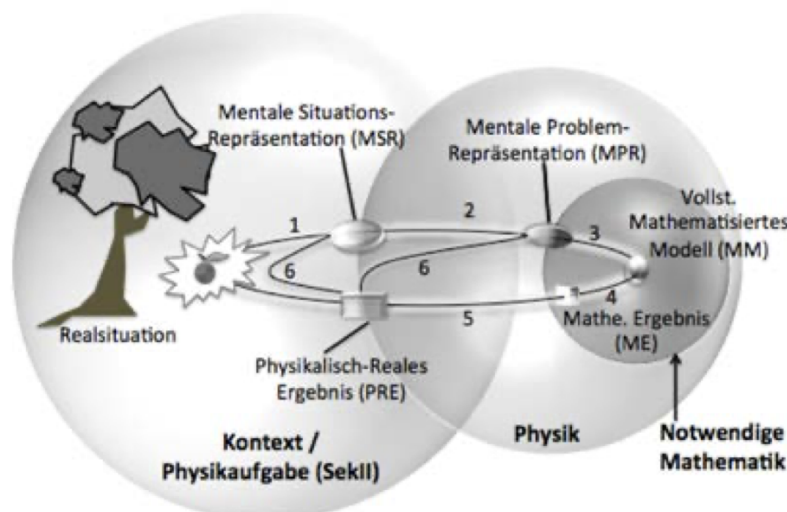
¹Das Modell in Trump und Borowski (2016) ist die überarbeitete Version des Modells in Trump (2015). Zur Darstellung des überarbeiteten Modells werden in deckungsgleichen Aspekten auch Beschreibungen zum „alten“ Modell einbezogen.

²Wortwahl wie im Original.

interpretiert, sodass das mathematische Ergebnis in ein physikalisches-reales Ergebnis übersetzt wird. Der *sechste Schritt* besteht aus der Prüfung / Kontrolle des Ergebnisses. Das Modell nach Trump

Abbildung 2.4

Physikalischer Modellierungskreislauf zum mathematischen Modellieren nach Trump und Borowski (2016, S. 306)



Anmerkung. Bei dem hier vorgestellten Modell handelt es sich um das von Trump nach Veröffentlichung ihrer Dissertation überarbeitete Modell. Die Zahlen in der Abbildung stehen für die Schritte: (1) Konstruieren / Verstehen; (2) Physikalische Problem-Repräsentation / Strukturieren & Idealisieren / Passives Mathematisieren; (3) Konzeptanpassung / Aktives Mathematisieren; (4) Mathematisch Arbeiten; (5) Physikalisieren / mit physikalischer Bedeutung beladen bzw. Realisieren; (6) Validieren (Kontrolle / Prüfen)

und Borowski (2016) ist somit detaillierter als das Modell nach Redish (2006) und weist ähnliche Lösungsabschnitte wie Modelle zum Problemlösen auf (Modelle zum Problemlösen s. Kapitel 2.3.1). Werden bspw. die Löseabschnitte nach Trump und Borowski (2016) mit den Lösungsabschnitten im Modell nach Friege (2001) verglichen, so ergeben sich folgende Gemeinsamkeiten und Unterschiede: In beiden Modellen wird zunächst eine nähere Auseinandersetzung mit der Aufgabe beschrieben. Im Modell nach Friege (2001) erfolgt dies in der ersten Phase (1) Problemrepräsentation. Trump und Borowski (2016) unterteilt diese Auseinandersetzung in einen außerfachlichen und einen innerfachlichen Abschnitt. Nach Friege (2001) folgt in Phase (2) die Erarbeitung oder Auswahl eines Problemschemas. In dem von Trump und Borowski (2016) beschriebenen Modell erfolgt dies nicht explizit sondern implizit durch das Erarbeiten der Physikalischen Problem-Repräsentation, da hier eine Fokussierung auf relevante Zusammenhänge und Größen durchgeführt wird. Der nächste Schritt in Trump und Borowski (2016) besteht aus der Mathematisierung. Diese wird in Friege (2001) nicht explizit beschrieben, sondern für die Ausarbeitung einer Lösung in Phase (3) vorausgesetzt. Das mathematische Handeln erfolgt im Modell nach Trump und Borowski (2016) im Anschluss an die Mathematisierung. Unklar ist an dieser Stelle, inwiefern nach dem Modell von Friege (2001) während der Ausarbeitung der Lösung eine vollständige Loslösung vom physikalischen Kontext erfolgt. Die

Lösung sowie Zwischenergebnisse werden nach dem Modell von Friege (2001) in Phase (4) evaluiert. Nach Trump und Borowski (2016) erfolgt vor der Prüfung in Schritt (6) noch ein Übersetzungsschritt von einem mathematischen in ein physikalisches-reales Ergebnis.

Trotz der oben beschriebenen Unterschiede der Modelle von Friege (2001) und Trump und Borowski (2016) weisen die beiden Modelle Gemeinsamkeiten auf, sodass eine Beschreibung von Problemlöseschritten mit dem Modell nach Trump (2015) möglich scheint. Es drängt sich jedoch grundsätzlich die Frage auf, inwiefern ein Unterschied zwischen mathematischem Modellieren in physikalischen Kontexten und mathematischen / physikalischen Problemlösen existiert. Zum Verhältnis von mathematischem Modellieren und dem mathematischen Problemlösen schreiben Holzäpfel, Lacher, Leuders und Rott (2018):

„Sind all diese zusätzlichen Schritte und Denkprozesse überhaupt noch ‚Problemlösen‘ oder handelt es sich bei dem, was man übergreifend auch als ‚Modellieren‘ bezeichnet, um etwas ganz anderes? Dazu kann man unterschiedlicher Auffassung sein, und in der Tat ist der Umgang mit den Begriffen oft etwas verwirrend, weil sie an unterschiedlicher Stelle verschieden aufgefasst werden.“ (Holzäpfel et al., 2018, S. 44)

Eine wissenschaftlich geteilte Definition zur Abgrenzung dieser beiden Begriffe kann somit hier nicht vorgestellt werden und eine Analyse der Definitionsansätze aus verschiedenen Veröffentlichungen liegt außerhalb des Fokus dieser Arbeit. Es sei an dieser Stelle auf die Zusammenstellung von Holzäpfel et al. (2018) zu unterschiedlichen Abgrenzungen der Begriffe „Problemlösen“ und „Modellieren“ sowie weitere mathematikdidaktische Arbeiten verwiesen (z. B. Zawojewski, 2010). Eine weitere Schwierigkeit neben der grundsätzlichen Abgrenzung des „mathematischen Modellierens“ und des „mathematischen Problemlösens“ besteht darin, dass die in Übungsveranstaltungen zu physikbasierten Studiengängen eingesetzten Rechenaufgaben nicht den klassischen Modellierungsaufgaben (z. B. „Tanken“-Aufgabe, Blum & Leiß, 2005) oder den klassischen Problemlöseaufgaben (z. B. „Monty-Hall-Problem“, Rosenhouse, 2009) entsprechen. Im Gegensatz zu typischen Modellierungs- oder Problemlöseaufgaben in der Mathematik muss beim Lösen der Rechenaufgaben aus den Physikübungen in vielen Schritten die Physik oft „mitgedacht“ werden. Ein Verständnis physikalischer Konzepte zur Lösung ist somit notwendig. Trump (2015) versucht, dieser Schwierigkeit durch die Darstellung von drei „Welten“ – Kontext, Physik, Notwendige Mathematik –, entgegenzuwirken. Zur Frage, ob ein Unterschied zwischen mathematischem Modellieren in physikalischen Kontexten und mathematischen / physikalischen Problemlösen existiert, kann im Rahmen dieser Arbeit keine eindeutige Antwort formuliert werden. Für die Analyse von Löseprozessen zu Rechenaufgaben wird im Rahmen dieser Arbeit folgende Position eingenommen: Für das Modellieren wird das Übersetzen zwischen außermathematischen (hier physikalischen) und innermathematischen Objekten als besonders zentral aufgefasst (vgl. Blum & Borromeo Ferri, 2009). Beim Problemlösen steht das Analysieren und Argumentieren zum Erreichen eines Ziels / einer Lösung im Vordergrund. Beides kann somit zusammen auftreten. Typische Rechenaufgaben aus Übungsveranstaltungen können häufig als Probleme aufgefasst werden (siehe Kapitel 2.2). Das Verbinden von außermathematischen (hier physikalischen) Objekten und mathematischen Objekten ist jedoch nicht zentral, da im Rahmen von Rechenübungen auf bereits etablierte physikalische Modelle zurückgegriffen wird, die

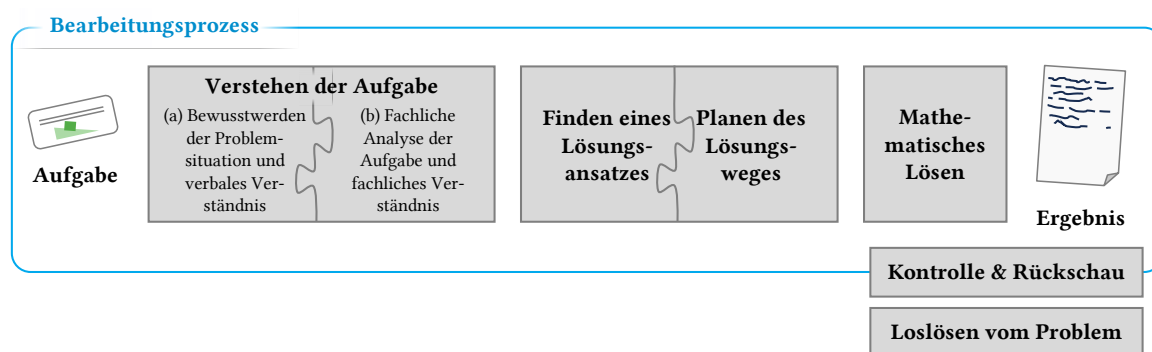
die mathematische Beschreibung von Größen bzw. den Zusammenhang von Größen beinhalten. Formeln (z. B. zu Reibungskräften) müssen nicht „entdeckt“, sondern häufig lediglich ausgewählt, angepasst und kombiniert werden. Die primäre Anforderung beim Lösen physikalischer Rechenaufgaben in Übungsveranstaltungen liegt daher, aus der Erfahrung der Autorin dieser Arbeit heraus, im Bereich des Problemlösens. Dennoch kann das Denken über Modellieren sinnvoll sein, da so der Blick auf Übersetzungsschwierigkeiten zwischen Physik und Mathematik erweitert werden kann (siehe Kapitel 2.4).

2.3.3 Lösungsabschnitte im Rahmen dieser Arbeit

Auf Grundlage der in den Kapitel 2.3.1 und 2.3.2 vorgestellten Modelle, die auf das Lösen physikalischer Rechenaufgaben angewendet werden können, wurden die in Abbildung 2.5 dargestellten sieben Lösungsabschnitte abgeleitet: Bewusstwerden der Problemsituation und verbales Verständnis; Fachinhaltliche Analyse der Aufgabe und fachinhaltliches Verständnis; Loslösen vom Problem; Finden eines Lösungsansatzes; Planen des Lösungsweges; Mathematisches Lösen; Kontrolle und Rückschau.

Abbildung 2.5

Lösungsabschnitte bei der Bearbeitung von physikalischen Rechenaufgaben



Anmerkung. Die Bezeichnung „Aufgabe“ wird abkürzend für „Rechenaufgabe“ verwendet.

Verstehen der Aufgabe. Der Bearbeitungsprozess einer Rechenaufgabe beinhaltet üblicherweise Aktivitäten zum Verstehen der Aufgabe. Diese können (a) auf das *oberflächliche, nichtfachinhaltliche Verständnis der Rechenaufgabe* und das Begreifen der Aufgabensituation als eine bewältigbare (vgl. Köster, 1985) Problemsituation, zu der kein Lösungsschema erinnert / reproduziert werden kann und zu der Handlungsbedarf (Trump, 2015) bzw. ein Wunsch sie zu lösen besteht (Dewey, 2002; Köster, 1985; Pólya, 2014), abzielen. Leitfragen zu diesem Lösungsabschnitt können sein:

- Was passiert in der Aufgabensituation?
- Welche Größen sind gegeben?
- Welche Größen sind gesucht?
- Werden Randbedingungen beschrieben, die beachtet werden sollen?

Das Anfertigen von Skizzen kann im Rahmen dieses Lösungsabschnittes, insbesondere bei komplexen Aufgabensituationen, sinnvoll sein. Aktivitäten zum Verstehen der Rechenaufgabe können (b) zu einer fachinhaltlichen Analyse und dem Aufbauen eines *fachinhaltlichen Verständnisses über die in der Rechenaufgabe* beschriebene Situation und beschriebene Zusammenhänge beitragen. Leitfragen in diesem Lösungsabschnitt können sein:

- *Wieso passiert ... in der Aufgabensituation?*
- *Was bedeuten die gesuchten / gegebenen Größen?*
- *Gibt es weitere Randbedingungen, die beachtet werden sollten, aber nicht explizit in der Aufgabe genannt werden?*
- *Wie wirken die Randbedingungen physikalisch in der Aufgabensituation?*
- *Welche Idealisierungen können vorgenommen werden?*

Handlungen zum Lösungsabschnitt über das Verstehens des Problems, Teil (a), können in Trump und Borowski (2016) am ehesten Aktivitäten im Rahmen von Schritt (1) Konstruieren / Verstehen zum Aufbau einer Mentalen Situations-Repräsentation zugeordnet werden. Handlungen zu Teil (b) passen zu Schritt (2) Physik. Problem-Repräsentation / Strukturieren & Idealisieren / Passives Mathematisieren. Der Verbund aus Teil (a) und (b) über das verbale und (fach)inhaltliche Verstehen weist Parallelen zu Teilen der Stufen / Phasen (1) und (2) nach Dewey (2002), Köster (1985) und Pólya (2014) sowie Phase (1) nach Friege (2001) und Wallas (1926) auf. Das Begreifen einer Aufgabensituation als eine Problemsituation findet sich in den Modellen nach Dewey (2002), Köster (1985), Pólya (2014) und Wallas (1926) jeweils in Stufe / Phase (1) wieder. Im Modell nach bzw. Trump (2015) bzw. Trump und Borowski (2016) wird das Bewusstwerden eines Problems nicht thematisiert.

Identifizieren eines Lösungsansatzes und Planen des Lösungsweges. Zur Lösung der Rechenaufgabe können auch Aktivitäten zum Identifizieren eines Lösungsansatzes oder zum Planen des Lösungsweges durchgeführt werden. Leitfragen zu diesem Lösungsabschnitt können sein:

- *Lässt sich die Aufgabenstellung in Teilabschnitte / Teilprobleme zerlegen?*
- *Kenne ich bereits Rechenaufgaben mit ähnlichen gesuchten und gegebenen Größen? Wie bin ich dort vorgegangen?*
- *Welche physikalischen Grundsätze verbinden den Start- und den Zielzustand bzw. die gegebenen und gesuchten Größen?*
- *Welche Definitionen und / oder Gleichungen, die sich auf die relevanten Größen und die physikalischen Grundsätze beziehen gibt es? Sind diese auch unter den Randbedingungen der Aufgabe gültig?*
- *Inwiefern lassen sich die relevanten Größen über diese Definitionen und / oder Gleichungen verbinden?*

Der Lösungsabschnitt zum Identifizieren eines Lösungsansatzes ist vergleichbar mit Stufe / Phase / Schritt (3) nach Dewey (2002) und Wallas (1926). Dadurch, dass Lösungsansätze auch mathematische

Ideen beinhalten können, kann dieser Lösungsabschnitt auch einen Teil des Schrittes (3) Konzeptanpassung / Aktives Mathematisieren im Modell nach Trump und Borowski (2016) darstellen. Da Schritt (2) in Trump und Borowski (2016) eine Fokussierung auf (aus physikalischer Sicht) relevante Aspekte beinhaltet, muss das Finden eines Lösungsansatzes hier bereits in Schritt (2) erfolgen. Das Planen eines Lösungsweges wird im Modell nach Trump und Borowski (2016) nicht dargestellt. Im Modell nach Dewey (2002) und Wallas (1926) kann dies in Stufe / Phase (4) verortet werden. Das Finden eines Lösungsansatzes und das Planen eines Lösungsweges wird in Verbindung erfolgt in den Phasen (2) und (3) nach Köster (1985) sowie in Phase (2) nach Pólya (2014) sowie Phase (1) nach Friege (2001).

Mathematisches Lösen. Das Mathematische Lösen beinhaltet die Durchführung des geplanten Lösungsweges mithilfe der Durchführung mathematischer Operationen und führt schlussendlich zu einem Ergebnis. Dieses wird in Stufe (5) nach Dewey (2002), Phase / Schritt (4) nach Köster (1985), Wallas (1926) und Trump und Borowski (2016) bzw. Phase (3) nach Pólya (2014) und Friege (2001) erreicht.

Kontrolle und Rückschau. Des Weiteren können Aktivitäten zur Kontrolle des Ergebnisses und des Bearbeitungsprozesses sowie zur Rückschau erfolgen. Aktivitäten zu diesem Lösungsschritt sind in Stufe / Phase (5) nach Dewey (2002) und Köster (1985), Phase (4) nach Pólya (2014), Friege (2001) und Wallas (1926) sowie Schritt (6) nach Trump und Borowski (2016) enthalten. Leitfragen zu diesem Lösungsabschnitt können sein:

- *Ist das Ergebnis (z. B. mit Blick auf Größenordnungen) sinnvoll?*
- *Ist der Umgang mit Einheiten angemessen?*
- *Sind die anderen Lösungsabschnitte angemessen durchgeführt worden?*
- *Inwiefern können Aspekte des Lösungsprozesses beim Lösen weiterer Rechenaufgaben helfen?*

Loslösen vom Problem. Außerhalb des Bearbeitungsprozesses liegt der Zusammenschluss von Aktivitäten zum Loslösen vom Problem. Dieser Abschnitt entspricht Phase (2) nach Wallas (1926) und ist außerhalb des Bearbeitungsprozesses dargestellt, da *bewusst* keine weiteren Handlungen zum Lösen der Aufgabe unternommen werden. Im Rahmen der Arbeit wird dieser Lösungsschritt nicht weiter betrachtet, da bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben in Übungsveranstaltungen oder Klausuren kaum Inkubationszeiten (vgl. *Incubation*-Phase nach Wallas, 1926) möglich sind.

Weitere Aspekte zu den dargestellten Lösungsabschnitten. Die in Abbildung 2.5 dargestellten Lösungsabschnitte sind zum Teil verbunden. Die Teile a) und b) zum Verstehen der Aufgabe sowie das Finden eines Lösungsansatzes und das Planen des Lösungsweges sind verbunden dargestellt, da einerseits Handlungen zu den beiden Lösungsabschnitten jeweils häufig ineinander übergehen (vgl. Dewey, 2002) und sich andererseits empirische Befunde häufig auf ebendiesen Verbund beziehen (vgl. Kapitel 2.4). Ansonsten sind keine Verbindungen / Pfeile zwischen den Lösungsabschnitten

dargestellt, da keine feste Reihenfolge zum Ablauf realer Bearbeitungsprozesse intendiert werden soll. Die Lösungsabschnitte sollen eher als Kategorien zur Beschreibung von Handlungen, Schwierigkeiten und weiteren Aspekten in Bearbeitungsprozessen dienen. Die Reihenfolge der Lösungsabschnitte zwischen Aufgabe und Ergebnis wurde auf Grundlage der in Kapitel 2.3.1 und 2.3.2 beschriebenen Modelle sowie der Erwartung zum Aufbau einer „Musterlösung“ zu einer Rechenaufgabe gewählt. Die Größe der Kästen wurde bei der Erstellung der Abbildung keine Bedeutung beigemessen. Die hier vorgestellten Lösungsabschnitte bilden nicht den Rückbezug des beim mathematischen Lösen erzeugten Ergebnisses auf die Aufgabensituation ab (Schritt (5) Physikalisieren / mit physikalischer Bedeutung beladen bzw. Realisieren, Trump & Borowski, 2016). Gründe hierfür liegen darin, dass dieser Aspekt zum einen in den Problemlösemodellen nicht vorkommt, und zum anderen in der fehlenden Relevanz für die Eingliederung von theoretischen Annahmen und Befunden in Kapitel 2.4.

2.4 Theoretische Annahmen und Befunde zum Lösen physikalischer Rechenaufgaben

Im Folgenden werden einige theoretische Annahmen und empirische Befunde aus der Forschung zum Lösen von (physikalischen) Rechenaufgaben systematisch vorgestellt. Die Systematisierung basiert dabei auf dem zu Beginn dieses Kapitels vorgestellten Forschungsdreieck, welches sich auch in der Beschreibung von Jonassen (2010) über Ausführungen von Smith (1991) wiederfindet:

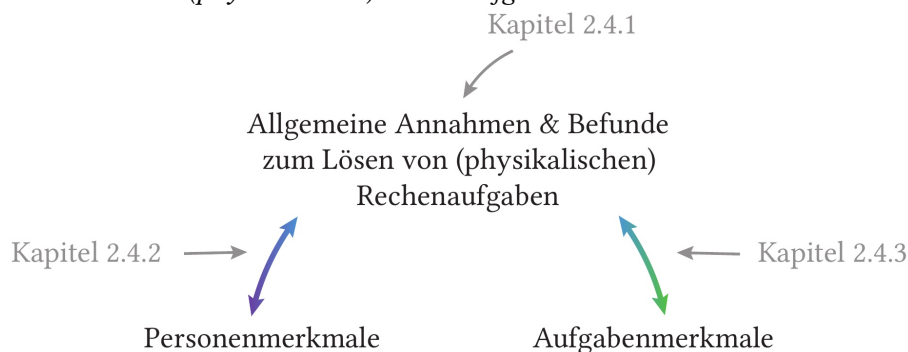
*„Problem solving varies both **externally** (the problem as it exists in the world) and **internally** (how the individual conceptualizes and resolves the problem).“* (Jonassen, 2010, S. 5, Zusammenfassung von Smith, 1991; eigene Hervorhebungen)

Befunde und Annahmen werden für die obere Ecke sowie die beiden Verbindungen zu Personenmerkmalen und Aufgabenmerkmalen in verschiedenen Unterkapiteln vorgestellt (vgl. Abb. 2.6). Zunächst werden in Kapitel 2.4.1 allgemeine Annahmen und Befunde zum Problemlösen berichtet. In Kapitel 2.4.2 werden Annahmen und Befunde zum Problemlösen in Verbindung mit internalen Faktoren – also Personenmerkmalen – der Problemlöser*innen vorgestellt. Abschließend werden in Kapitel 2.4.3 Annahmen und Befunde in Verbindung mit externalen Faktoren – also Aufgabenmerkmalen – berichtet.

Hinweis: Auf eine strikte Trennung von Annahmen und Befunden zu Schülerinnen und Schülern (S*S) und Studierenden wird aufgrund der vergleichsweise schwachen Befundlage und der hohen Ähnlichkeit von Kompetenzen von S*S und Studierenden (insb. in der Studieneingangsphase; Just et al., 2021) verzichtet.

Abbildung 2.6

Allgemeines Forschungsdreieck zur systematischen Einordnung von theoretischen Annahmen und Befunden über das Lösen von (physikalischen) Rechenaufgaben



2.4.1 Allgemeine Annahmen und Befunde zum Lösen von physikalischen Rechenaufgaben



Zum Problemlöseprozess im Allgemeinen. Problemlöseprozesse können, wie u. a. Smith (1991) und Jonassen (2010) beschreiben, je nach Aufgabe und Löser*in verschieden sein. So können verschiedene Löser*innen auf unterschiedliche Merkmale der Aufgaben verstärkt achten (z. B. Oberflächen- vs. Tiefenstrukturmerkmale, Chi, Feltovich & Glaser, 1981) und unterschiedlich beim Lösen der Rechenaufgaben vorgehen. Bspw. können Löser*innen verschiedene „Epistemic Games“ (Tuminaro, 2004) anwenden. Unter „Epistemic Games“ versteht Tuminaro (2004) nach Redish (2004):

„A coherent activity that uses particular kinds of knowledge and processes associated with that knowledge to create knowledge or solve a problem.“ (Redish, 2004, S. 30)

Ein Beispiel für ein Epistemic Game ist das in Rechenübungen von Studierenden eingesetzte „Recursive Plug-and-Chug“-Verfahren („rekursives Einsetzen und Ausrechnen“, eigene Übersetzung). Es beschreibt den Prozess, bei dem das einfache Einsetzen von Werten in eine Formel oder einen Algorithmus wiederholt angewendet wird. Ein Verständnis für die Bedeutung der Variablen in Formeln ist hierfür nicht nötig (Tuminaro, 2004). Trotz der möglichen verschiedenen Herangehensweisen und Vorgehensweisen von Studierenden beim Lösen von Rechenaufgaben kann eine Gemeinsamkeit festgestellt werden: Beim Lösen von Rechenaufgaben werden Löser*innen, insb. Studierende, häufig mit Schwierigkeiten konfrontiert (z. B. Woitkowski, 2021a). Diese können an verschiedenen Stellen im Lösungsprozess auftreten und sind im Übungsbetrieb, in dem das Augenmerk häufig auf dem Ergebnis liegt, nicht sichtbar (Woitkowski, 2021b).

Zum Verstehen des Problems. Befunde aus der Forschung legen nahe, dass Personen, die erfolgreich Probleme lösen (Expert*innen) sich intensiver mit der Repräsentation eines Problems auseinandersetzen als in der Tendenz weniger erfolgreiche Problemlöser*innen (Noviz*innen; Davidson & Sternberg, 1984; Reinhold, Lind & Friege, 1999; Larkin, 1983; Larkin & Reif, 1979). Expert*innen versuchen für die Repräsentation das Problem mit physikalischen Begriffen zu beschreiben und die in der Physik üblichen Idealisierungen zu nutzen (Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Chi, Glaser & Rees,

1982; Hardiman, Dufresne & Mestre, 1989; Reif & Heller, 1982). Noviz*innen erstellen häufig nur eine „naive“ Repräsentation, indem sie gegebene und gesuchte Größen heraussuchen und Skizzen (ohne physikalische Abstraktion, wie z. B. wirkende Kräfte) anfertigen (McDermott & Larkin, 1978; Larkin, 1983). Die naive Repräsentation der Noviz*innen erweist sich dabei für die Weiterarbeit als weniger hilfreich als die von den Expert*innen erzeugte physikalischen Repräsentation (Reinhold et al., 1999; Larkin, 1981; vgl. Anzai & Yokoyama, 1984). Des Weiteren sind Übersetzungen der Problemsituation von Noviz*innen tendenziell fehleranfälliger (Finegold & Mass, 1985). Zudem ist das Erstellen einer Repräsentation bei Noviz*innen häufig mit einer unstrukturierten Recherche nach Informationen verbunden, die nicht immer förderlich wirkt (Reinhold et al., 1999; Woitkowski, 2021b; vgl. Chi, Glaser & Rees, 1981; Schultz & Lochhead, 1991). Dies kann in Verbindung damit stehen, dass die Recherche häufig ohne Kenntnis darüber erfolgt, welches Suchergebnis weiterhelfen könnte (Woitkowski, 2021b).

Im Problemlösetest von Brandenburger (2016) wird auf verschiedene Phasen des Problemlöseprozesses fokussiert: Repräsentation – Finden eines Lösungswegs – Lösung – Nachvollziehen einer Lösung. Studierende wurden dazu aufgefordert, die Phasen an Rechenaufgaben aus der Mechanik isoliert durchzuführen. Ergebnisse vorangestellter Phasen wurden gegeben. Sollte bspw. an einer Rechenaufgabe das Finden eines Lösungsweges durchgeführt werden, wurden Ergebnisse zur Repräsentation gegeben. In der Pilotierung des Problemlösetests zeigte sich, dass die Repräsentationsphase von den Studierenden im Mittel am zweiterfolgreichsten bearbeitet wurde. Dennoch können in dieser Phase Schwierigkeiten auftreten. Woitkowski (2022) stellt bspw. fest, dass zehn von 35 studentischen Proband*innen Schwierigkeiten mit der Problemrepräsentation haben. Eine Hürde stellt dabei das gleichzeitige Erfassen von drei Koordinaten (horizontale Komponente, vertikale Komponente, Zeit) oder die Darstellung im Diagramm dar (Woitkowski, 2021a). Von der Beobachtung von Schwierigkeiten beim Umgang mit Diagrammen berichten auch Geyer und Pospiech (2016) mit Blick auf den Physikunterricht. Hierbei beleuchten sie die Komplexität des Erstellens von Diagrammen. Erste Unsicherheiten würden S*S beim Wählen der Achsenskalierung und darüber hinaus auch bspw. bei dem Zeichnen einer Ausgleichskurve erfahren. Davon, dass die Problemrepräsentation nicht gelingt, die Problemstellung nicht verstanden wird und ein mentales Modell nicht konstruiert werden kann, berichten Simon und Simon (1978), Larkin (1983) und Savelsbergh (1998). Mögliche Ursachen für Schwierigkeiten beim Verstehen des Problems kann das nicht ausreichende Verständnis der in der Aufgabenstellung verwendeten Begriffe oder von fachlichen Konzepten zu diesen Begriffen sein (Friege, 2001; Reinhold et al., 1999; VanLehn, 1989). Woitkowski (2021a) nennt beispielhaft, dass in seiner Studie der Begriff „Ortskurve“ mit einem Begriff aus der Kurvendiskussion des Mathematikunterrichts verwechselt wurde.

Zum Finden eines Lösungsansatzes und zum Planen eines Lösungsweges. Zum Planen eines Lösungsweges berichten Finegold und Mass (1985), dass Expert*innen den Lösungsweg intensiver und detaillierter planen als Noviz*innen. Noviz*innen würden sogar zum Lösen der Rechenaufgaben ohne vorab eine Planung des Lösungsweges durchgeführt zu haben tendieren. Des Weiteren würden Expert*innen sich in Argumentation bzw. Begründung des Lösungsweges stärker auf physikalische

Aspekte fokussieren als Noviz*innen. Auch die Art und Weise wie Expert*innen und Noviz*innen zum Lösungsweg finden, soll sich unterscheiden. So könnten Expert*innen das Problem nach dem Verstehen des Problems direkt in eine Problemklasse einordnen und die mit der Klasse verbundene Lösung durchführen (Chi, Feltovich & Glaser, 1981; VanLehn, 1989; vgl. Larkin, McDermott, Simon & Simon, 1980).

Auch beim Finden des Lösungsansatzes werden insb. Noviz*innen häufig mit Schwierigkeiten konfrontiert. Dies wird bspw. daran deutlich, dass in der Pilotierung¹ des Problemlösetests von Brandenburger (2016) das Finden eines Lösungsweges am wenigsten erfolgreich bearbeitet wurde. Der hohe Anspruch dieses Lösungsabschnittes spiegelt sich auch darin wider, dass der häufigste von Brandenburger (2016) beobachtete Fehler die Wahl eines unangemessenen Ansatzes ist. 145 von 235 beobachteten Fehlern gehen auf einen falschen Ansatz zurück, was einem Anteil von 62 % entspricht. In Woitkowski (2021a) zeigen mehr als die Hälfte der Proband*innen (19 / 35) Schwierigkeiten beim Finden eines Lösungsansatzes. Die Studierenden haben hierbei häufig keine Idee, welche Formel oder welcher Zusammenhang zum Lösen der Rechenaufgabe angewendet werden kann. Selbst nach dem Finden eines Lösungsansatzes ist Studierenden das weitere Vorgehen häufig nicht klar (Chi, Glaser & Rees, 1981; Reinhold et al., 1999; VanLehn, 1989; Woitkowski, 2021a). Bei der in Woitkowski (2021a) vorgestellten Studie war 21 von 35 Studierenden irgendwann während der Lösung der Rechenaufgaben nicht klar, wie weiter vorgegangen werden soll.

Zum mathematischen Lösen. Der Anspruch dieses Lösungsabschnittes kann, ähnlich wie das Finden eines Lösungsansatzes und das Planen eines Lösungsweges als hoch eingeschätzt werden. In der Pilotierung zum Problemlösetest nach Brandenburger (2016) ist dieser Lösungsabschnitt am zweitwenigsten erfolgreich bearbeitet worden. Woitkowski (2021a) beobachtet das Auftreten von mathematischen Schwierigkeiten dabei auch bei sehr fähigen Proband*innen.

Es gibt mehrere mehr oder weniger konkrete Schwierigkeiten, die im Zusammenhang mit dem mathematischen Lösen von Rechenaufgaben stehen. In Brandenburger (2016) gehen neun von insgesamt 235 festgestellten Fehlern auf Fehler in verwendeten Formeln zurück. Mangelnde algebraische Fähigkeiten stellen ebenfalls Ursachen für Schwierigkeiten dar (Wilcox, Caballero, Rehn & Pollock, 2013; Woitkowski, 2021a; vgl. Bing & Redish, 2009). So sind 13 bzw. elf der in Brandenburger (2016) beobachteten 235 Fehler Rechenfehler und Fehler bei der Umformung. Woitkowski (2021a) berichtet von Schwierigkeiten beim Auflösen von quadratischen Gleichungen, Uhden und Pospiech (2009) von Schwierigkeiten im Umgang mit Doppelbrüchen. Es ist jedoch nicht zwingend der Fall, dass es den Lernenden an den reinen mathematischen Fähigkeiten mangelt. Tuminaro und Redish (2003) beschreiben die Anwendung von mathematischen Fähigkeiten in *physikalischen Kontexten* als besonders große Schwierigkeit. Ähnliches stellt Uhden (2016) fest, indem er 23 Schwierigkeitstypen von S*S beim Verbinden von Physik und Mathematik beobachtet hat (z. B. die Multiplikation einer Größe X mit der Zeit t wird damit gleichgesetzt, dass die Größe von der Zeit abhängt: $X \cdot t = X(t)$).

¹Die qualitative Betrachtung der nicht transformierten Punktzahlen zum Problemlösetest in der Haupterhebung (Brandenburger, 2016) deutet ebenfalls darauf hin, dass das Finden eines Lösungsweges eher wenig erfolgreich bearbeitet wird. Dieser Effekt verschwindet nach der von Brandenburger vorgenommenen Transformation (2016, S. 181f.; Abbildung der Punktzahlen 2, 3 und 4 auf die Punktzahl 2).

Ein weiterer Aspekt, der das erfolgreiche Abschließen dieses Lösungsabschnittes erschweren kann, ist die angemessene Nutzung von Einheiten (Uhden & Pospiech, 2009; Karam, Uhden & Höttecke, 2016). Ein typischer Fehler ist hierbei die Verwechslung von Einheiten, insb. zu Geschwindigkeit und Beschleunigung (Scanlon, 1993).¹ Einheitenfehler wurden von Brandenburger (2016) mit drei von 235 Fehlerbeobachtung relativ selten dokumentiert. Neben der Einbindung von Einheiten(rechnungen) kann auch die Beachtung von Randbedingungen (Karam et al., 2016) und das Rechnen mit Variablen (statt Zahlen) zu Schwierigkeiten führen. Woitkowski (2021a) berichtet darüber, dass der Umgang mit Variablen von Studierenden als schwieriger und unangenehmer empfunden wird, sodass dem Rat-schlag, erst am Ende Zahlen einzusetzen, häufig nicht gefolgt werden würde. Torigoe und Gladding (2006) beobachten eine häufige Verwechslung von Variablen und deren Bedeutung. Pospiech (2016) sieht Ursachen für die Schwierigkeiten beim Umgang mit Variablen darin, dass andere Buchstaben in Mathematik genutzt werden, griechische Buchstaben nicht sicher benannt oder geschrieben werden und gleiche Buchstaben unterschiedliche Bedeutungen haben können.

Zur Kontrolle und zur Rückschau. Die Kontrolle und Rückschau wird in einigen Forschungsarbeiten nicht intensiv betrachtet (z. B. Friege, 2001). Ein Grund hierfür ist möglicherweise, dass die Kontrolle des Ergebnisses beim Problemlösen häufig ausgelassen wird (Scanlon, 1993) und einer Erforschung im „natürlichen“ Setting somit schwieriger ist. Inwiefern Unterschiede zwischen Expert*innen und Noviz*innen bzgl. der Durchführung dieses Schrittes bestehen, bleibt aufgrund gegensätzlicher Befunde zunächst unklar (Keine Unterschiede: Finegold & Mass, 1985; Noviz*innen führen Kontrolle eher nicht durch: Friege, 2001). Im Rahmen dieser Arbeit wird dieser Lösungsschritt, wie in anderen Arbeiten auch, nicht intensiver beleuchtet, da zum einen viele noch genauer zu erforschende Schwierigkeiten in Lösungsabschnitten vor der Kontrolle existieren. Zum anderen scheinen nach Ergebnissen von Brandenburger (2016) Fähigkeiten zum Nachvollziehen von Lösungsschritten weniger anspruchsvoll zu sein, zumindest wurden Aufgaben zum Nachvollziehen einer Lösung in der Pilotierung des Problemlösetests am erfolgreichsten bearbeitet.



2.4.2 Annahmen und Befunde zum Lösen von physikalischen Rechenaufgaben in Verbindung mit Personenmerkmalen

Zum Problemlöseprozess im Allgemeinen – Fachwissen Physik. Das *Fachwissen zur Domäne des Problems* stellt im Allgemeinen, wie auch Jonassen (2010) beschreibt, nach Forscher*innen der Kognitionswissenschaft die wichtigste Determinante für erfolgreiches Problemlösen dar (z. B. Greeno, 1980; Hayes, 1981; Rittle-Johnson & Alibali, 1999). Auch zum Lösen physikalischer Problemlöseaufgaben im Speziellen zeigt sich physikalisches Fachwissen als maßgeblicher Faktor zur Vorhersage von Problemlöseerfolg (Brandenburger, 2016; Friege, 2001). Das Fachwissen von Problemlöseexpert*innen scheint dabei vernetzter zu sein als das von -noviz*innen (Chi, Feltovich & Glaser, 1981; vgl. Friege, 2001). Nach Friege und Lind (2004) korrelieren Kennwerte zu Begriffsnetzen mit dem Fachwissen, sodass sich insgesamt ein indirekter Zusammenhang zwischen Kennwerten zu Begriffsnetzen und

¹Die Verwechslung von Einheiten zu Geschwindigkeit und Beschleunigung kann auch aufgrund einer aktiven Schü-lervorstellung, nach der Geschwindigkeit und Beschleunigung in etwa dasselbe sind (vgl. Schecker & Wilhelm, 2018) auftreten.

der Problemlöseleistung zu physikalischen Problemen ergibt.

Zum Problemlöseprozess im Allgemeinen – Fachwissen Mathematik. Wie eingangs zu Kapitel 2 beschrieben, kommt der Mathematik in der Physik im Allgemeinen und beim Lösen von Rechenaufgaben im Speziellen eine große Bedeutung zu. Dies spiegelt sich auch an der Existenz von Arbeiten zur Verbindung von Mathematik und Physik wider. Aus Befunden geht hervor, dass das Verständnis von Physik einer Person abhängig von mathematischen Fähigkeiten ist (Meltzer, 2002) bzw. mathematische Fähigkeiten ein notwendiges (aber kein hinreichendes) Kriterium für den Erfolg in Physik sind (Hudson & McIntire, 1977). Arbeiten von Uhden (2012) und Trump (2015) beschreiben den Stellenwert von Mathematik beim Lösen von Rechenaufgaben im Rahmen des physikalisch-mathematischen Modellierens. Aus quantitativer Perspektive zeigt sich in den Ergebnissen von Brandenburger (2016) ein signifikanter Einfluss mathematischer Fähigkeiten auf den Erfolg im Problemlösetest¹. Dieser Effekt wirkt bei Mitbetrachtung des physikalischen Fachwissens indirekt (Brandenburger, 2016).

Zum Problemlöseprozess im Allgemeinen – Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung. Die Konstrukte Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung (vgl. z. B. Meinhardt, 2018) spielen bei der Analyse von Problemlöseerfolg aus theoretischer und empirischer Sicht eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Dabei umfasst das Selbstkonzept im weiteren Sinne die Wahrnehmung einer Person von sich selbst (Shavelson, Hubner & Stanton, 1976) und im engeren Sinne „alle individuell gewichteten Bewertungen von Merkmalen, Eigenschaften und Fähigkeiten, die eine Person sich selbst zuschreibt“ (Pawek, 2009, S. 43). Die Selbstwirksamkeitserwartung wird als Einschätzung eigener Fähigkeiten, bestimmte Arten von Tätigkeiten zu planen und auszuführen, verstanden (Bandura, 1997). Beide Konstrukte beinhalten Einschätzungen bzgl. eigener Fähigkeiten (vgl. Meinhardt, 2018); sie gelten teilweise als schwierig unterscheidbar (Bong & Skaalvik, 2003). Das Verhältnis dieser beiden Konstrukte wird zusätzlich häufig unterschiedlich bewertet. So wird bspw. die Selbstwirksamkeitserwartung als Teilaspekt des Selbstkonzeptes beschrieben (Brandenburger, 2016) oder Selbstwirksamkeit und Selbstkonzept als unterschiedliche Konstrukte mit bestimmten Berührungspunkten aufgefasst (z. B. Meinhardt, 2018; Bong & Skaalvik, 2003; Möller & Köller, 2004). Im Rahmen dieser Arbeit werden die Konstrukte Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung analog zur zweiten Betrachtungsweise gefasst. Zur besseren Einordnung der theoretischen und empirischen Relevanz werden die beiden Konstrukte im Folgenden knapp gegenübergestellt. Eine ausführliche Auseinandersetzung, die der Komplexität der Konstrukte und bereits betriebener Forschung auf diesem Gebiet gerecht werden würde, wäre an dieser Stelle nicht zweckdienlich und soll daher auch nicht erfolgen. Detailliertere Vergleiche können bspw. Meinhardt (2018), Köller und Möller (2010) oder Bong und Skaalvik (2003) entnommen werden.

Wie auch Petermann (2022) festgestellt hat, unterscheiden sich die Konstrukte Selbstkonzept und Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. ihres Umfangs. So umfasst das Selbstkonzept laut Köller und Möller (2010) eine kognitive, affektive sowie eine evaluative und die Selbstwirksamkeitserwar-

¹Die Löseabschnitte wurden in dieser Analyse nicht separat betrachtet.

tung nur eine kognitive Komponente. Beurteilungen der Art „*Ich bin gut / schlecht in ...*“, „*Ich mag ... (nicht)*.“ adressieren somit typischerweise das Selbstkonzept (Meinhardt, 2018) und „*Ich kann ...*“-Operationalisierungen die Selbstwirksamkeitserwartung (Petermann, 2022). Eine weitere Unterscheidung ergibt sich bzgl. der typischerweise angenommenen Spezifität. Das Spezifitätsniveau, wie es bei Einschätzungen zum Selbstkonzept im Vergleich zur Selbstwirksamkeitserwartung gewählt wird, ist häufig globaler (Bong & Skaalvik, 2003). Einschätzungen zur Selbstwirksamkeitserwartung beziehen sich eher auf konkrete Aufgaben oder Situationen (Meinhardt, 2018; Pajares, 1996; Rabe, Meinhardt & Krey, 2012). Als charakteristisch wird dabei teilweise die Erwartungshaltung betont, „eine neue oder schwierige Aufgabe auch dann erfolgreich bearbeiten zu können, wenn sich Widerstände in den Weg stellen“ (Schmitz & Schwarzer, 2000, S. 12) bzw. bestimmte Barrieren überwunden werden müssen (Schwarzer & Jerusalem, 2002; Rabe et al., 2012; Meinhardt, 2018).

Allgemein wird erwartet, dass das Fähigkeitsselbstkonzept einen Einfluss auf das Handeln in Lern- und Leistungssituationen hat (Laukenmann et al., 2000; Möller & Köller, 2004; Möller & Trautwein, 2015; Moschner & Dickhäuser, 2010; Schöne, Dickhäuser, Spinath & Stiensmeier-Pelster, 2003; Wigfield & Eccles, 1992). Empirisch deckt sich dies mit der Beobachtung von Woitkowski und Breitkopf (2019), dass ein hohes fachbezogenes Fähigkeitsselbstkonzept mit Wissenszuwachs einhergeht. Funke (2003), Jonassen (2010) und Smith (1991) beschreiben die Relevanz des Selbstkonzeptes beim Problemlösen. Empirisch wird diese in Ergebnissen von Brandenburger (2016) deutlich, indem sich ein positiver Einfluss des Selbstkonzeptes auf den Erfolg im Problemlösetest zeigt.

Die Definition der Selbstwirksamkeitserwartung weist Parallelen zur Erwartung auf, Probleme lösen zu können. Das oben beschriebene Charakteristikum für die Erwartungshaltung in der Selbstwirksamkeitserwartung eine neue oder schwierige Aufgabe trotz Hindernissen / Barrieren erfolgreich bewältigen zu können erinnert an Gap-Definitionen zum Problembegriff (s. dazu Kapitel 2.2). Die Selbstwirksamkeitserwartung kann sich somit auf die Erwartung beziehen, ein Problem lösen zu können. Aus theoretischer Sicht kann die Erwartung zur Selbstwirksamkeit allgemein als zentral angesehen werden, damit die Durchführung einer Handlung überhaupt als sinnvoll eingeschätzt wird und eingeleitet wird (vgl. Meinhardt, 2018), denn: „If people believe they have no power to produce results, they will not attempt to make things happen“ (Bandura, 1997, S. 3). In Bezug auf das Problemlösen kann die Erwartung zur Selbstwirksamkeit somit bedeutsam dafür sein, ob das Problemlösen begonnen bzw. fortgesetzt oder abgebrochen¹ wird.

Zum Problemlöseprozess im Allgemeinen – Intelligenz und kognitive Fähigkeiten. Nach Jonassen (2010) können Intelligenz und kognitive Fähigkeiten einen Einfluss auf das Problemlösen haben. Auch Süß (1996) sieht einen Zusammenhang zwischen Intelligenz und dem (komplexen) Problemlösen. Nach Smith (1991) ist insb. die Fähigkeit zum Denken über das eigene Denken für das Problemlösen bedeutsam. Die rückblickende Analyse von Problemlöseprozessen trage dazu bei, erfolgreiche Problemlösemuster zu erkennen und zu adaptieren (Smith, 1991). In der Studie von Friege (2001) konnten keine Korrelationen mit der allgemeinen Intelligenz sondern mit den kognitiven

¹Einer der häufigsten von Brandenburger (2016) beobachteten „Fehler“ ist die unvollständige Bearbeitung von Rechenaufgaben. Inwiefern die Bearbeitungsabbrüche mit der Selbstwirksamkeitserwartung zusammenhängen, wurde nicht untersucht.

Aspekten *Merkfähigkeit* und *Verarbeitungskapazität* festgestellt werden (Friege, 2001). Auch unter Einbezug des Fachwissens bleiben diese Intelligenzmaße Prediktoren mit kleinem, aber signifikantem Beitrag (Friege, 2001).

Zum Problemlöseprozess im Allgemeinen – Weitere Personenmerkmale. Weitere Personenmerkmale, die einen Zusammenhang zum Problemlösen aufweisen können, sind u. a.:

- letzte Physiknote (Brandenburger, 2016),
- Erfahrung (Gruber & Mandl, 1996; Jonassen, 2010),
- Kenntnis von Problemschemata (Friege, 2001; Friege & Lind, 2004),
- Kenntnis von Strategien zum Problemlösen (Leonard, Dufresne & Mestre, 1996)
- Interesse (Laukenmann et al., 2000)
- Motivation (Jonassen, 2010 nach Arlin, 1989)

Zu spezifischen Problemlöseabschnitten. Spezifisch zu Problemlöseabschnitten liegen kaum Befunde vor. Bekannt ist die hohe Korrelation des *Fachwissens in Physik und Mathematik* mit dem Erfolg beim Gruppieren von Rechenaufgaben (Binder, Schmiemann & Theyßen, 2019). Dieser Befund kann primär dem Lösungsabschnitt *Finden eines Lösungsansatzes* zugeordnet werden, da der Erfolg am identifizierten Lösungsansatz gemessen wird. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass Fähigkeiten zum Bearbeiten der anderen Lösungsabschnitte einfließen. Vorangegangene Lösungsabschnitte müssen ebenfalls durchlaufen werden, da das Identifizieren eines Lösungsansatzes ohne bspw. das Problem zu verstehen nicht sinnvoll möglich ist. Des Weiteren könnte das gedankliche Prüfen der Angemessenheit der Gruppierung dazu führen, dass der Lösungsweg mental geplant und durchgeführt wird. Darüber hinaus konnte Brandenburger beobachten, dass Studierende Items zu verschiedenen Lösungsabschnitten unterschiedlich schwer einschätzen. Die Studierenden schätzten Aspekte zum Lösungsabschnitt „Repräsentation“ und „Lösungsweg“ als schwieriger ein als Aspekte zu den Lösungsabschnitten „Lösung“ und „Nachvollziehen“ (Brandenburger, 2016). Dieses Ergebnis ist ähnlich zum Befund von Byun et al. (2010), dass nach Angaben von Studierenden die meisten Schwierigkeiten während des Lösen von Rechenaufgaben beim Planen und Ausführen von Lösungsschritten auftreten. Auch in Pusch (2014) geben Studierende besonders häufig an, Schwierigkeiten beim Finden von Ansätzen und Ideen zur Lösung der Aufgaben oder beim Herausfinden benötigter Formeln zu haben. Inwiefern diese Selbsteinschätzungen mit dem Erfolg in den Lösungsabschnitten zusammenhängt, ist nicht bekannt.



2.4.3 Annahmen und Befunde zum Lösen von physikalischen Rechenaufgaben in Verbindung mit Aufgabenmerkmalen

Smith (1991) beschreibt zur Relevanz der Betrachtung von Aufgabenmerkmalen im Problemlöseprozess folgendes:

„Research in several domains demonstrates that the performance of the problem solver is narrowly delimited by the nature of the problem being solved.“ (Smith, 1991, S. 5)

Smith (1991) nennt an das Zitat anschließend als zentrale Aufgabenmerkmale die Domäne, aus der das Problem stammt, die Darstellungsweise des Problems (inkl. der verwendeten Sprache) und die Komplexität des Problems (Smith, 1991). Grundsätzlich kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass andere in Kapitel 2.1 genannte Aufgabenmerkmale keinen Einfluss auf das Handeln in Problemlöseprozessen haben. Beispielsweise zeigte sich in den Studien von Brandenburger (2016) und Friege (2001) der Lösungsansatz von physikalischen Rechenaufgaben / Problemen als bedeutsames Aufgabenmerkmal. Rechenaufgaben, die einen Energieansatz erfordern, konnten im Problemlösetest von Brandenburger (2016) erfolgreicher bearbeitet werden, als Rechenaufgaben, die einen Bewegungsansatz erfordern (Brandenburger, 2016). In Auswertungen in Friege (2001) ergab sich, dass Rechenaufgaben, die mit einem Energieansatz gelöst werden, im Mittel weniger erfolgreich gelöst werden als solche, die einen Kraftansatz erfordern (Friege, 2001). Dieser Unterschied zwischen dem Löseerfolg zu den Lösungsansätzen ist dabei nur bei Anfängern und Noviz*innen signifikant, nicht aber bei Expert*innen (Friege, 2001). Auch kann bereits die Situiertheit der Rechenaufgaben für den Erfolg beim Problemlösen relevant sein. Nach Rath (2006) sind in reale Kontexte eingebettete Aufgaben schwieriger zu lösen.

KAPITEL 3

FRAGESTELLUNGEN DER ARBEIT

In Kapitel 2 wurde der Stand der Forschung mit Bezug zum Lösen von Rechenaufgaben im Allgemeinen sowie mit Bezug zu Lösungsabschnitten im Speziellen vorgestellt. An der systematischen Gruppierung der zugehörigen Befunde und theoretischen Annahmen zeigt sich zum Lösen von Rechenaufgaben im Allgemeinen, dass in Annahmen und Befunden der Erfolg beim Lösen von Rechenaufgaben teilweise in Verbindung mit Personen- sowie Aufgabenmerkmalen gebracht wird. Schwierigkeiten sowie weitere Beobachtungen aus Bearbeitungsprozessen werden selten in Zusammenhang mit Personen- oder Aufgabenmerkmalen analysiert. Des Weiteren zeigt sich an der Gruppierung der Annahmen und Befunde, dass selten auf einzelne Lösungsabschnitte der Bearbeitungsprozesse fokussiert wird und diese in Verbindung mit Personen- und Aufgabenmerkmalen gebracht werden. Mit Blick auf die Lösungsabschnitte legen Ergebnisse von Brandenburger (2016) und Woitkowski (2021a) nahe, dass insb. das Identifizieren von Lösungsansätzen häufig zu beobachtbaren Fehlern und Schwierigkeiten führt. Wie aus Selbsteinschätzungen von Studierenden hervorgeht, wird das Finden eines Lösungsansatzes bzw. das Planen eines Lösungsweges im Vergleich zu anderen Lösungsabschnitten auch subjektiv als besonders schwierig empfunden (Brandenburger, 2016; Byun et al., 2010; Pusch, 2014). In dieser Arbeit wird daher vor allem das Identifizieren von Lösungsansätzen in den Blick genommen und dessen Zusammenhang mit Personenmerkmalen der Studierenden sowie Merkmalen von Rechenaufgaben untersucht.

Mit dem in dieser Arbeit dokumentierten Forschungsprojekt wird das Ziel verfolgt, tiefere Einblicke in die Prozesse zu gewinnen, die Studierende beim Lösen von Rechenaufgaben durchlaufen. Das Interesse gilt dabei u. a. der Art und Weise, wie Studierende Lösungsansätze auswählen (vgl. Kapitel 1). Zur Bearbeitung dieses Erkenntnisinteresses werden konkretere Forschungsfragen (FF) herangezogen. So wird zur Untersuchung des Vorgehens bei der Auswahl von Lösungsansätzen untersucht:

Fragenkomplex 1: Von Studierenden in den Fokus genommene Aspekte beim Auswählen von Lösungsansätzen

FF 1.1 → Auf welche Aspekte fokussieren Studierende beim Auswählen von Lösungsansätzen zu Rechenaufgaben?

FF 1.2 → Inwiefern bestehen Zusammenhänge zwischen den in den Fokus genommenen Aspekten und *Personenmerkmalen* der Studierenden?

FF 1.3 → Inwiefern bestehen Zusammenhänge zwischen den je Rechenaufgabe in den Fokus genommenen Aspekten und *Aufgabenmerkmalen* der Rechenaufgaben?

Mit der Fragestellung FF 1.2 können Hinweise dazu abgeleitet werden, inwiefern die von Studierenden in den Fokus genommenen Aspekte mit Personenmerkmalen, wie dem Verständnis physikalischer Konzepte oder der Fähigkeit mit mathematischen Objekten umzugehen, zusammenhängen können. Denkbar wäre bspw., dass das Verständnis einer Sache sowie zuvor gemachte Erfahrungen dazu beitragen können, welche Aspekte der Rechenaufgaben wahrgenommen oder als relevant für die Identifizierung von Lösungsansätzen empfunden werden. Ergebnisse zur Fragestellung FF 1.3 können Anhaltspunkte dazu liefern, ob bspw. bestimmte Merkmale der Rechenaufgaben mit den von den Studierenden fokussierten Aspekten zusammenhängen. Beispielsweise könnten Rechenaufgaben zu schrägen Würfeln einen anderen Fokus provozieren als Rechenaufgaben zu schiefen Ebenen.

Grundlegend wird zum Identifizieren von Lösungsansätzen untersucht:

Fragenkomplex 2: Angemessenheit der Auswahl von Lösungsansätzen

FF 2.1 → Inwiefern gelingt es Studierenden, Ansätze zum Lösen von Rechenaufgaben (angemessen) auszuwählen?

FF 2.2 → Inwiefern bestehen Zusammenhänge zwischen dem Erfolg beim Identifizieren von Lösungsansätzen und *Personenmerkmalen* der Studierenden?

FF 2.3 → Inwiefern bestehen Zusammenhänge zwischen dem Erfolg beim Identifizieren von Lösungsansätzen und *Aufgabenmerkmalen* der jeweiligen Rechenaufgaben?

Mit den Fragestellungen FF 2.2 und FF 2.3 werden Hinweise auf Gelingensbedingungen für ein erfolgreiches Identifizieren von Lösungsansätzen untersucht. Die Erkenntnisse hieraus können wertvolle Hinweise für die Entwicklung von Förderansätzen liefern. Sie zeigen auf, bei welchen Rechenaufgaben vermehrt mit Schwierigkeiten gerechnet werden muss. Zudem ermöglichen sie die Identifikation von Studierenden, die eher Misserfolge bei der Auswahl von Lösungsansätzen erleben und daher verstärkt gefördert werden sollten.

In folgenden Fragestellungen werden die Herausforderungen, auf die Studierende beim Identifizieren von Lösungsansätzen stoßen, in den Blick genommen:

Fragenkomplex 3: Herausforderungen beim Auswählen von Lösungsansätzen

FF 3.1 → Welchen Schwierigkeiten begegnen Studierende beim Auswählen von Lösungsansätzen?

FF 3.2 → Inwiefern bestehen Zusammenhänge zwischen den auftretenden Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen und *Personenmerkmalen* der Studierenden?

FF 3.3 → Inwiefern bestehen Zusammenhänge zwischen den auftretenden Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen und *Aufgabenmerkmalen* der jeweiligen Rechenaufgaben?

Der Fragenkomplex 3 beinhaltet eine detaillierte Auseinandersetzung damit, weswegen das Identifizieren von Lösungsansätzen häufig zu bspw. den von Brandenburger (2016) beobachteten Fehlern führt und Hinweise darauf, wieso das Identifizieren von Lösungsansätzen so schwierig für Studierende ist. Erkenntnisse zu diesem Fragenkomplex können einen wertvollen Betrag leisten, indem Schwierigkeiten und Ursachen dieser Schwierigkeiten in Fördermaßnahmen bspw. mithilfe von gestuften Hilfen (Wodzinski, 2013; Wodzinski & Stäudel, 2011) begegnet werden kann.

Um ein vertieftes Verständnis darüber zu erlangen, aus welchen Gründen Studierende spezifische Lösungsansätze wählen, wird die Untersuchung der zugrundeliegenden Vorstellungen von Studierenden zur Identifikation von Lösungsansätzen durchgeführt. Die Kenntnis über vorliegende Vorstellungen ist ebenso wie typische Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen für die Gestaltung von Fördermaßnahmen relevant. Dies gilt insb. aus konstruktivistischer Sicht, nach der Lernende Wissen auf Grundlage bisheriger Erfahrungen und Vorstellungen aktiv konstruieren. Das Verständnis der Lernenden kommt dabei einem Filter gleich, durch den neue Informationen aufgenommen und interpretiert werden (vgl. Gerstenmaier & Mandl, 1995). Mit Blick auf das Identifizieren von Lösungsansätzen werden im Forschungsprojekt zu dieser Arbeit daher folgende Fragestellungen adressiert:

Fragenkomplex 4: Vorstellungen zu Lösungsansätzen und deren Anwendung

FF 4.1 → Inwiefern weisen Äußerungen von Studierenden auf (un)angemessene Vorstellungen zu Lösungsansätzen sowie deren Anwendung hin?

FF 4.2 → Inwiefern bestehen Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Äußerungen mit Hinweisen auf (un)angemessene Vorstellungen zu Lösungsansätzen und *Personenmerkmalen* der Studierenden?

FF 4.3 → Inwiefern bestehen Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Äußerungen mit Hinweisen auf (un)angemessene Vorstellungen zu Lösungsansätzen und *Aufgabenmerkmalen* der jeweiligen Rechenaufgabe?

Die Bearbeitung der Fragestellungen FF 4.2 und FF 4.3 kann Hinweise darauf geben, ob bestimmte Vorstellungen primär mit der Hereingabe bestimmter Rechenaufgaben oder nur von Studierenden mit bestimmten Personenmerkmalen aktiviert werden.

In Kapitel 1 wurde ein ursprüngliches Erkenntnisinteresse dazu vorgestellt, wie eine geeignete Förderung für Studierende gestaltet sein müsste, damit die Studierenden im Anschluss Rechenaufgaben erfolgreicher und eigenständiger bearbeiten können. Ergebnisse zu bisher vorgestellten Forschungsfragen können zur Konstruktion von Fördermaßnahmen hilfreich sein, geben jedoch keinen Aufschluss über die methodische Aufbereitung der Förderung. Im Rahmen des Forschungsprojekts wird daher zusätzlich ein erste konkreter Ansatz zur Konzeption von Fördermaßnahmen mit der Einbettung einer unterschwelligen Förderung erprobt. Hierbei werden Einhilfen eingesetzt,

sodass die Beantwortung folgender Forschungsfrage anvisiert wird:

FF 5 Inwiefern können das Gruppieren von Rechenaufgaben und das Bereitstellen kurzer Einhilfen Studierende in der Auswahl von Lösungsansätzen unterstützen?

Die zuvor gelisteten Fragenkomplexe mit den zugehörigen Forschungsfragen stellen unterschiedliche Anforderungen an das Forschungsdesign des in dieser Arbeit dokumentierten Forschungsprojekts. Die Prozesse der Auswahl von Lösungsansätzen durch Studierende sind in der Problemlöseforschung bisher wenig beforscht, wodurch für die Bearbeitung der Forschungsfragen die Exploration der Auseinandersetzungsprozesse von Studierenden mit Rechenaufgaben wertvolle Hinweise liefern kann. Des Weiteren erfordern alle Forschungsfragen die genaue Herausarbeitung von unterschiedlichen Nuancen (z. B. von Schwierigkeiten oder möglichen Vorstellungen zu Lösungsansätzen). Insgesamt scheint hierdurch die Wahl eines qualitativen Forschungsansatzes (hier: Qualitativer Zugang als Interviewstudie) für die Untersuchung der Forschungsfragen sinnvoll zu sein (Brüsemeister, 2008; J. Rost, 1998). Die Wahl eines rein qualitativen Ansatzes würde jedoch das Ausblenden weiterer Facetten der einzelnen Forschungsfragen bedeuten (z. B. die Anzahl angemessen gewählter Lösungsansätze im Rahmen von Fragenkomplex 2). Auch können die jew. mit „2“ und „3“ nummerierten Forschungsfragen ohne jegliche Quantifizierung kaum sinnvoll beantwortet werden, da der Fokus hier auf der Prüfung von möglichen Zusammenhängen liegt (Brüsemeister, 2008). Daher wird die Untersuchung der Forschungsfragen durch einen zusätzlichen quantitativen Ansatz (hier: Quantitativer Zugang als Fragebogenstudie) angereichert werden. Qualitative und quantitative Schritte sollen sich somit ergänzen und eine facettenreiche Bearbeitung der Forschungsfragen ermöglichen (vgl. „Qualitative - quantitative integration model“, Mayring, 2007, S. 31). Die Ausgestaltungen des qualitativen und des quantitativen Zugangs werden im folgenden Kapitel 4 beschrieben.

KAPITEL 4

ANLAGE DER STUDIEN

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurden zwei Zugänge unternommen. Wie in Kapitel 3 beschrieben, nehmen beide Zugänge den Lösungsabschnitt „Finden eines Lösungsansatzes“ (vgl. Lösungsabschnitte, Kapitel 2.3.3) in den Fokus, u. a. da sich hier besonders häufig Schwierigkeiten während der Bearbeitung von Rechenaufgaben auftun (z. B. Brandenburger, 2016; Woitkowski, 2021a). Aufgrund der bisher eher seltenen Erforschung von Prozessen des Findens von Lösungsansätzen, ist einer der beiden Zugänge von explorativer sowie primär qualitativer Natur (daher „qualitativer Zugang“ genannt). Im Vergleich hierzu wird mithilfe des anderen Zugangs der Erfolg beim Finden von Lösungsansätzen auf quantitative Weise untersucht (daher „quantitativer Zugang“ genannt). Für den qualitativen Zugang wurde ein Studiendesign entwickelt, das einerseits eine offene Auseinandersetzung mit den Forschungsfragen erlaubt, andererseits aber aus Gründen der Vergleichbarkeit von bspw. Schwierigkeiten und Vorstellungen zwischen den Studierenden einen kontrollierten Kernaufbau aufweist. Zudem wurde das Studiendesign so konzipiert, dass auch Eigenschaften von Rechenaufgaben sowie Eigenschaften der Studierenden in Auswertungen miteinbezogen werden können. Das Studiendesign des quantitativen Zugangs ist eine Adaption des Studiendesigns des qualitativen Zugangs, sodass durch die Auswertung der Daten quantitative Aussagen mit Blick auf die Forschungsfragen abgeleitet werden können. Des Weiteren sind Vergleiche zwischen Ergebnissen der beiden Zugänge möglich. Da aufgrund mangelnder zeitlicher Ressourcen die Studie aus dem qualitativen Zugang nicht vollständig ausgewertet werden konnte, liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Studie aus dem quantitativen Zugang. Die zum quantitativen Zugang gehörige Studie wird in Kapitel 4.1 erläutert. Der Vollständigkeit halber wird die Studie aus dem qualitativen Zugang in Kapitel 4.2 detaillierter vorgestellt. Im Anschluss werden vorangegangene Pilotstudien sowie deren Einfluss auf die Gestaltung der Studien aus dem qualitativen und quantitativen Zugang beschrieben (Kapitel 4.3).

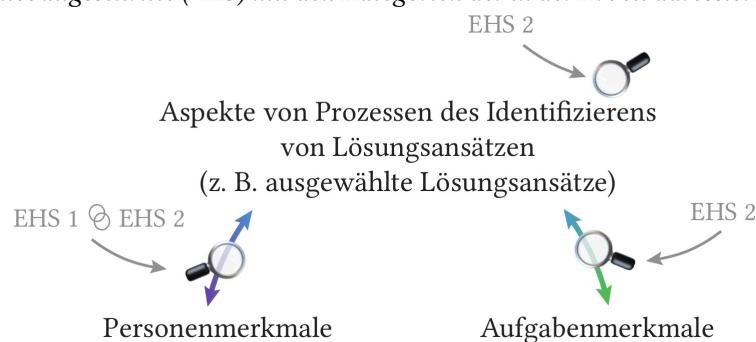
4.1 Studie zum quantitativen Zugang

Die in dieser Arbeit bearbeiteten Forschungsfragen adressieren einerseits Aspekte von Prozessen des Identifizierens von Lösungsansätzen (z. B. Schwierigkeiten, Vorstellungen von Studierenden, ausgewählte Lösungsansätze, Nützlichkeit von Einhilfen) im Einzelnen. Andererseits werden diese Aspekte in Verbindung zu individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten der Studierenden (Personenmerkmale) und Eigenschaften der Rechenaufgaben (Aufgabenmerkmale) in den Fokus genommen. Die Studiendesigns zum qualitativen und quantitativen Zugang wurden jeweils als ein zweischrittiges und aneinander gekoppeltes Erhebungsverfahren gestaltet. Nachfolgend wird auf die Erhebungsschritte des quantitativen Zugangs eingegangen. Details zu den Erhebungsschritten im qualitativen Zugang können Kapitel 4.2 entnommen werden.

Im *ersten Erhebungsschritt* (Details in Kapitel 4.1.1) wurde ein Fragebogen mit Befragungs- und Testelementen zur Erhebung von Personenmerkmalen (Döring & Bortz, 2016a) eingesetzt. Die Erfassung der Personenmerkmale ist dabei einerseits zur Ableitung von Hinweisen für die Gestaltung von Förderung zum Finden von Lösungsansätzen essenziell, da die momentanen Fähigkeiten und Fertigkeiten der Studierenden Anknüpfungspunkte für Förderung darstellen (Ausubel, 1968). Andererseits kann die genauere Analyse der in die Studie einbezogenen Probandengruppe einen wichtigen Beitrag zu Validitätsüberlegungen (vgl. Messick, 1995) bzgl. der Generalisierbarkeit erarbeiteter Ergebnisse und ferner bzgl. der Vergleichbarkeit mit Ergebnissen anderer Studien liefern. Mit dem *zweiten Erhebungsschritt* (Details in Kapitel 4.1.2) wurden Aspekte von Prozessen des Identifizierens von Lösungsansätzen erfasst. Hierfür wurden die Studierenden im Rahmen eines weiteren Fragebogens zum Sortieren von Rechenaufgaben nach den anzuwendenden Lösungsansätzen aufgefordert. Des Weiteren wurden die Studierenden u. a. zu Schwierigkeiten während der Sortierung befragt. Für die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Personenmerkmalen (vgl. Abb. 4.1, linke Seite) und Aspekten von Prozessen des Identifizierens von Lösungsansätzen wurden beide Erhebungsschritte direkt hintereinander durchgeführt und den Studierenden als ein einziger Fragebogen präsentiert. Hierdurch konnte sichergestellt werden, dass die Daten der Studierenden aus dem ersten und zweiten Erhebungsschritt verknüpft werden können. Zur Erforschung von Zusammenhängen zwischen Aufgabenmerkmalen (vgl. Abb. 4.1, rechte Seite) und Aspekten von Prozessen des Identifizierens von Lösungsansätzen wurden die zur Sortierung eingesetzten Rechenaufgaben kriteriengeleitet erstellt und während des zweiten Erhebungsschrittes systematisch variiert.

Abbildung 4.1

Verbindung der Erhebungsschritte (EHS) mit den Kategorien der in der Arbeit adressierten Fragestellungen



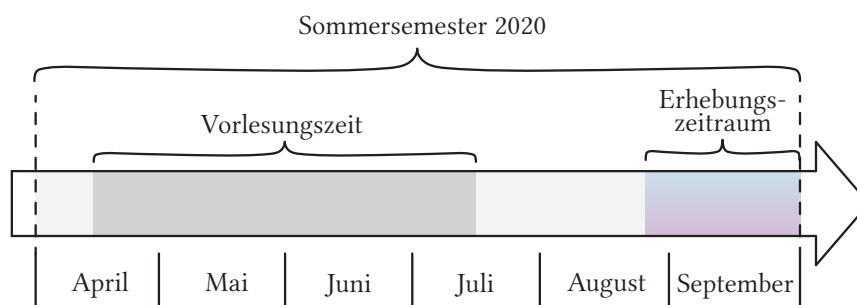
Die Erhebungsschritte wurden nicht nur organisatorisch durch deren Hintereinanderausführung mit derselben Grundgesamtheit an Studierenden, sondern auch inhaltlich aufeinander abgestimmt. So wurden bspw. alle fachinhaltlichen Kontexte aus dem Themengebiet *Mechanik* gewählt, da sie die erste Thematik des Physikstudiums an der Justus-Liebig-Universität Gießen darstellt und sich darüber hinaus als herausfordernd für Schüler*innen und Studierende zeigt (z. B. Just et al., 2021; Schecker & Wilhelm, 2018; Wilhelm, 2005). Zudem müssen Kernkonzepte der Mechanik auch in anderen Themengebieten angewendet werden, z. B. in der Elektrodynamik bei der Analyse von Elektronenbewegungen in Feldern, in der Festkörperphysik bei der Analyse der Wirkung von Licht auf Festkörper oder in der Quantenmechanik bei der Analyse von Energieniveaus in einem Potentialtopf, was sie zu einem besonders relevanten Themengebiet macht. Wie die inhaltliche Abstimmung der Erhebungsschritte jeweils im Detail umgesetzt wurde, geht aus den Abschnitten zu den einzelnen Erhebungsinstrumenten der Erhebungsschritte hervor (s. Kapitel 4.1.1 und 4.1.2).

Im quantitativen Zugang wurden die beiden Erhebungsschritte mit Studierenden ab dem zweiten Semester durchgeführt. Gründe hierfür liegen darin, dass Studierende bereits zu diesem Zeitpunkt im Rahmen von Übungsveranstaltungen Kontakt mit Rechenaufgaben haben (Plicht et al., 2020), die Bearbeitung von Rechenaufgaben häufig zu Schwierigkeiten führt (z. B. Brandenburger, 2016; Woitkowski & Reinhold, 2018; Woitkowski, 2021b) und Rechenaufgaben auch Elemente von Klausuren zur Testung fachlicher Kenntnisse sind, was sie für den Studienerfolg gleichzeitig besonders relevant macht. Auch vor dem Hintergrund der von Heublein et al. (2022) ermittelten Studienabbruchquote von bis zu 60 % in physikalischen Studiengängen scheint die Ableitung von Hinweisen für die Entwicklung von Förderungsmaßnahmen bzgl. des Bearbeitens von Rechenaufgaben, welche das Forschungsanliegen dieser Arbeit ausmachen, und der Einsatz der Förderungsmaßnahmen bereits für Studierende in frühen Phasen des Studiums bedeutsam zu sein. Studierende höheren Semesters wurden ebenfalls zur Teilnahme an der Studie eingeladen, da die Bearbeitung von Rechenaufgaben bzw. das Identifizieren von Lösungsansätzen auch im weiteren Studienverlauf für Studierende noch schwierig sein kann, wie sich auch im Rahmen einer Pilotstudie zur Gruppierung von Rechenaufgaben mit Lehramtsstudierenden kurz vor dem ersten Staatsexamen zeigte (s. Kapitel 4.3). Zudem zeigte sich in Pilotstudien (s. Kapitel 4.3) eine eher geringe Teilnahmebereitschaft, weswegen die Maximierung der Anzahl an Studienteilnehmer*innen anzustreben war.

Die Studierenden wurden über eine Rundmail über die Erhebung und die Chance auf eine Geldauschüttung für die vollständige Teilnahme informiert. Aufgrund der Corona-Pandemie wurden die Erhebungsschritte online (mit dem Umfragetool LimeSurvey) ausgeführt. Dies hatte zum Vorteil, dass die Möglichkeit zur Fragebogenbearbeitung für die Studierenden nicht nur an einem Tag, sondern über einen Zeitraum hinweg bestehen konnte. Die Studierenden hatten hierbei die Möglichkeit, die Bearbeitung des Fragebogens (bzw. der gebündelten Erhebungsschritte 1 und 2) zu pausieren und eine Zwischenspeicherung vorzunehmen, um die geschätzte Bearbeitungsdauer von 60-90 Minuten auf mehrere Zeitfenster zu verteilen. Der Erhebungszeitraum lag in der vorlesungsfreien Zeit am Ende des Sommersemesters 2020 (25.08. – 30.09.2020, s. Abb. 4.2). Eine frühere Durchführung war aufgrund der nötigen Anpassung des Erhebungsmaterials an Pandemiebedingungen nicht möglich. Die erneute Durchführung der Erhebungsschritte ist jedoch bereits am Ende der Vorlesungszeit eines Wintersemesters (ggf. erstes Semester für Studierende) denkbar. Da die Studierenden (an der Justus-Liebig-Universität) im ersten Semester Konzepte über Grundlagen der Mechanik aufbauen können, wird so begünstigt, dass möglichst alle Studierenden den in den Erhebungen intendierten Tätigkeiten sinnvoll nachkommen können. Zudem ergibt sich so eine bessere Erreichbarkeit der Studierenden, da die Studierenden in einer Vorlesung oder einer Übungsveranstaltung auf die Erhebung aufmerksam gemacht und an diese erinnert werden können.

Abbildung 4.2

Lage des Erhebungszeitraums im Sommersemester



4.1.1 Erhebungsschritt 1: Erfassung von Personenmerkmalen der Studierenden

Zur Erhebung von Personenmerkmalen wurde ein durch die Adaption bereits bestehender Befragungs- und Testinstrumente und die punktuelle Neukonstruktion von Items erstellter Papier-und-Bleistift-Test eingesetzt (s. Anhang A). In diesem werden Selbsteinschätzungen rund um das Bearbeiten von Rechenaufgaben, das Fachwissen in Mechanik und das Fachwissen in Mathematik bzw. die Fähigkeiten zur Durchführung einfacher mathematischer Operationen abgefragt. Wie in dieser Auflistung ersichtlich wird, wurden nicht alle in Kapitel 2.4.2 herausgearbeiteten und als für die Bearbeitung von physikalischen Rechenaufgaben bzw. für das Problemlösen relevant eingeschätzten Bereiche im Fragebogen adressiert. Gründe hierfür liegen einerseits in der Erwartung einer eher niedrigen Bearbeitungsbereitschaft bei umfangreichen Befragungen bzw. Testungen, zumal die Abfrage / Testung individueller Fähigkeiten für Studierende unangenehm sein kann und den Wunsch nach Abbruch der Fragebogenbearbeitung erhöhen kann. Andererseits wurde der Fragebogen online umgesetzt, sodass grundsätzlich auf Tests verzichtet wurde, die nur schwierig online implementiert werden können oder nicht zur Onlineimplementierung bestimmt sind (z. B. Ableitung von Intelligenzmaßen: KFT, Heller & Perleth, 2000). Die Bearbeitungsdauer des Fragebogens in Erhebungsschritt 1 wurde auf Grundlage von Pilotstudien (s. Kapitel 4.3) auf etwa 30 Minuten geschätzt. Die Struktur und Ausgestaltung des Fragebogens wird in den folgenden Abschnitten genauer erläutert.

Grundlegender Aufbau des Fragebogens. Der in Erhebungsschritt 1 des quantitativen Zugangs eingesetzte Fragebogen weist folgende grobe Struktur auf:

1. Motivation zur Bearbeitung des Fragebogens; Einweisung in die Bearbeitung des Fragebogens
2. Abfrage personenbezogener Daten und Besuch einer Mechanikvorlesung
3. Abfrage der Selbsteinschätzung zu Fähigkeiten rund um das Bearbeiten von Rechenaufgaben
4. Testung des Mechanikverständnisses
5. Testung von Fähigkeiten zur Durchführung mathematischer Operationen

Der erste Teil des Fragebogens dient dem Informieren der Studierenden, um für die Bearbeitung zu motivieren sowie u. a. die Wahrscheinlichkeit für Bearbeitungsabbrüche oder -fehler durch Schwierigkeiten in der Handhabung des Onlinetools oder unerwünschtes Vorgehen in der Bearbeitung zu reduzieren. So werden die Studierenden bspw. um den Verzicht der Nutzung von Hilfen, z. B. in Form von Lehrbüchern, Taschenrechnern oder Internetseiten während der Bearbeitung gebeten, damit die individuellen Einschätzungen und Schwierigkeiten möglichst unverfälscht erfasst werden können. Inwiefern dies von den Studierenden in der Erhebung eingehalten wurde, konnte jedoch aufgrund der Onlineimplementierung nicht sichergestellt werden. Zudem wird darauf hingewiesen, dass das Zurückspringen zu vorherigen Seiten nicht möglich ist. Diese Option wurde bewusst entfernt, um den Einfluss der Bearbeitung späterer Fragebogenitems auf frühere Items zu minimieren. Dies ist insbesondere für die Items zur Erfassung des Mechanikverständnisses (Just et al., 2021) aber auch itemgruppenübergreifend von Bedeutung.

Die aktive Fragebogenbearbeitung beginnt mit der Abfrage von personenbezogenen Daten (Geschlecht, Studiengang, Studienfach, Fachsemester). Die Erhebung der personenbezogenen Daten

dient der Analyse der Probandengruppe, auch im Vergleich gegenüber der Gruppe der im Studiengang eingeschriebenen Studierenden. Des Weiteren besteht in Verknüpfung mit Daten aus Erhebungsschritt 2 (s. Kapitel 4.1.2) die Möglichkeit, Hinweise darüber abzuleiten, ob bspw. nur Studierende eines bestimmten Semesters oder Studiengangs Schwierigkeiten bei der Sortierung von Rechenaufgaben nach dem Lösungsansatz haben. Darüber hinaus werden die Studierenden befragt, ob sie bereits im Rahmen ihres Studiums eine Mechanikvorlesung besucht haben. Hierdurch soll abgeleitet werden, ob die Studierenden über die nötigen fachlichen Fähigkeiten zur Bearbeitung des Fragebogens in Erhebungsschritt 2 haben können. Dies ist von Relevanz, damit abgeschätzt werden kann, ob valide Schlussfolgerungen aus Ergebnissen abgeleitet werden können (vgl. Messick, 1995).

Im Anschluss erfolgt die Befragung / Testung zum Kern des Fragebogens: Die Abfrage von (3.) Selbsteinschätzungen der Studierenden zu ihren Fähigkeiten bzgl. des Bearbeitens von Rechenaufgaben sowie (4.) die Testung deren Mechanikverständnisses und (5.) deren Fähigkeiten im Umgang mit mathematischen Operationen. Die Gestaltung dieser drei Fragebogenabschnitte wird in den zugehörigen Abschnitten unten umfangreich beschrieben und erläutert. Die Reihung der Befragungs- und Testabschnitte basiert auf der Möglichkeit, dass die Bearbeitung bestimmter Itemgruppen einen Einfluss auf die Bearbeitung anderer im Fragebogen enthaltener Itemgruppen haben könnte. Bspw. könnten erlebte Schwierigkeiten in der Testung des Mechanikverständnisses oder von Fähigkeiten zur Durchführung mathematischer Operationen zu einer (aufgrund der relativen Stabilität der unterliegenden Konstrukte nach Meinhardt, 2018 als gering einzuschätzenden) Korrektur der Selbsteinschätzung bzgl. der Fähigkeit führen, Rechenaufgaben der Mechanik erfolgreich lösen zu können. Um auch allgemeine Selbsteinschätzungen, und nicht situativ durch die Testungen geprägte Einschätzungen, erfassen zu können, wurde die Abfrage der Selbsteinschätzung vor der Durchführung beider Testungen im Fragebogen eingereiht. Die Testung von Fähigkeiten zur Durchführung mathematischer Operationen ist der Testung des Mechanikverständnisses nachgelagert, da sich das Mechanikverständnis in der bisherigen Forschung als bedeutender Prädiktor für den Erfolg bei der Bearbeitung von physikalischen Rechenaufgaben ergeben hat (vgl. z. B. Brandenburger, 2016 oder Friege & Lind, 2004, s. Kapitel 2.4.2). Auf diese Weise sollte u. a. der Effekt von Ermüdungserscheinungen (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2012) auf diesen relevanteren Abschnitt des Fragebogens, soweit wie in diesem Design möglich, verringert werden.

Itemgruppe: Selbsteinschätzung. Im Fragebogen sind Items zur Selbsteinschätzung implementiert, die das Fähigkeitsselbstkonzept, Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben und die Selbstwirksamkeitserwartung adressieren. Diese werden in dieser Reihenfolge auf einer gemeinsamen, sechsstufigen, symmetrischen Likert-Skala mit den Abstufungen „trifft gar nicht zu“ (0), „trifft fast nicht zu“ (1), „trifft eher nicht zu“ (2), „trifft eher zu“ (3), „trifft weitgehend zu“ (4) und „trifft voll zu“ (5) beurteilt.

Das Fähigkeitsselbstkonzept und die Selbstwirksamkeitserwartung haben sich aus theoretischer (z. B. Dickhäuser, Schöne, Spinath & Stiensmeier-Pelster, 2002; Bandura, 1997) und empirischer Perspektive bereits als taugliche Konstrukte zum Erklären beobachteter Leistung gezeigt. In der Empirie werden dabei u. a. die physikalisch-fachinhaltliche Kompetenz im Allgemeinen (z. B. Woitkowski

& Breitskopf, 2019) und das physikalische Problemlösen im Speziellen (Brandenburger, 2016) mit dem Fähigkeitsselbstkonzept bzw. der Selbstwirksamkeitserwartung zusammengebracht. Somit ist es naheliegend, diese Konstrukte auch bei der Analyse von Prozessen zum Identifizieren von Lösungsansätzen als Teilprozess des physikalischen Problemlösens (vgl. Lösungsschritte, Kapitel 2.3.3) zu betrachten. Die zusätzliche Abfrage von Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben soll Hinweise auf Antworten zur Forschungsfrage bzgl. der Schwierigkeiten von Studierenden beim Finden von Lösungsansätzen liefern (FF 3.1, Kapitel 3). Berücksichtigt wurden hierbei internal vs. external verursachte Schwierigkeiten, da diese Art der Attribuierung einen großen Einfluss auf zukünftiges Lernverhalten sowie zukünftige Leistung haben kann (Stiensmeier-Pelster & Schwinger, 2008) und somit bedeutsam für die Gestaltung von Fördermaßnahmen zum Bearbeiten von Rechenaufgaben sein kann. In der Befragung wird zur Reduktion der Gesamtbearbeitungsdauer und zur Reduzierung von motivations- bzw. ermüdungsbedingten Bearbeitungsabbrüchen die Auswahl auf wenige Items beschränkt: Zwei Items zum Fähigkeitsselbstkonzept, sieben Items zu Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben, 12 Items zur Selbstwirksamkeitserwartung. Alle Items sind dabei, analog zu Items zum Selbstkonzept bzw. zur Selbstwirksamkeitserwartung in Brandenburger (2016), eng in Verbindung mit dem Thema *Mechanik* sowie der Bearbeitung von Rechenaufgaben formuliert und werden im Folgenden genauer vorgestellt.

Bei der Konstruktion der Items zum Fähigkeitsselbstkonzept und zur Selbstwirksamkeitserwartung wurde auf die Einhaltung der in Kapitel 2.4.2 beschriebenen Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den Konstrukten des Selbstkonzepts und der Selbstwirksamkeitserwartung geachtet. Items zum physikalischen und mathematischen Selbstkonzept (Tabelle 4.1) beziehen sich auf die kognitive Komponente des Selbstkonzeptes und sind ähnlich zu einer „Ich bin gut / schlecht in ...“-Formulierung gewählt. Zudem werden mit den Items globale(re) Fähigkeiten abgefragt.

Tabelle 4.1

Fragebogenitems über das Selbstkonzept zu physik- (SK.Ph) und mathematikbezogenen (SK.M) Fähigkeiten

Bez.	Item
SK.Ph	Ich habe die Inhalte zur Mechanik im Physikstudium bisher gut verstanden.
SK.M	Ich kann mathematische Operationen (z. B. Umstellen, Einsetzen, Integrieren, Ableiten) fehlerfrei durchführen.

Die Items zu möglichen Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben (s. Tab. 4.2) sind verschieden allgemein formuliert. Am allgemeinsten sind die physik- bzw. veranstaltungsbezogenen Items (S.VI & S.TI). Am spezifischsten sind die auf Rechenaufgaben bzw. deren Bearbeitung bezogenen Items (S.KG – S.M). Die auf Rechenaufgaben bzw. deren Bearbeitung bezogene Items sind an den in Kapitel 2.3.3 vorgestellten Lösungsschritten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben ausgerichtet. So adressieren die Items S.KG und S.VA den Lösungsschritt *Verstehen der Aufgabe*, das Item S.A das *Finden eines Lösungsansatzes* und S.MV das *Planen des Lösungsweges* und das Item S.M den Schritt *Mathematisches Lösen*. Dabei stellen die Items S.VI und S.TI sowie die Items S.KG und S.VA je zueinander parallelisiert formulierte Items dar, die sich primär in der Attribution der Schwierigkeiten

Tabelle 4.2

Fragebogenitems zu Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben mit internaler (i) und externaler (e) Attribuierung

Bez.	Item
	Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass ...
S.VI	... ich Inhalte aus der Physik noch nicht gut genug verstehe. (i)
S.TI	... die notwendigen Inhalte in den Fachveranstaltungen (noch) nicht ausführlich genug behandelt wurden. (e)
S.KG	... die Aufgabe unnötig kompliziert gestellt ist. (e)
S.VA	... ich die Aufgabe nicht richtig verstehe. (i)
S.A	... mir der passende Ansatz nicht einfällt. (i)
S.MV	... ich nicht weiß, wie ich rechnerisch vorgehen soll, nachdem ich einen Ansatz gefunden habe. (i)
S.M	... ich unsicher im Umgang mit Gleichungen und Formeln bin. (i)

(internal vs. external) unterscheiden. Da der Begriff „Ansatz“ im Rahmen dieser Arbeit von besonders großer Bedeutung ist, wird den Studierenden über der Darstellung der Items aus Tabelle 4.2 eine Definition des Begriffs für diesen Fragebogen angegeben (s. Abb. 4.3). An die Definition wurde direkt oben auf jeder neuen Fragebogenseite in verkürzter Weise erinnert, sofern der Ansatzbegriff dort aufgetaucht ist (s. Abb. 4.4).

Die Items zur Selbstwirksamkeitserwartung sind den Items zum Selbstkonzept, wie oben bereits angemerkt, bzgl. der Reihung im Fragebogen nachgelagert, da sich die konkrete Auseinandersetzung mit spezifischen Rechenaufgaben potentiell situativ auf die allgemeineren Einschätzungen des Selbstkonzeptes auswirken könnte. Items zur Selbstwirksamkeitserwartung sind, wie in Kapitel 2.4.2 beschrieben, typischerweise spezifisch formuliert und beziehen sich auf konkrete Aufgaben oder Situationen (z. B. Meinhardt, 2018). Dies ist im Fragebogen realisiert, indem den Studierenden je eine konkrete Rechenaufgabe und darunter zugehörige Items dargeboten werden. Die Items werden den Studierenden an insgesamt drei Rechenaufgaben präsentiert, welche aus einem Pool von Aufgaben kontrolliert ausgewählt worden sind, der auch für die Durchführung des zweiten Erhebungsschrittes (s. Kapitel 4.1.2) und die Ausführung des zweiten Erhebungsschrittes des qualitativen Zugangs (s. Kapitel 4.2) genutzt wird. Die für die Bearbeitung der Items zur Selbstwirksamkeitserwartung ausgewählten Aufgaben sind bezüglich der in dieser Arbeit betrachteten Oberflächenmerkmale identisch. In diesem Fall gleichen sich die Aufgaben darin, dass sie aus dem Themengebiet der Mechanik stammen, in einem lebensweltlichen Kontext gestellt sind, einen schrägen Wurf (entspricht Kontexttyp: „Flug“, Bewegungsrichtung: „horizontal und vertikal“, vgl. Kapitel 4.1.2, Tab. 4.4) mit beschleunigter Bewegung thematisieren und nur einen Lösungsansatz zur Lösungsgenerierung benötigen. Die Aufgaben unterscheiden sich nur bzgl. des Tiefenstrukturmerkmals, welches in dieser Arbeit den zur Lösung anzuwendenden effizientesten Ansatz (= Energie-, Kraft oder Bewegungsansatz) bezeichnet. Die in Abbildung 4.5 abgebildete Rechenaufgabe wird bspw. zum Tiefenstrukturmerkmal „Bewegungsansatz“ im Rahmen der Erfassung der Selbstwirksamkeitserwartung eingesetzt. Damit die Selbstwirksamkeitserwartung der Studierenden und nicht etwa eine -bewertung erfasst wird, wird vor der Präsentation der Rechenaufgaben und Items darauf hingewiesen, dass die Rechenaufgaben nicht

Abbildung 4.3

Definition des Ansatzbegriffes sowie der drei Lösungsansatztypen Bewegungs-, Energie-, und Kraftansatz

Achtung:

Im Folgenden werden Ihnen unter anderem Fragen zum Bearbeiten von Rechenaufgaben gestellt. Dabei benutzen wir den Begriff des *Ansatzes*. Unter einem **Ansatz** verstehen wir die zur Lösung **anzuwendende physikalische Grundidee**, wie beispielsweise

- einen **Bewegungsansatz**: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Lösungen von Bewegungsgleichungen (z. B. $s(t)$) genutzt.
- einen **Energieansatz**: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Umwandlungen von Energien einer Energieform in andere oder Überlegungen zum Verrichten von Arbeit genutzt.
- einen **Kraftansatz**: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zur Überlagerung von Kräften zu einer resultierenden Kraft bzw. zu assoziierten Beschleunigungen genutzt.

Abbildung 4.4

Verkürzte Definition des Ansatzbegriffes

Achtung: Unter einem **Ansatz** verstehen wir **die zur Lösung anzuwendende physikalische Grundidee**, wie beispielsweise einen Bewegungs-, Energie- oder Kraftansatz.

gelöst werden sollen. In dem gewählten Online-Setting ist die Einhaltung jedoch nicht prüfbar. Zudem wird zur Präzisierung der Aufgabenstellung auf die Beachtung von Randbedingungen verwiesen. Die Items selbst sind in der charakteristischen „Ich kann ...“-Formulierung gestellt (s. Tabelle 4.3) und adressieren vier der in Kapitel 2.3.3 vorgestellten Lösungsabschnitte *Verstehen der Aufgabe – Finden eines Lösungsansatzes – Planen des Lösungsweges – Mathematisches Lösen*. Es ist zu beachten, dass auf eine explizite Formulierung einer Hürde, wie Meinhardt (2018) es vorsieht, auf Grundlage der Annahme verzichtet wurde, dass die Rechenaufgaben aus sich heraus eine Herausforderung darstellen (also als Probleme angesehen werden können, s. Kapitel 2.2). Diese Annahme scheint unter Betrachtung bisheriger Forschungsergebnisse plausibel (vgl. Kapitel 2.4.2) und wird durch Ergebnisse dieser Arbeit (s. insb. Rechenaufgaben aus Aufgabensätzen 3, 4, 5; Kapitel 6.2.2) untermauert. Im Gegensatz wird sogar indirekt eine Verminderung erwarteter Hürden mithilfe einschränkender „wenn“-Formulierungen anvisiert (s. SW_._A - SW_._M, Tab. 4.3). Das primäre Ziel dieser Reduktion ist die Erhöhung der Trennschärfe zwischen den Items und damit die Erhöhung der Reliabilität (vgl. Döring & Bortz, 2016a). Ohne die „wenn“-Formulierungen wäre für Probanden nicht ersichtlich, ob eventuelle Schwierigkeiten bei vorherigen Lösungsschritten mitgedacht werden müssen, was zu ungewollter Varianz führen könnte.

Abbildung 4.5

Im Rahmen der Beantwortung von Items zur Selbstwirksamkeit gegebene Rechenaufgabe

Melanie schießt beim Fußball den Ball mit einer Geschwindigkeit von $29 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und in einem Winkel von 42° zur Horizontalen schräg nach oben. Durch auftretenden Wind wird der Ball in vertikaler Richtung insgesamt nur noch mit $a_y = -9,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nach unten und in horizontaler Flugrichtung mit $a_x = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ beschleunigt.

Wie weit ist der Fußball bereits geflogen, wenn er seinen höchsten Punkt erreicht hat?

Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Effekte durch die Luft (mit Ausnahme der Luft des Windes)
- Rotation und „flattern“ des Balls

Tabelle 4.3

Fragebogenitems zur Selbstwirksamkeitserwartung

Bez.	Item
	Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu ...
SW._.S	... eine zum Lösen der Aufgabe sinnvolle Skizze anzufertigen.
SW._.A	... den zum Lösen benötigten Ansatz zu identifizieren, <u>wenn</u> eine Skizze bereits vorgegeben ist.
SW._.V	... zu erläutern, wie beim Lösen der Aufgabe vorgegangen werden muss, <u>wenn</u> die Skizze und der Ansatz bereits vorgegeben sind.
SW._.M	... eine Lösung auf mathematischem Wege zu ermitteln, <u>wenn</u> die Skizze und der Ansatz bereits vorgegeben sind und das Lösungsvorgehen verbal beschrieben ist.

Anmerkung. Das Symbol „_“ ist als Platzhalter für den zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgabe anzuwendenden Ansatz zu verstehen (E: Energie-; K: Kraft-; B: Bewegungsansatz). Im Beispiel von Abbildung 4.5 würde ein Bewegungsansatz zum Lösen der Rechenaufgabe angewendet werden, sodass die Items zur Selbstwirksamkeit SW.B.S, SW.B.A, SW.B.V und SW.B.M benannt sind.

Itemgruppe: Testung des Mechanikverständnisses. Der Erfolg einer Person beim Lösen physikalischer Rechenaufgaben hängt maßgeblich mit dem Fachwissen dieser auf dem Themengebiet zusammen (Brandenburger, 2016; Friege, 2001; Friege & Lind, 2004). Um Hinweise auf Zusammenhänge des Fachwissens zum Finden von Lösungsansätzen in Rechenaufgaben identifizieren zu können, beinhaltet der Fragebogen auch Items zum fachinhaltlichen Verständnis im Themengebiet Mechanik, dem Themengebiet, das auch im zweiten Erhebungsschritt adressiert wird. Zum Einsatz kommen Testaufgaben im Single Choice-Format, die einerseits Konzepte zur Bewegung von Körpern sowie die auf sie wirkende Kräfte thematisiert (Teil 1) und andererseits Konzepte zur Umwandlung verschiedener Energieformen ineinander und zur Energieerhaltung adressieren (Teil 2). Die Position der richtigen Antwort unter den Antwortmöglichkeiten ist je Item zufällig gewählt.

Für die Ausgestaltung des *ersten Teils* werden Items aus dem Aufgabenpool zum Promotionsprojekt von Anna Monika Just (s. bspw. Just et al., 2021) verwendet. Die Testaufgaben in diesem umfangreichen Aufgabenpool unterscheiden sich systematisch bezüglich verschiedener Tiefenstruktur- und

Oberflächenmerkmale, wie das zur Lösung anzuwendende Newtonsche Gesetz (1 vs. 2 vs. 3) oder der Bewegungszustand (Ruhe vs. Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit). Details zur Variation der Aufgabenmerkmale im Aufgabenpool von Just können Abbildung 4.6 entnommen werden. Für eine möglichst umfangreiche Erprobung der Aufgaben wird im Projekt von Just ein Booklet-Design (z. B. Frey, Hartig & Rupp, 2009) verwendet, sodass vier durch Ankeraufgaben verknüpfte Testhefte eingesetzt werden (Just & von Aufschnaiter, 2020). Da aus zeitlichen Gründen bzw. zur Vermeidung eines Ermüdungseffektes während der Testung kein vollständiges Testheft eingesetzt werden kann, wurden einzelne Testaufgaben für die Erhebung im Rahmen dieser Studie nach bestimmten Kriterien ausgewählt. Dabei wurden lediglich Testaufgaben zum ersten und zweiten Newtonschen Axiom herangezogen, um eine inhaltliche Passung zu den Rechenaufgaben im ersten und zweiten Erhebungsschritt herzustellen. Aus dem verbleibenden Aufgabenpool wurden dann die hier genutzten Items so ausgewählt, dass diese bzgl. der Aufgabenmerkmale möglichst verschieden sind und zusätzlich die Breite des Spektrums bzgl. der Lösungswahrscheinlichkeit abdecken. Hierfür wurden die Lösungswahrscheinlichkeiten der einzelnen Items aus der Auswertung einer Erhebung von Just aus dem Vorjahr mit Physikstudierenden im ersten Semester herangezogen. Details zu dieser Auswertung können Just et al. (2021) entnommen werden. Des Weiteren wurden bevorzugt Anker-Items aus dem Aufgabenpool für diesen Fragebogen übernommen. Auf diese Weise wurden neun Aufgaben ausgewählt, die mit ihren Lösungswahrscheinlichkeiten im Projekt von Just in Abbildung 4.7 abgebildet sind.

Abbildung 4.6

Systematisch variierte Aufgabenmerkmale im Promotionsprojekt von Just (vgl. Just et al., 2021)

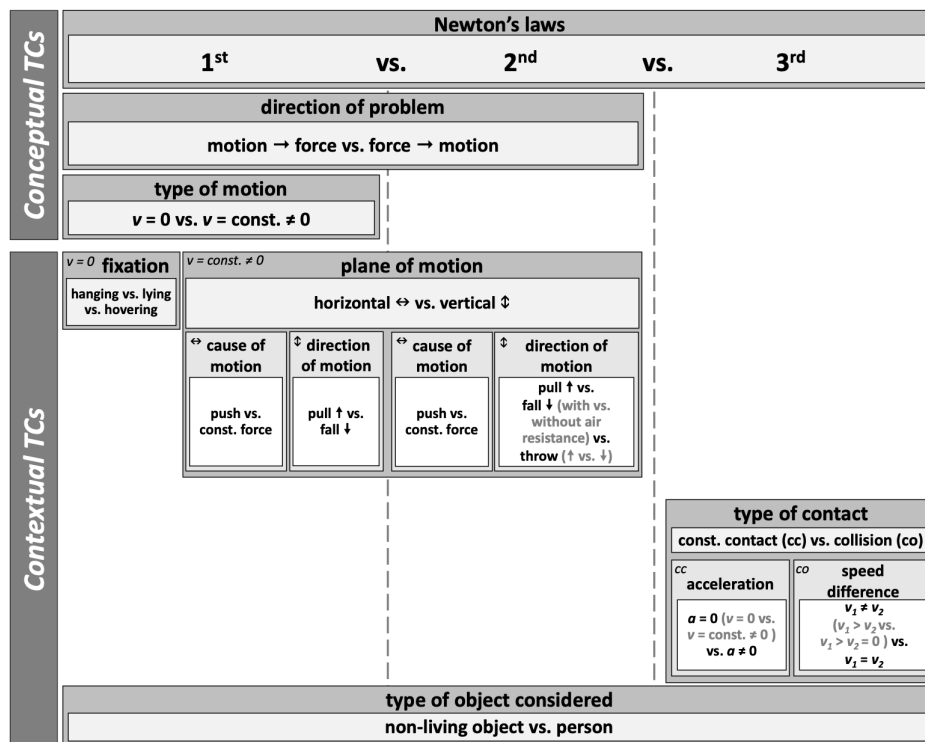
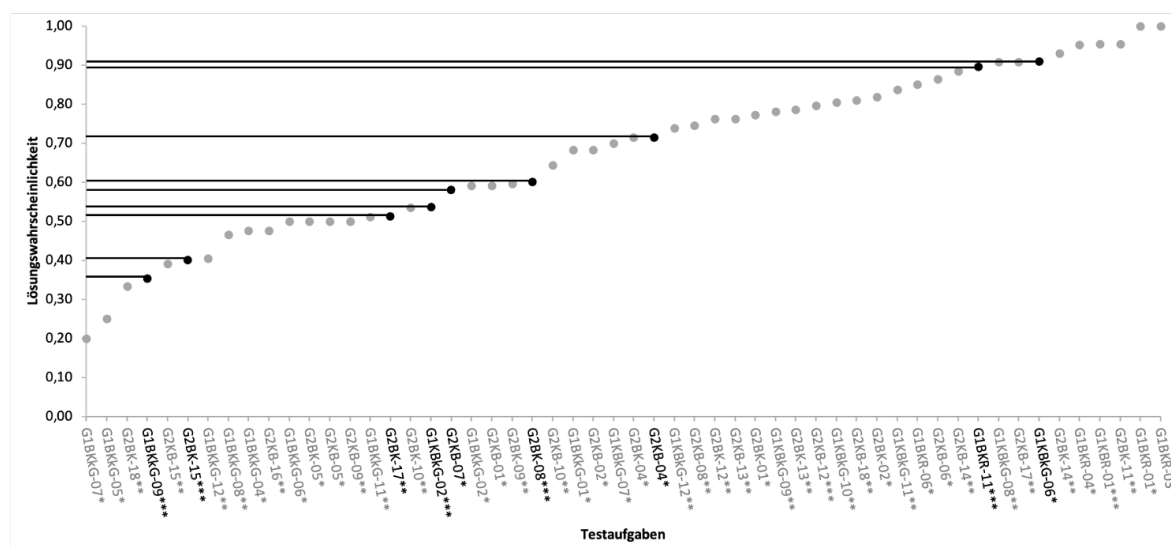


Abbildung 4.7

Lösungswahrscheinlichkeiten der in dieser Arbeit eingesetzten Items (schwarz) im Vergleich zu den restlichen Items (grau) aus einer Erhebung mit Physikstudierenden im ersten Semester (Just et al., 2021)



Anmerkung. Die Anzahl der Sterne („*“) hinter der Itembezeichnung gibt an, in wie vielen Testheften die Items jeweils auftauchen. Bei Items mit drei Sternen handelt es sich entsprechend um Ankeritems.

Der *zweite Teil* der Testung des Mechanikverständnisses beinhaltet Testitems, die nach dem Vorbild der Items aus Viering (2012) erstellt worden sind. Da das Testinstrument von Viering (2012) ursprünglich in den Schulklassen 6-10 eingesetzt worden ist, wurden hierbei nur Items mit niedrigen Lösungswahrscheinlichkeiten (.18-.28) herangezogen, um einen Deckeneffekt beim Einsatz mit Studierenden zu vermeiden. Zudem sind die in der Aufgabe zu beachtenden Randbedingungen (z. B. zu beachtende Reibung) explizit notiert, um die Items möglichst eindeutig zu formulieren und Varianzen durch unterschiedliches Verstehen der Items zu minimieren. Des Weiteren wurde die Abfrage von Energieprodukten und Gesamtenergie nach der Energieumwandlung im Gegensatz zu den Items in Viering (2012) aufgetrennt. So soll vermieden werden, dass Probanden nur einem Teil der Antwortoption zustimmen und auf diese Weise leichter Distraktoren ausfindig machen können. Zudem wurde je Aufgabensituation zur Abfrage der Änderung der Gesamtenergie eine Definition des Gesamtsystems ergänzt, auf das sich die Frage bezieht, sodass als Distraktoren konstruierte Antwortoptionen nicht durch die „geeignete“ Wahl des Systems wieder korrekt werden. Auf diese Weise wurden vier Items erstellt, die nach dem in Abbildung 4.8 dargestellten Schema aufgebaut sind.

Abbildung 4.8

Aufbau der eingesetzten Items zu Energie und Energieumwandlung am Beispiel von Testitems Mech.EU.15 und Mech.EE.16

Abfrage von Energieprodukten nach Energieumwandlungs- prozess

Bei einem Crash-Test wird ein Auto gegen eine Wand gefahren und bleibt infolgedessen stehen.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt am besten, was mit der Bewegungsenergie des Autos bei dem Zusammenstoß passiert? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Effekte durch die Luft
- Wärmestrahlung

- ☐ Die Bewegungsenergie des Autos vor dem Zusammenstoß wird beim Zusammenstoß vollständig in innere Energie des Autos und der Wand umgewandelt, weshalb das Auto stehen bleibt und verbeult wird.
- ☐ Die Bewegungsenergie des Autos vor dem Zusammenstoß wird beim Zusammenstoß vollständig in Bewegungsenergie der Wand umgewandelt, weswegen das Auto stehen bleibt. Da die Wand aber viel schwerer als das Auto ist, bleibt sie stehen und das Auto wird verbeult.
- ☐ Die Bewegungsenergie des Autos wird bei dem Zusammenstoß mit der Wand vernichtet, weshalb das Auto stehen bleibt. Dabei wird das Auto verbeult.
- ☐ Die Bewegungsenergie des Autos verändert sich durch den Zusammenstoß nicht. Es wird jedoch innere Energie von der Wand auf das Auto übertragen, weswegen das Auto stehen bleibt und verbeult wird.

Abfrage von Gesamtenergie nach Energieumwandlungsprozess

Welche der folgenden Aussagen beschreibt unter den oben beschriebenen Randbedingungen am besten, was beim Hin- und Herrollen in der Halfpipe mit der Gesamtenergie passiert? Wählen Sie diese aus.

Hinweis:

Die Gesamtenergie umfasst die Summe aller Energien von Objekten, die am Prozess beteiligt sind (Skater, Halfpipe, Luft, Erde).

- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich kleiner.
- ☐ Die Gesamtenergie ändert sich nicht.
- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich größer.

Itemgruppe: Testung von Fähigkeiten zur Durchführung mathematischer Operationen. Um mathematische Fähigkeiten im Zusammenhang mit Aspekten der Bearbeitung von Rechenaufgaben (z. B. Schwierigkeiten bei der Identifikation von Lösungsansätzen) untersuchen zu können, sind Testaufgaben zur Durchführung mathematischer Operationen im Fragebogen integriert. In Bezug auf den Zusammenhang zwischen mathematischen Fähigkeiten und dem Erfolg beim Problemlösen konnte bisher kein direkter, sondern „nur“ ein über das Fachwissen mediierter Zusammenhang festgestellt werden (Brandenburger, 2016). Eine Untersuchung von Zusammenhängen zwischen mathematischen Fähigkeiten und dem Erfolg sowie weiteren Aspekten (bspw. dem Auftreten von Schwierigkeiten) in Teilprozessen des Lösen von Rechenaufgaben wurde bislang noch nicht durchgeführt. Es ist bspw. denkbar, dass mathematische Fähigkeiten eine notwendige Variable sind, um die Tauglichkeit eines gewählten Lösungsansatzes zu prüfen („Kürzen sich alle Unbekannten heraus?“). Für den Einsatz in diesem Fragebogen wurden daher acht Testitems in Anlehnung an die in Pusch (2014) und Brandenburger (2016) eingesetzten Tests konstruiert, die das Umstellen von einfachen sowie quadratischen Gleichungen, das Gleichsetzen und Umformen sowie die Anwendung trigonometrischer Konzepte beinhalten (vgl. Anhang A, Abschnitt Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik). Wie diesen Abbildungen entnommen werden kann, werden jeweils nur die Ergebnisse des Testitems abgefragt. Diese Einschränkung ist der Onlineimplementierung geschuldet und war für den zeitnahen Einsatz des Fragebogens unumgänglich. Dies hat zur Folge, dass die

Lösungszwischenschritte, und damit die Einhaltung von Restriktionen („Benutzen Sie hierfür:“, Abb. 4.9, Teil 3), somit nicht nachvollzogen werden können, was für die Auswertung und Interpretation der Untersuchungsergebnisse bedeutsam sein kann. Der Kontext der Testitems ist mathematisch bzw. nicht physikalisch gewählt. Ein physikalischer Kontext würde zumindest bei einem Teil der Probandengruppe zusätzlich schwierigkeiterzeugend wirken, da in einem solchen Fall andere bzw. zusätzliche, physikbezogene Konzepte angewendet werden müssten (z. B. Karam et al., 2016; Redish, 2006). Durch die Wahl eines mathematischen bzw. nicht physikalischen Kontextes soll der Einfluss physikalischer Kompetenz minimiert werden, sodass Zusammenhänge „reiner“ mathematischer Fähigkeiten mit Aspekten der Bearbeitung von Rechenaufgaben untersucht und aufgabenbedingte Wechselwirkungen mit dem Fachwissen vermieden werden können, da das Fachwissen bzw. Mechanikverständnis separat erfasst wird (s. Abschnitt Fragebogenteil: *Testung des Mechanikverständnisses*). Zudem besteht auch hier eine Passung zwischen den eingesetzten mathematischen Testaufgaben und der fachlichen Anforderungen im zweiten Erhebungsschritt (Kapitel 4.1.2), indem nur mathematische Konzepte angewendet werden müssen, die auch für das Lösen der Rechenaufgaben im zweiten Erhebungsschritt (jedoch im physikalischen Kontext) genutzt werden müssten.

Abbildung 4.9*Eingesetzte Testaufgaben zur Erfassung mathematischer Fähigkeiten**Teil 1: Umformen***Achtung:** Nur **Stift und Papier** sind als Hilfsmittel erlaubt (kein Taschenrechner!)

Formen Sie die folgenden Gleichungen jeweils nach der unbekannten Größe um, berechnen Sie deren Wert und geben Sie Ihr Ergebnis im Eingabefeld ein.

(a) $7a + 133 = 0$

(b) $37a + 23a - 90 = 0$

(c) $32a + 11 = 17a - 19$

(d) $b^2 + 14b + 49 = 0$

(e) $2b^2 - 4b = 70$

(f) $b^2 + 121 = -22b$

Teil 2: Gleichsetzen und Umformen

Kombinieren Sie aus folgenden Formeln eine Formel für c in Abhängigkeit von e und schreiben Sie diese in das Eingabefeld.

Formeln:

$$a = \frac{1}{4}bc^2$$

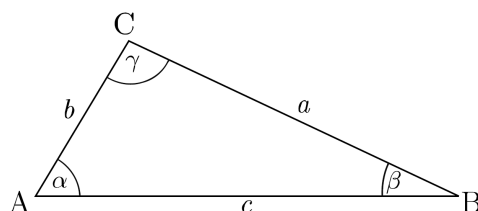
$$a = 3bde$$

Abbildung 4.9

Eingesetzte Testaufgaben zur Erfassung mathematischer Fähigkeiten (Fortsetzung)

Teil 3: Anwendung trigonometrischer Konzepte

Gegeben ist ein Dreieck. Die Seiten a , b und c liegen jeweils entgegen den Eckpunkten A, B und C. Die Skizze verdeutlicht die Positionen, aber nicht unbedingt die Größenverhältnisse der gegebenen Größen.



Berechnen Sie die Seite a mit Hilfe des Sinus oder Cosinus und geben Sie Ihre Lösung im Eingabefeld an. Gegeben sind:

$$b = 6 \cdot \sqrt{3} \text{ cm und } c = 12 \text{ cm}$$

$$\alpha = 30^\circ, \beta = 60^\circ, \gamma = 90^\circ$$

Benutzen Sie hierfür:

$$\sin(60^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \cos(30^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{oder} \quad \cos(60^\circ) = 0,5$$

4.1.2 Erhebungsschritt 2: Erfassung einiger Aspekte von Prozessen des Identifizierens von Lösungsansätzen

Die Studierenden werden in der Erhebung zum Sortieren von Rechenaufgaben nach den zum Lösen anzuwendenden Lösungsansätzen und zur Beantwortung von Fragen über die Sortierung aufgefordert. Die Sortierung der Rechenaufgaben ist dabei einerseits direkter Gegenstand der Untersuchung im Rahmen dieser Arbeit, indem analysiert wird, inwiefern es Studierenden gelingt, Ansätze zum Lösen von Rechenaufgaben auszuwählen (FF 2.1). Andererseits ist die Sortierung der Rechenaufgaben der Bezugspunkt für die anschließende Befragung nach Schwierigkeiten während des Sortierens (FF 3.1) und das Ableiten von möglichen Vorstellungen der Studierenden über Lösungsansätze und das Identifizieren dieser (FF 4.1). Die Sortierung und Befragung ist in Form eines Fragebogens realisiert, dessen Bearbeitung nach Schätzungen auf Basis der Pilotstudien (s. Kapitel 4.3) etwa 30 – 60 Minuten dauert. Die eingesetzten Rechenaufgaben, die den Studierenden gestellten Fragen zur Sortierung der Rechenaufgaben und der Aufbau des Fragebogens werden im Folgenden genauer vorgestellt.

Rechenaufgaben. Im Rahmen des zweiten Erhebungsschrittes werden Rechenaufgaben eingesetzt, die von Studierenden nach Lösungsansätzen sortiert werden sollen. Chi, Feltovich und Glaser (1981) haben Probanden unterschiedlichen Expertisegrades zur Gruppierung von auch oberflächlich verschiedenen Rechenaufgaben nach *Ähnlichkeiten im Lösungsvorgehen* aufgefordert und festgestellt, dass Novizen Rechenaufgaben nach Oberflächenmerkmalen gruppieren. Die Aufträge an die Probanden der Studie von Chi, Feltovich und Glaser (1981) und an die studentischen Probanden in dieser Studie sind somit ähnlich. Unter der Annahme, dass sich Studierende entsprechend der Novizen in der Studie von Chi, Feltovich und Glaser (1981) verhalten, wäre auch im Rahmen dieser Studie eine Sortierung nach Oberflächenmerkmalen erwartbar. Um nun Aspekte von Prozessen des *Identifizierens von Lösungsansätzen* von Studierenden untersuchen zu können, werden die Rechenaufgaben im Fragebogen in fünf Aufgabensätzen gebündelt nacheinander präsentiert. In einem Aufgabensatz werden Rechenaufgaben zusammengefasst, die auf Ebene der Oberflächenstruktur möglichst identisch sind und in Merkmalen der Tiefenstruktur (also bzgl. der anzuwendenden Lösungsansätze) Varianzen aufweisen. Hierdurch wird einerseits die Anzahl gleichzeitig einem Lösungsansatz zuzuordnender Rechenaufgaben reduziert und andererseits die Gruppierung nach Oberflächen- statt nach Tiefenstrukturmerkmalen erschwert. Durch den Einsatz mehrerer Aufgabensätze werden die Oberflächenmerkmale systematisch variiert und die in dieser Arbeit fokussierten Aspekte von Prozessen des Identifizierens von Lösungsansätzen können in Zusammenhang zu verschiedenen Oberflächenmerkmalen von Rechenaufgaben untersucht werden.

Damit mit dieser Studie das Identifizieren von Lösungsansätzen in relevanten – also im Studium typischerweise vorkommenden – Rechenaufgaben näher untersucht werden kann und daraus Hinweise für eine entsprechende Förderung abgeleitet werden können, basieren die hier eingesetzten Rechenaufgaben auf Lehrbuchaufgaben (vgl. Binder et al., 2019). So wurde für die Konstruktion der Rechenaufgaben zunächst eine Analyse von Aufgaben in häufig von Studierenden verwendeten Lehrbüchern (Giancoli, 2010; Tipler & Mosca, 2019) durchgeführt. Dies hatte die Ausarbeitung von auftretenden Ausprägungen zu Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen zum Ergebnis. Diese Aufstellung an Aufgabenmerkmalen wurde daraufhin durch weitere Merkmale ergänzt, nach denen Experten und Novizen Rechenaufgaben gruppieren (Chi, Feltovich & Glaser, 1981). Auf diese Weise sollten möglichst viele Oberflächenmerkmale identifiziert werden, nach denen Rechenaufgaben potentiell gruppiert werden können. In Betracht gezogen wurden neun Oberflächenmerkmale und fünf Tiefenstrukturmerkmale. Tiefenstrukturmerkmale von Rechenaufgaben bzw. die Ausprägungen dieser Merkmale wurden analog zu Friege (2001) und Binder et al. (2019) jeweils mit Blick auf den effizientesten Lösungsweg beurteilt. Auf Basis dieser Aufstellung von Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen wurden, damit Unterschiede bzgl. der bearbeitungs(prozess)bezogenen Aspekte sinnvoll mit Unterschieden in Aufgabenmerkmalen verknüpft werden können, gemäß dem Konzept der Variablenkontrollstrategie Rechenaufgaben entwickelt. Einige der Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmale wurden als Kontrollvariablen bzw. Kontrollmerkmale gesetzt. Die systematische Variation *aller* herausgearbeiteter Aufgabenmerkmale hätte für diese Studie zu viele mögliche Variationen ergeben und zu zum Teil nicht sinnvollen Merkmalskonfigurationen geführt: Die Rechenaufgaben entstammen dem Themengebiet der Mechanik und sind in einem lebensweltlichen

Kontext (also nicht innerfachlich) formuliert. Die mathematischen Anforderungen beschränken sich auf das Umformen und Einsetzen von Termen und Größen sowie die Anwendung einfacher trigonometrischer Überlegungen. Hierbei müssen jeweils maximal zwei mathematische Anforderungen miteinander verknüpft werden. In den Aufgabensituationen je sind maximal zwei Objekte oder Personen von Relevanz und es werden Translationsbewegungen beschrieben. Hilfsobjekte (z. B. Federn oder Rollen) sind nicht implementiert. Gesuchte und gegebene Größen werden nicht kontrolliert, da so die Variation der Tiefenstrukturmerkmale innerhalb eines Aufgabensatzes zu stark eingeschränkt wäre. Zudem können aus einigen Kompositionen von gegebenen / gesuchten Größen und Tiefenstrukturmerkmalen keine Rechenaufgaben konstruiert werden. Über die Aufgabensätze hinweg variierte Merkmale stellen dagegen der Kontexttyp, die Bewegungsrichtung und die Bewegungsform dar (s. Tab. 4.4). Innerhalb eines Aufgabensatzes variieren die zur Lösung anzuwendenden Lösungsansätze (Energie-, Kraft- oder Bewegungsansatz). Dabei werden keine Größen angegeben oder erfragt, die bereits einen speziellen Lösungsansatz nahelegen (z. B. die Frage nach einer potentiellen Energie suggeriert die Nutzung eines Energieansatzes). Zur Reduktion der Aufgabenzahl werden einzelne mögliche Ausprägungen / Lösungsansätze nicht betrachtet, z. B. der Impulsansatz oder Bewegungen in vollständig horizontaler Richtung.

Im zweiten Erhebungsschritt kommt durch die Variation von Tiefenstrukturmerkmalen innerhalb eines Aufgabensatzes und die Variation einzelner Oberflächenmerkmale über Aufgabensätze hinweg die Variablenkontrollstrategie zum Tragen. Hierfür ist bedeutsam, dass für die Konstruktion der Aufgabensätze alle Variablen bzw. Merkmale der Rechenaufgaben erkannt worden sind, die für die Sortierung durch die Studierenden bedeutsam sind. Um Hinweise auf im Voraus nicht erkannte relevante Merkmale ableiten zu können, wurden zu jeder Komposition an variierten Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen mehrere Rechenaufgaben erstellt. Ein im Voraus fälschlicherweise nicht als relevant eingeschätztes Merkmal würde im Idealfall dazu führen, dass nach Theorie der

Tabelle 4.4

Variation von Merkmalen der eingesetzten Rechenaufgaben über die Aufgabensätze hinweg

	Aufgabensatz				
	1	2	3	4	5
<i>Anzahl Rechenaufgaben:</i>	6	4	9	6	6
Kontexttyp					
„Rutsch“	x	x			
„Flug“			x	x	x
Bewegungsrichtung					
vertikal			x		
horizontal und vertikal	x	x		x	x
Bewegungsform					
konstante Geschwindigkeit		x			
beschleunigte Bewegung	x		x	x	x
Anzahl notwendiger Lösungsansätze					
1	x	x	x	x	
2					x

Arbeit in Oberflächen- und Tiefenstruktur identische Rechenaufgaben unterschiedlich erfolgreich zu Lösungsansätzen zugeordnet werden. So wurden für Aufgabensatz 1 sechs Rechenaufgaben in einem Wurf- bzw. Flug-Kontext erstellt, in denen eine beschleunigte Bewegung in horizontaler sowie vertikaler (=schräger) Bewegungsrichtung beschrieben ist und die mit der Anwendung eines Lösungsansatzes gelöst werden können. Dabei sind zwei der Rechenaufgaben mit einem Energie-, zwei mit einem Kraft- und weitere zwei Rechenaufgaben mit einem Bewegungsansatz am effizientesten lösbar. Innerhalb jedes Aufgabensatzes gibt es gleich viele Rechenaufgaben, die mit demselben Lösungsansatz am effizientesten gelöst werden können.

Die Rechenaufgaben werden in identischer Weise präsentiert. Der grundsätzliche Aufbau der Rechenaufgaben besteht zunächst aus einer deutlich sichtbaren Nummer in der linken oberen Ecke, damit in der Befragung nach der Sortierung der Rechenaufgaben eindeutige Bezüge zu einzelnen Rechenaufgaben hergestellt werden können. Alle Rechenaufgaben bestehen ansonsten aus einem Aufgabentext, einer Fragestellung und zu beachtenden Randbedingungen mit bspw. zu vernachlässigenden Größen, um die Aufgaben möglichst eindeutig und lösbar zu gestalten (vgl. Abb. 4.10). Am unteren Rand ist zudem noch Platz für mögliche Ergänzungen zur Spezifikation von Begriffen aus dem Aufgabentext (z. B. „nicht gebogen“ als Spezifikation zu „ebene Rampe“), um die Verständlichkeit der knapp gehaltenen Rechenaufgabentexte zu erhöhen. Grundsätzlich sind den Rechenaufgaben keine Skizzen angehängt, da hierfür bereits vorab die Aufgabensituation in gewissem Maße vereinfacht und strukturiert werden würde (vgl. z. B. Modellierungskreislauf nach Blum & Leiß, 2005) und dadurch der Fokus der Studierenden bereits auf spezielle lösungsansatzrelevante Merkmale der Rechenaufgaben gelenkt werden könnte. Zudem werden Rechenaufgaben bspw. in Lehrbüchern ebenfalls ohne Skizzen dargestellt (z. B. Giancoli, 2010; Tipler & Mosca, 2019). Der Verzicht auf die Darstellung von Skizzen entspricht somit auch einer gebräuchlichen Gestaltung von Rechenaufgaben.

Abbildung 4.10

Eingesetzte Rechenaufgabe aus Aufgabensatz 3

- 1** Lena fährt mit ihren Inlineskates auf eine ebene* Rampe zu.

Wie hoch ist die Rampe, wenn Lena auf ihr konstant mit $1,7 \text{ m/s}^2$ abgebremst wird und die befahrbare Rampenfläche 2,5 m lang ist?

Zu vernachlässigen:
 - Reibungseffekte
 - Ausdehnung von Lena und den Inlineskates
* nicht gebogen

Befragung zur Sortierung der Rechenaufgaben. Nach dem Sortieren von Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz werden die Studierenden u. a. dazu befragt, wie schwer oder leicht ihnen das Sortieren der Rechenaufgaben gefallen ist. Auf diese Weise kann in der Auswertung der Daten untersucht werden, inwiefern die Studierenden das Zuordnen von Rechenaufgaben verschiedener Aufgabensätze insgesamt unterschiedlich schwierig empfunden haben (FF 3.1). Zur Beantwortung der Frage im Fragebogen können die Studierenden auf einer sechsstufigen, symmetrischen Likert-Skala eine Ausprägung von „sehr leicht“ bis „sehr schwer“ wählen. Um einen Einblick in die Schwierigkeiten der Studierenden beim Sortieren der Rechenaufgaben zu erhalten (FF 3.1), werden die Studierenden im Anschluss dazu befragt, welche Rechenaufgaben ihnen leichter oder schwerer gefallen sind zu Lösungsansätzen zuzuordnen und bei welchen Aufgaben/Zuordnungen sie sich unsicher sind. Zur Beantwortung der Frage können die Studierenden in drei Felder „Eher leicht bis sehr leicht:“, „Eher schwer bis sehr schwer:“ und „Unsicher:“ die Nummern der Rechenaufgaben eintragen. Abschließend haben die Studierenden die Möglichkeit, in einem freien Text zu beschreiben, wieso ihnen die Zuordnung bei genannten Rechenaufgaben schwer bis sehr schwer gefallen ist. Durch die Auswertung der freien Texte kann nicht nur der Einblick in potentielle Schwierigkeiten der Studierenden erweitert werden (FF 3.1), es können ggf. auch Hinweise auf mögliche Vorstellungen der Studierenden zum Identifizieren von Lösungsansätzen abgeleitet werden (FF 4.1).

Grundlegende Gestaltung des Fragebogens. Der für den zweiten Erhebungsschritt eingesetzte Fragebogen besteht aus mehreren Seiten zur konkreten Sortierung von Rechenaufgaben. Jede dieser Seiten ist der Sortierung eines anderen Aufgabensatzes gewidmet. Die Seiten beginnen jeweils mit der Erläuterung der in dieser Arbeit betrachteten Lösungsansätze (Energie-, Kraft- und Bewegungsansatz). Im Anschluss werden die Studierenden zum Sortieren von Rechenaufgaben des entsprechenden Aufgabensatzes nach diesen Lösungsansätzen aufgefordert. Hierbei wird die oberflächliche Gemeinsamkeit der Rechenaufgaben in diesem Aufgabensatz hervorgehoben und beschrieben. So soll die Aufmerksamkeit auf die oberflächliche Ähnlichkeit der Rechenaufgaben gelenkt und der Suche nach oberflächlichen Gemeinsamkeiten vorgebeugt werden. Des Weiteren werden die Studierenden darauf hingewiesen, dass mehrere Zuordnungen richtig sein können und die Zuordnung von Aufgaben ausgelassen werden kann, wenn kein Lösungsansatz identifiziert werden kann. Hierdurch soll verhindert werden, dass sich Studierende zu lange an einem Aufgabensatz aufhalten und aufgrund einer zu langen Bearbeitungszeit oder negativen emotionalen Einflüssen das Arbeiten am Fragebogen abbrechen. Nach diesen Hinweisen werden die Rechenaufgaben eines Aufgabensatzes präsentiert, die jeweils mithilfe von drei Checkboxen zum Energie-, Kraft- oder Bewegungsansatz zugeordnet werden können. Je Rechenaufgabe können auch mehrere Lösungsansätze ausgewählt werden. Unter dem Bereich zur Zuordnung der Rechenaufgaben werden den Studierenden die im Abschnitt Befragung zur Sortierung der Rechenaufgaben beschriebenen Fragen mit einer Dropdownliste für die Likertskala oder einem Freitextfeld eingeblendet. Der Aufbau einer Fragebogenseite ist beispielhaft in Abbildung 4.11 dargestellt.

Abbildung 4.11

Beispielhafte Darstellung des Aufbaus einer Fragebogen- und Rechenaufgabenseite zur Gruppierung von Rechenaufgaben

Fragen bzgl. der Zuordnung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen

Drei physikalische Ansätze, die beim Lösen von Rechenaufgaben der Mechanik häufig zum Einsatz kommen, sind:

Bewegungsansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Lösungen von **Bewegungsgleichungen** (z. B. s(t)) genutzt.

Energieansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu **Umwandlungen von Energien** einer Energieform in andere oder Überlegungen zum **Verrichten von Arbeit** genutzt.

Kraftansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zur **Überlagerung von Kräften** zu einer resultierenden Kraft bzw. zu **assozierten Beschleunigungen** genutzt.

Wir interessieren uns unter anderem für Ihre individuellen Einschätzungen dazu, bei welchen konkreten Aufgaben zu Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit entlang von Hängen Sie Lösungsansätze mehr oder weniger leicht erkennen können. **Bitte sichten Sie dazu zunächst die Rechenaufgaben und ordnen Sie diese den oben beschriebenen Ansätzen zu.**

- Wählen Sie dazu neben den Rechenaufgaben den zugehörigen Ansatz aus.
- Verschiedene Lösungen können richtig sein!
- Beißen Sie sich nicht an einzelnen Aufgaben fest! Lassen Sie Aufgaben, die Sie gerade nicht gut zuordnen können, einfach aus.

	Bewegungsansatz	Energieansatz	Kraftansatz
1 Matthis rollt mit seinen Inlineskates einen steilen, ebenen* Hang herab. Er bremst dabei leicht, sodass er mit einer konstanten Geschwindigkeit fährt. Hätte Matthis die Bremse seiner Inlineskates nicht genutzt, hätte er eine Beschleunigung von $3 \frac{m}{s^2}$ erfahren. Welchen Winkel schließt der Hang mit der Horizontalen ein? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Effekte durch die Luft – Ausdehnung von Matthis und den Inlineskates * nicht gebogen oder hügelig	☐	☐	☐

...

Wie schwer oder leicht ist Ihnen das Sortieren dieser Rechenaufgaben insgesamt gefallen?

Bitte auswählen... ▼

Welche Aufgaben sind Ihnen leichter oder schwerer gefallen zuzuordnen? Bei welchen Aufgaben waren Sie sich unsicher? Notieren Sie die Nummern der Rechenaufgaben entsprechend Ihrer Einschätzung. Sie müssen nicht alle Rechenaufgaben zuordnen.

Eher leicht bis sehr leicht:

Eher schwer bis sehr schwer:

Unsicher:

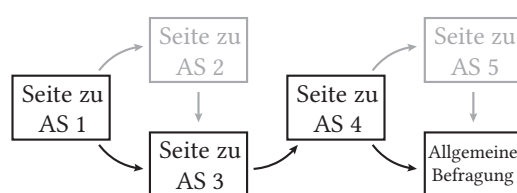
Falls Sie einige Aufgaben als eher schwer bis sehr schwer eingeschätzt haben: Versuchen Sie zu beschreiben, wieso Ihnen die Zuordnung bei diesen Aufgaben schwer bis sehr schwer gefallen ist.

Den Studierenden werden drei bis fünf Seiten / Aufgabensätze zur konkreten Sortierung präsentiert. Aufgabensatz 2 bzw. die zweite Seite des Fragebogens wird nur Studierenden eingeblendet, die die Sortierung der Rechenaufgaben in Aufgabensatz 1 als „eher schwer“ bis „sehr schwer“ angegeben haben. Aufgabensatz 2 zeigte sich in Pilotstudien als eher leicht zu Lösungsansätzen zuzuordnender Aufgabensatz (s. Kapitel 4.3), weswegen Aufgabensatz 2 daher zu Übungszwecken präsentiert wird. Die Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 5 zeigten sich in Pilotstudien dagegen als schwieriger zu Lösungsansätzen zuzuordnen (s. Kapitel 4.3). Daher wird die Fragebogenseite zu Aufgabensatz 5 nur Studierenden präsentiert, die Aufgabensatz 4 als „eher schwer“ bis „sehr leicht“ zuzuordnen einschätzen.

Abschließend werden die Studierenden allgemein zu ihren Zuordnungen im Rahmen des Fragebogens befragt. Die Fragen thematisierten u. a., inwiefern es etwas gibt, was ihnen beim Gruppieren bzw. Einsortieren der Rechenaufgaben grundsätzlich Schwierigkeiten bereitet hat (FF 3.1). Zudem werden die Studierenden gefragt, ob und inwiefern sich ihr Vorgehen beim Sortieren der Rechenaufgaben mit der Zeit geändert hat. Die Antworten der Studierenden auf diese Frage können Hinweise liefern, inwiefern das Sortieren von Rechenaufgaben die Studierenden bereits unterstützt, Lösungsansätze erfolgreicher oder effizienter identifizieren zu können (FF 5). Zuletzt werden die Studierenden aufgefordert eine Regel für die Identifikation eines Lösungsansatzes zu formulieren („Stellen Sie sich vor, ein*e Student*in aus dem ersten Semester fragt Sie, woran man erkennen kann, dass eine Aufgabe einen bestimmten Ansatz erfordert. Was könnten Sie diesem*r Student*in sagen?“). Aus Antworten der Studierenden können ggf. Hinweise über mögliche angemessene oder unangemessene Vorstellungen der Studierenden über Lösungsansätze bzw. das Identifizieren von Lösungsansätzen abgeleitet werden. Für die Beantwortung jeder dieser Fragen steht ein Freitextfeld zur Verfügung. Der Aufbau des Fragebogens zum zweiten Erhebungsschritt ist in Abbildung 4.12 dargestellt.

Abbildung 4.12

Schematische Darstellung des Fragebogaufbaus



Anmerkung. Optionale Seiten sind in grau dargestellt.

4.1.3 Stichprobenbeschreibung

Im Rahmen der Studie im quantitativen Zugang haben $N = 30$ Studierende die Fragebogenbearbeitung zu beiden Erhebungsschritten vollständig abgeschlossen. Die Geschlechterverteilung liegt zu Gunsten des männlichen Geschlechts (vgl. Tab. 4.5(a)). Auch im Vergleich zu dokumentierten Geschlechterverteilungen bei Neueinschreibungen im Physikstudium (Weibliche Personen in B.Sc. Physik: 35 %, M.Sc. Physik: 22 %; vgl. Düchs & Mecke, 2020) ist der Anteil weiblicher Teilnehmerinnen in dieser Studie geringer. Die Teilnehmer*innen waren zum Erhebungszeitpunkt in unterschiedlichen Fachsemestern eines Physik im Schwerpunkt thematisierenden Studiengangs an der Justus-Liebig-Universität Gießen eingeschrieben (vgl. Tab. 4.5(b)) und haben bereits eine Vorlesung zur Experimentalphysik besucht, deren Inhalt die Mechanik und Elemente der Wärmelehre waren. Die Studierenden waren dabei in den B.Sc. oder M.Sc.-Studiengängen Physik, Physik und Technologie für Raumfahrtanwendungen (PTRA) oder Materialwissenschaften (MaWi) eingeschrieben. Eine genaue Aufschlüsselung der Studienteilnehmer*innen bzgl. ihrer Studiengänge kann Tabelle 4.6 entnommen werden.

Nach unternommenen Werbemaßnahmen über ein Rundschreiben an alle Physik-, MaWi- und PTRA-Studierende konnten Teilnahmezahlen zwischen 2 % und 10 % der eingeschriebenen Studierenden im entsprechenden Studiengang erreicht werden (Physik B.Sc.: 9 %; Physik M.Sc.: 10 %; PTRA B.Sc.: 7 %; MaWi B.Sc.: 2 %; MaWi M.Sc.: 5 %). Der prozentuale Anteil der Studiengänge in der Erhebungsgruppe spiegelt in etwa den Anteil der Studiengänge bzgl. der eingeschriebenen Studierenden in diesen Studiengängen wider. Überrepräsentiert wird lediglich der Studiengang Physik B.Sc. (Δ : 7 %) und unterrepräsentiert der Studiengang Materialwissenschaften B.Sc. (Δ : 10 %) im Vergleich zu denen mit der Studierendenstatistik erfassten Studierendengruppe (vgl. Tabelle 4.6).

Tabelle 4.5

*Verteilung der Studienteilnehmer*innen bzgl. personenbezogener Daten*

(a) Verteilung bzgl. des Geschlechts

Geschlecht	Anzahl (Anteil)
Weiblich	3 (10 %)
Männlich	24 (80 %)
Divers	2 (7 %)
Keine Angabe	1 (3 %)
Summe	30 (100 %)

(b) Verteilung bzgl. des Fachsemesters

Fachsemester	Anzahl (Anteil)
2	4 (13 %)
4	9 (30 %)
6	8 (27 %)
8	4 (13 %)
10	3 (10 %)
12	1 (3 %)
Keine Angabe	1 (3 %)
Summe	30 (100 %)

Tabelle 4.6*Gegenüberstellung der Teilnahmezahlen mit Einschreibungszahlen in Bezug zum Studiengang*

Studiengang	Einschreibungen ¹	Teilnehmer*innen
	Anzahl (Anteil)	Anzahl (Anteil)
Physik B.Sc.	126 (30 %)	11 (37 %)
Physik M.Sc.	73 (18 %)	7 (23 %)
PTRA B.Sc.	122 (29 %)	9 (30 %)
PTRA M.Sc.	0 (0 %)	0 (0 %)
MaWi B.Sc.	53 (13 %)	1 (3 %)
MaWi M.Sc.	41 (10 %)	2 (7 %)
Summe	415 (100 %)	17 (100%)

¹ Bezeichnet die zum 15.05.2020 eingeschriebenen und durch die Studierendenstatistik (2020c) erfassten Studierenden. Studierende im Doppelstudium sowie beurlaubte Studierende wurden nicht mitgezählt.

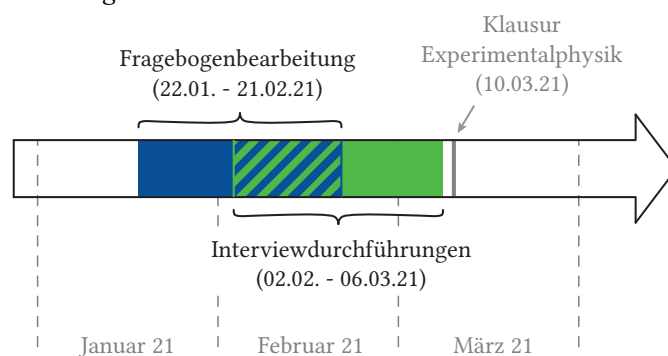
4.2 Studie zum qualitativen Zugang

Die Konzeption und Durchführung der Studie im qualitativen Zugang weist inhaltlich starke Parallelen zur Studie im quantitativen Zugangs auf. Die Studien zu beiden Zugängen zeichnen sich durch die Vollziehung zweier Erhebungsschritte aus. Im ersten Erhebungsschritt werden mit einem Fragebogen Personenmerkmale erhoben. Im zweiten Erhebungsschritt werden die Studierenden zur Sortierung bzw. Gruppierung von Rechenaufgaben nach Lösungsansätzen bzw. nach Ähnlichkeiten im Lösungsvorgehen im physikalischen Sinne aufgefordert. Zur konkreten Sortierung / Gruppierung werden die Studierenden im Anschluss befragt. Ein großer Unterschied der Designs der beiden Zugänge liegt in der Ausführung des zweiten Erhebungsschrittes: Während im quantitativen Zugang ein Fragebogen zur Erfassung der Sortierung von Rechenaufgaben und zugehörigen Einschätzungen eingesetzt wird, wird im Rahmen des qualitativen Zugangs ein leitfadengestütztes Einzelinterview durchgeführt (vgl. Abb. 4.13). Die Durchführung der Interviews erfolgt daher bei gleichbleibender Interviewerin zwangsläufig zeitversetzt zur Bearbeitung des Fragebogens. Im Rahmen der Studie im qualitativen Zugang lagen zwei bis fünf Wochen zwischen der Ausführung beider Erhebungsschritte (vgl. Abb. 4.14). Ein weiterer Unterschied zwischen den Studien der beiden Zugänge ist, dass die Studierenden im Interview Einhilfen / Prompts erhalten, wenn sie bspw. Schwierigkeiten beim Gruppieren äußern. Eine Gemeinsamkeit der Designs beider Zugänge liegt darin, dass die Studierenden abschließend in beiden Zugängen allgemein zur Sortierung bzw. Gruppierung von Rechenaufgaben befragt werden. Im Folgenden werden die eingesetzten Erhebungsinstrumente im qualitativen Zugang genauer erläutert. In Kapitel 4.2.1 wird der eingesetzte Fragebogen zur Erfassung von Personenmerkmalen beschrieben und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zum Fragebogen aus dem ersten Erhebungsschritt des quantitativen Zugangs werden hervorgehoben. In Kapitel 4.2.2 werden die Gestaltung der Interviews, die eingesetzte Software, Einhilfen / Prompts und Befragungselemente vorgestellt. Die Stichprobe der Studie zum qualitativen Zugang wird in Kapitel 4.2.3 beschrieben.

Abbildung 4.13

Schematische Gegenüberstellung der Studiendesigns des quantitativen und qualitativen Zugangs

	Quantitativer Zugang	Qualitativer Zugang
Erhebungsschritt 1	Fragebogen	Fragebogen
Erhebungsschritt 2	Fragebogen	Leitfadengestütztes Interview

Abbildung 4.14*Zeitliche Abfolge der Erhebungsschritte*

4.2.1 Fragebogen zur Erfassung von Personenmerkmalen im qualitativen Zugang

Der Fragebogen im ersten Erhebungsschritt des qualitativen Zugangs weist eine ähnliche Struktur wie der Fragebogen im ersten Erhebungsschritt des quantitativen Zugangs auf:

1. Motivation zur Bearbeitung des Fragebogens; Einweisung in die Bearbeitung des Fragebogens
2. Generierung eines individuellen Codes; Abfrage personenbezogener Daten
3. Abfrage der Selbsteinschätzung zu Fähigkeiten rund um das Bearbeiten von Rechenaufgaben
4. Testung des Mechanikverständnisses
5. Testung von Fähigkeiten zur Durchführung mathematischer Operationen
6. Optionale Anmeldung zum Gespräch (Interview); Anzeige einer Bonuspunkte-ID

Das 1. und das 3. – 5. *Element* sind identisch zum Fragebogen im ersten Erhebungsschritt des qualitativen Zugangs. Details können Kapitel 4.1.1 entnommen werden.

Das 2. *Element* unterscheidet sich im qualitativen Zugang dahingehend, dass zusätzlich zu den personenbezogenen Daten (Geschlecht, Studiengang, Studienfach, Fachsemester) ein Code erhoben wird, den die Studierenden generieren. Dieser Code besteht aus Fragmenten personenbezogener Daten (z. B. ersten beiden Buchstaben des Geburtsortes). Der Code dient der Verbindung der Daten aus dem ersten und zweiten Erhebungsschritt. So können Hinweise bzgl. möglicher Zusammenhänge zwischen Personenmerkmalen und Aspekten von Prozessen der Identifikation von Lösungsansätzen im zweiten Erhebungsschritt abgeleitet werden. Zudem können Studienteilnehmer*innen ihren Code auch zu späteren Zeitpunkten leicht erneut generieren und bspw. Änderungen bzgl. der Einverständniserklärung geltend machen.

Im Rahmen des 6. *Elements*, also im Anschluss ab die Bearbeitung der Befragungs- und Testitems, können sich die Studierenden für ein individuelles Gespräch durch die Angabe einer E-Mail-Adresse¹ anmelden, das bei Zustimmung das in Erhebungsschritt 2 beschriebene Interview (s. Kapitel 4.2.2) enthält. Das individuelle Gespräch kann neben dem Interview auch ein fachinhaltliches Tutorium

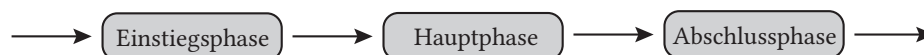
¹Die von den Studierenden im Fragebogen angegebene E-Mail wurde zur Pseudonymisierung vom Fragebogendatensatz getrennt und nach Durchführung der individuellen Gespräche gelöscht.

enthalten. Hier können fachinhaltliche Aspekte des Interviews aufgegriffen sowie weitere fachinhaltliche Schwierigkeiten der Studierenden besprochen und geklärt werden. Abschließend wird eine automatisch generierte Nummer angezeigt, durch deren Angabe in den Rechenübungen die Studierenden von ihren Übungsleiter*innen Bonuspunkte für das Erreichen der Klausurzulassung zugeschrieben bekommen können. Der Fragebogen wurde online mithilfe des Umfragetools LimeSurvey implementiert. Nach dem Werben für die Teilnahme an der Studie im Rahmen einer Vorlesungsveranstaltung zur Experimentalphysik für Erstsemesterstudierende erhielten die über die zur Vorlesung gehörende Gruppe in der Arbeitsumgebung StudIP angemeldeten Studierenden eine kurze Nachricht mit dem Umfragelink. Über diesen konnten sie den Fragebogen aufrufen und in einem Zeitfenster von 30 Tagen (22.01. - 21.02.2021) ohne Zeitlimit während der Bearbeitung mit Option der Zwischenspeicherung ausfüllen. Die Bearbeitungsdauer wurde durch Pilotstudien (s. Kapitel 4.3) auf etwa 30 Minuten geschätzt. Für die sichtbar aufrichtige und vollständige Bearbeitung, wobei die Auslassung von einzelnen Fragen hierbei gestattet war, wurden den Studierenden Bonuspunkte im Rahmen des in der Veranstaltung etablierten Übungspunktesystems zugesichert. Auf diese Weise wurde den Studierenden das Erreichen der Mindestpunktzahl für die Klausurzulassung erleichtert. Zudem wurde den Studierenden ein individuelles Gespräch für die Vorbereitung auf die Klausur (10.03.2021, 17 Tage nach Ende des Fragebogenbearbeitungszeitraums) zugesagt, in dem Fragen fachinhaltlicher Natur als auch Fragen zum Bearbeiten von Rechenaufgaben besprochen werden konnten. Hierzu konnten sich die Studierenden am Ende des Fragebogens auf freiwilliger Basis anmelden. Im Rahmen dieses Gesprächs wurde das in Kapitel 4.2.2 beschriebene Interview durchgeführt, sofern die Studierenden einverstanden waren.

4.2.2 Interviews zur Erfassung einiger Aspekte von Prozessen des Identifizierens von Lösungsansätzen im qualitativen Zugang

Zur Untersuchung der Forschungsfragen bzgl. Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen, aktivierten Vorstellungen über Lösungsansätze bzw. das Lösen von Rechenaufgaben, dem Erfolg beim Finden von Lösungsansätzen sowie der Nützlichkeit von Einhilfen in Prozessen der Identifikation von Lösungsansätzen (hier: bearbeitungs(prozess)bezogene Aspekte) wurden mit Studierenden leitfadengestützte Interviews durchgeführt. Die Durchführung von Interviews hat den Vorteil, dass situativ auf Gruppierungen oder Äußerungen der Studierenden reagiert werden kann. So kann bspw. die Bedeutung von Aussagen der Studierenden erfragt werden. Der Einsatz eines Leitfadens trägt zur Erhöhung der Vergleichbarkeit bei und ermöglicht gleichzeitig eine besonders große Flexibilität bzgl. des Stellens von Nachfragen, bspw. zu geäußerten Schwierigkeiten oder Vorstellungen (Döring & Bortz, 2016b). Der eingesetzte Interviewleitfaden kann in Anhang C eingesehen werden. Im Folgenden werden der Ablauf der Interviews, die zur Durchführung der Interviews genutzte Software, eingesetzte Einhilfen / Prompts und die Befragungselemente vorgestellt.

Gestaltung der Interviews. Die Interviews bestehen aus einer Einstiegs-, einer Haupt- und einer Abschlussphase (vgl. Abb. 4.15). In der Einstiegsphase werden allgemeine und organisatorische Aspekte thematisiert, in der Hauptphase erfolgt die Gruppierung von Rechenaufgaben sowie die

Abbildung 4.15*Darstellung der Interviewphasen im zeitlichen Verlauf*

Befragung hierzu und in der Abschlussphase werden Fragen zu allgemeinen Aspekten der Gruppierung von Rechenaufgaben und dem Identifizieren von Lösungsansätzen besprochen. Diese Phasen werden in den nächsten Abschnitten detaillierter erläutert.

Die *Einstiegsphase der Interviews* beginnt mit einer Reihe allgemeiner und organisatorischer Aspekte. Hierzu gehören u. a. das Danken für die Teilnahme, das Vorstellen der Interviewerin und des Projekts, das Klären der Anrede und ein Warm-Up. Die Studierenden kannten die Interviewerin nur durch eine kurze Ansprache im Rahmen einer Vorlesung, in der auf das Projekt und die Erhebung aufmerksam gemacht wurde. Durch das Vorstellen sollen einerseits die mit der Erhebung verfolgten Ziele einsichtiger werden und andererseits eine persönlichere Gesprächsatmosphäre hergestellt werden. Hierdurch soll die Wahrscheinlichkeit dafür erhöht werden, dass die Studierenden sich bzgl. ihrer Vorstellungen und Schwierigkeiten eher öffnen. Als Warm-Up werden die Studierenden nach ihrem Erleben bzgl. der Rechenübungen im digitalen Semester gefragt, um das Interview thematisch einzustimmen. Ein weiterer Aspekt des Intervieweinstiegs ist die Beschreibung des Gesprächsinhalts, welches neben dem eigentlichen Interview auch die Besprechung der fachinhaltlichen Items aus dem Online-Fragebogen und individueller Fragen der Studierenden beinhalten kann. Das Interview wird im Rahmen der Erhebung nicht als solches sondern als „Erarbeitung von Vorgehensweisen beim Lösen von Rechenaufgaben“ bezeichnet, um keine Sorgen bzgl. der neuen Gesprächssituation als eventuelle Testsituation bei den Studierenden hervorzurufen. Des Weiteren wird der zeitliche Rahmen des Gesprächs mit den Studierenden abgestimmt, sodass die Dauer und der Ablauf des Interviews daran angepasst werden kann. Anschließend wird das Interview eingeleitet, indem die Studierenden darauf hingewiesen werden, dass das Identifizieren von Lösungsideen oft Schwierigkeiten bereitet und häufig viel Erfahrung erfordert. Dies soll implizit befördern, dass die Studierenden Schwierigkeiten beim Lösen von Rechenaufgaben und dem Identifizieren von Lösungsansätzen offen mitteilen und diese nicht versuchen zu verschleiern. Danach wird den Studierenden das Vorgehen während des Interviews erläutert. Dabei werden die Studierenden bereits darauf hingewiesen, dass die dabei hereingegebenen Rechenaufgaben nicht gelöst werden sollen (vgl. Binder et al., 2019). Die Besprechung von einzelnen Rechenaufgaben wird auf das Ende des Interviews verschoben, um die Studierenden so wenig wie möglich bzgl. ihres Verständnisses über Lösungsansätze sowie deren Anwendung zu beeinflussen. Hiernach wird auf die Nutzung des Leitfadens mit dem Zweck der Orientierung im Interview hingewiesen. Zudem wird das Einverständnis zur Aufzeichnung des Interviews erfragt. Dabei haben die Studierenden die Möglichkeit, der Aufzeichnung zunächst zuzustimmen und im Anschluss an das Interview die Einverständniserklärung auszufüllen, sodass die Studierenden die Bedeutung der dort gelisteten Punkte besser abschätzen können. Auf das Angebot der anschließenden sofortigen Löschung der Aufzeichnungen wird hingewiesen, es wurde im Rahmen dieser Arbeit jedoch nie in Anspruch genommen. Vor dem inhaltlichen Start des Interviews haben die Studierenden die Möglichkeit Rückfragen zu äußern.

Ein Kernelement der *Hauptphase der Interviews* ist die Gruppierung von Rechenaufgaben. Das Gruppieren von (Rechen-)Aufgaben wurde bereits in einigen Studien zum Problemlösen in Physik (z. B. Chi, Feltovich & Glaser, 1981; Binder et al., 2019; Friege, 2001; Friege & Lind, 2004; Wolf, Dougherty & Kortemeyer, 2012) und auch in anderen Fachdisziplinen erprobt (z. B. Binder et al., 2019; Bissonnette et al., 2017; Graulich & Bhattacharyya, 2017; Irby et al., 2016). Es gilt als praktikables Verfahren zur Erfassung von Problemlöseprozessen (z. B. Friege & Lind, 2004). Die in den Interviews eingesetzten Rechenaufgaben gleichen inhaltlich den Rechenaufgaben, die auch im zweiten Erhebungsschritt des quantitativen Zugangs eingesetzt werden (s. Kapitel 4.1.2, Abschnitt Rechenaufgaben). Unterschiede gibt es nur in der Darstellung (vgl. Abb. 4.16). Auch die Aufteilung der Rechenaufgaben auf die Aufgabensätze 1 bis 5 entspricht der Aufteilung im quantitativen Zugang. Ein Aufgabensatz besteht somit aus Rechenaufgaben mit gleichen Oberflächen-, aber verschiedenen Tiefenstrukturmerkmalen.

Alle Interviews in der Hauptphase laufen nach demselben Grundschemata ab. Hierdurch können die Interviews untereinander verglichen werden. Die Studierenden erhalten zunächst den Auftrag, Rechenaufgaben bzgl. des Lösungsvorgehens nach Ähnlichkeiten im physikalischen Sinne zu gruppieren (vgl. Friege, 2001) und die dabei entstehenden Gruppen zu benennen (vgl. Binder et al., 2019). Bei der Erteilung des Gruppierungsauftrages wird bewusst auf die Nennung des Begriffs „Ansatz“ verzichtet, um das Interview möglichst lange so offen wie möglich zu gestalten und den Ideen der Studierenden Raum geben zu können. Bevor die Studierenden die Rechenaufgaben dargeboten bekommen, werden sie darauf hingewiesen, dass es mehrere Möglichkeiten zur Gruppierung gibt, um Unsicherheiten zu verringern. Eine Kommentierung bzgl. der Angemessenheit der Gruppierung soll nämlich erst nach Abschluss des Interviews erfolgen, da diese Einfluss auf zukünftige Gruppierungen haben könnte. Um ein unverhältnismäßig langes Verweilen bei einzelnen Rechenaufgaben zu vermeiden sowie den möglichen negativen emotionalen Einfluss von Schwierigkeiten bei der Gruppierung zu reduzieren, werden die Studierenden dazu aufgefordert, Rechenaufgaben einfach bei Seite zu legen, die sie *gerade* nicht gut gruppieren können. Zudem werden die Studierenden daran erinnert, die Rechenaufgaben zum Gruppieren nicht zu lösen. Sie sollen lediglich überlegen, welches Lösungsvorgehen sie als erstes in Betracht ziehen würden. Hierdurch soll vermieden werden, dass

Abbildung 4.16

Darstellung der Rechenaufgaben im ...

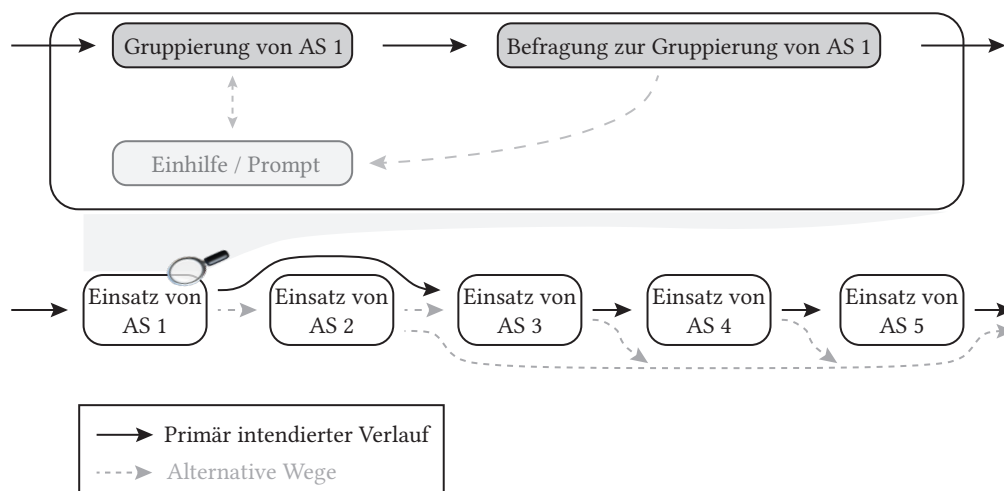
(a) ...quantitativen Zugang (Abb. 4.10)

- 1** Lena fährt mit ihren Inlineskates auf eine ebene* Rampe zu.
- Wie hoch ist die Rampe, wenn Lena auf ihr konstant mit $1,7 \text{ m/s}^2$ abgebremst wird und die befahrbare Rampenfläche 2,5 m lang ist?
- Zu vernachlässigen:
- Reibungseffekte
 - Ausdehnung von Lena und den Inlineskates
- * nicht gebogen

(b) ...qualitativen Zugang

- 1** Lena fährt mit ihren Inlineskates auf eine ebene* Rampe zu.
- Wie hoch ist die Rampe, wenn Lena auf ihr konstant mit $1,7 \text{ m/s}^2$ abgebremst wird und die befahrbare Rampenfläche 2,5 m lang ist?
- Zu vernachlässigen:
- Reibungseffekte
 - Ausdehnung von Lena und den Inlineskates
- * nicht gebogen

sich die Studierenden mit Lösungsabschnitten beschäftigen, die nicht Kern dieser Arbeit sind und möglicherweise zusätzliche Schwierigkeiten z. B. durch Rechenfehler verursachen. Die Studierenden dürfen während des gesamten Interviews jedoch Skizzen von den Aufgabensituationen anfertigen und so den ersten Lösungsschritt *Verstehen der Aufgabe* (s. Kapitel 2.3.3), der die Voraussetzung für das Identifizieren von Lösungsansätzen bildet, zum Lösen der Rechenaufgabe durchführen. Geht eine Aufgabensituation für die Studierenden nicht deutlich genug aus der Aufgabenstellung hervor, wird diese im Interview an einer Skizze erläutert. Hierbei wird darauf geachtet, dass in der Erläuterung nur Oberflächenmerkmale (z. B. Abwurfwinkel), aber keine Tiefenstrukturmerkmale (z. B. wirkende Kräfte) hervorgehoben werden, sollten sie von den Studierenden noch nicht selbst geäußert worden sein. Hierdurch sollen einerseits Unklarheiten durch die knappe Formulierung der Rechenaufgaben reduziert und andererseits eine Beeinflussung der Gruppierung nach Tiefenstrukturmerkmalen durch die interviewende Person möglichst vermieden werden. Mit der Hereingabe der Rechenaufgaben werden je nach zu gruppierendem Aufgabensatz die mit dem Aufgabensatz variierten Oberflächenmerkmale genannt, um einerseits implizit der Gruppierung mehrerer Aufgabensätze aus Sicht der Studierenden Sinn zu verleihen. Andererseits stellt dies zusammen mit der Aufforderung zur Gruppierung nach physikbezogenen Aspekten ein erster Hinweis zur Vermeidung von oberflächenmerkmalsorientierten Gruppierungen wie in Chi, Feltovich und Glaser (1981) dar. Im Anschluss an die Gruppierung der Rechenaufgaben zu je einem Aufgabensatz werden die Studierenden zu ihrer Gruppierung befragt (Details in Abschnitt *Befragung zur Gruppierung von Rechenaufgaben*). So sind die Rechenaufgaben, die Gründe für Gruppierungsentscheidungen sowie aufgetretene Schwierigkeiten noch relativ präsent. Zudem wird der Gedankenfluss hierdurch nicht unterbrochen oder bspw. durch Lautes Denken verlangsamt (Konrad, 2019). Äußern die Studierenden Begründungen bereits während der Gruppierungsphase simultan oder ex-post zu einzelnen Zuordnungen oder Gruppierungen, wird dies jedoch nicht unterbunden, um ebendiese Überlegungen festzuhalten, falls diese ansonsten im weiteren Interviewverlauf nicht mehr angesprochen worden wären. Sollten während der Gruppierung Schwierigkeiten auftreten oder sollte die Gruppierung nicht am Lösungsvorgehen orientiert sein, können Einhilfen / Prompts (Details in Abschnitt *Einhilfen / Prompts*) gegeben werden und die ggf. bereits bestehende Gruppierung kann überarbeitet werden. Sollte hiernach eine Umgruppierung vorgenommen werden, schließt sich hieran eine erneute Befragung zur Umgruppierung an. Dieser Ablauf ((Gruppierung $\leftrightarrow$ Einhilfe / Prompt) $\rightarrow$ Befragung zur Gruppierung) wird mit zwei bis fünf verschiedenen Rechenaufgabensätzen wiederholt. Die Aufgabensätze werden in einer festgelegten Reihenfolge eingesetzt. Dabei wird Aufgabensatz 2 auf Grundlage von Erkenntnissen aus Pilotstudien (s. Kapitel 4.3) nur eingesetzt, wenn die Gruppierung von Aufgabensatz 1 nicht (erfolgreich) nach Tiefenstrukturmerkmalen erfolgt ist, da sich die Zuordnung dieser Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen zuvor als vergleichsweise einfach erwies. Unter Ausklammerung des zweiten Aufgabensatzes, steigt das (erwartete) Schwierigkeitsniveau mit den Aufgabensätzen (Details in Kapitel 4.3 und 6.2.5), um die Studierenden nicht zu schnell zu überfordern. Nach dem Abschluss der Befragung zu jedem Aufgabensatz haben die Studierenden die Möglichkeit, Änderungen an der Gruppierung vorheriger Aufgabensätze vorzunehmen, falls neue Erkenntnisse (z. B. durch Einhilfen) Korrekturen notwendig machen würden. Eine Umgruppierung führt hier, wie nach einer Einhilfe / einem Prompt zur Befragung der Studierenden zu dieser Umgruppierung. Der Übergang von der

Abbildung 4.17*Darstellung des Interviewablaufs innerhalb der Hauptphase*

Gruppierung der Aufgabensätze und der daran anschließenden Befragung zur Abschlussphase der Interviews findet frühestens nach dem Bearbeiten von zwei Aufgabensätzen statt. In Abbildung 4.17 ist das Ablaufschema zusammenfassend dargestellt.

In der *Abschlussphase des Interviews* werden die Studierenden zu verallgemeinerten Aspekten zum Bearbeiten von Rechenaufgaben befragt (Details in Abschnitt Befragung zur Gruppierung von Rechenaufgaben). Auf diese Weise können die bearbeitungs(prozess)bezogenen Aspekte auch bzgl. möglicher Regelmäßigkeiten (z. B. zu Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen oder zu Identifizierungsmerkmalen in Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen) untersucht werden. Die Anzahl der in der Hauptphase gruppierten und besprochenen Aufgabensätze richtet sich dabei nach der Zeit, die jeweils für die Bearbeitung ((Um-)Gruppierung und Besprechung) eines Aufgabensatzes benötigt wird, nach dem Erschöpfungsgrad der Studierenden und nach der von den Studierenden mitgebrachten Zeit. Angekündigt wird den Studierenden eine Interviewdauer von etwa 90 Minuten (+30 Minuten individuelle Beratung im Anschluss), die sich aus der Evaluation von Erprobungen mit Doktorierenden und Studierenden nach Abwägung von inhaltlichem Ertrag in der Auswertung und eintretender Erschöpfung durch das Interview ergeben hat (s. Kapitel 4.3). Im Rahmen dieser Studie haben sich die Studierenden jedoch mehr Zeit genommen, sodass der Erschöpfungsgrad ausschlaggebender für die tatsächliche Interviewdauer war. Aus diesem Grund haben die Interviews zwischen 71 und 147 Minuten (im Mittel 97 Minuten, im Median 93 Minuten) in Anspruch genommen, was auch aus Tabelle 4.7 hervorgeht.

Tabelle 4.7

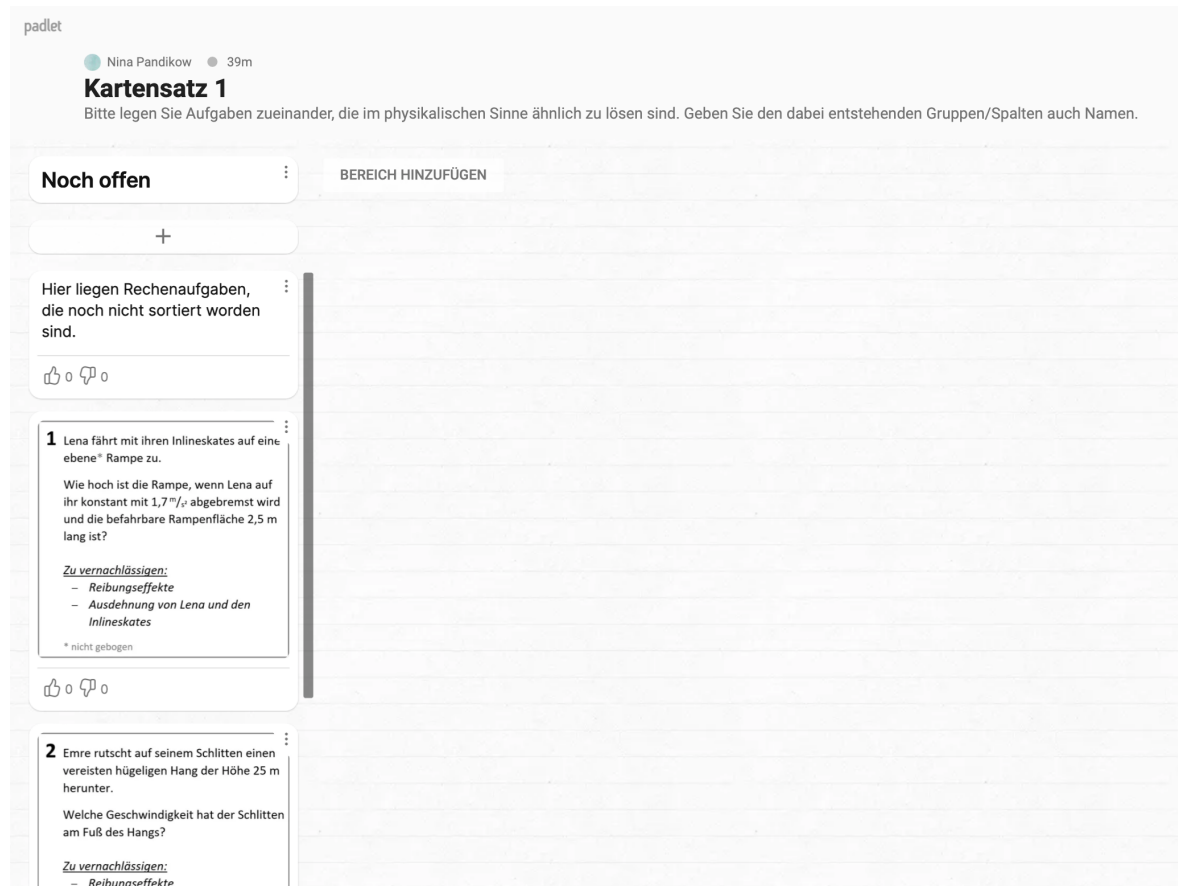
Dauer der Interviews, gemessen vom Beginn der ersten Interviewhandlung bis zum Ende der letzten Handlung zu den abschließenden Fragestellungen

Code	Interviewdauer
Ba28He	1h 11min (71 min)
Li04So	1h 12min (72 min)
Gi30Al	1h 17min (77 min)
Fr24La	1h 27min (87 min)
Do17Th	1h 32min (92 min)
Wi30Mo	1h 34min (94 min)
Li30Ka	1h 36min (96 min)
Gi30Ma	1h 52min (112 min)
Uf12Ly	2h 3min (122 min)
Gi13As	2h 27min (147 min)

Hinweise zur Softwarenutzung. Aufgrund der weltweiten Corona-Pandemie wurde die Erhebung vollständig online ausgeführt. Die Gruppierung der Rechenaufgaben erfolgte mit dem Tool *Padlet*, welches u. a. das Gruppieren von Bildern per Drag-and-Drop in beliebig erzeug- und benennbaren Spalten erlaubt. Änderungen werden dabei stetig synchronisiert und sind somit für die interviewte als auch die interviewende Person sichtbar. Für jeden Aufgabensatz wurde ein Padlet erstellt. Dabei sind in der Startkonfiguration jeweils alle Rechenaufgaben in einer einzigen Spalte mit dem Titel „Noch offen“ ganz links untereinander gereiht (vgl. Abb. 4.18). Das Hinzufügen weiterer Spalten findet erst durch die Studierenden oder durch Einhilfen (s. Abschnitt Einhilfen / Prompts) statt, um keine vermeintliche Festsetzung der Spaltenzahl zu bewirken. Die Kommunikation fand, abhängig von der Wahl der Studierenden, in Form einer Videokonferenz über *Microsoft Teams* oder *Cisco Webex* statt, um ein natürlicheres und persönlicheres Setting für die Erhebung zu generieren. Die Interviews wurden per Bildschirmaufzeichnung durch *Camtasia* videografiert. Visuell wurden aus Gründen der Pseudonymisierung nur die Änderungen in den Padlets aufgezeichnet, nicht aber freigeschaltete Kamerabilder aus den Videokonferenzen. Die Aufzeichnung der Änderungen in den Padlets können zusammen mit der Audioaufnahme Umgruppierungen in der Auswertung sichtbar machen und erlauben Rückschlüsse bzgl. Gründen für die Umgruppierung.

Abbildung 4.18

Startkonfiguration der Padlets ab Beispiel des Padlets zu Aufgabensatz 1 (hier Kartensatz 1 genannt).



Befragung zur Gruppierung von Rechenaufgaben. Im Rahmen des Interviews werden die Studierenden zu ihren Gruppierungen befragt. Im Folgenden werden die Fragestellungen genauer vorgestellt. Hierbei wird zunächst auf Fragestellungen in der Hauptphase des Interviews nach dem Gruppieren von Rechenaufgaben und nach der Hereingabe von Einhilfen / Prompts eingegangen. Im Anschluss werden die Fragen aus der Abschlussphase des Interviews erläutert. Die Fragestellungen können, eingebettet in das gesamte Interview, auch im Interviewleitfaden (s. Anhang C) mit möglichen alternativen Formulierungen oder weiterführenden Fragen gefunden werden. Es ist zu beachten, dass die Formulierungen der Fragen Vorschläge sind. Im Interview sind leichte Abweichungen im Wortlaut erlaubt. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Fragestellungen innerhalb eines Interviewabschnittes (z. B. zur Befragung nach der Gruppierung von Aufgabensatz 1) zur besseren Anpassung an den Denkfluss der Proband*innen in ihrer Reihenfolge je nach Interviewverlauf eingesetzt werden sollen. Auch sind zusätzliche Nachfragen zum besseren Verstehen der Vorstellungen und Schwierigkeiten der Studierenden zulässig.

In der *Hauptphase des Interviews*, nach der *Gruppierung von Rechenaufgaben*, werden die Studierenden u. a. zu angewendeten Kriterien beim Gruppieren der Rechenaufgaben befragt (vgl. K.1 – K.4b und MZ.1a – MZ.2 in Tab. 4.8 bzw. Tab. 28, Anhang C). Die angewendeten Gruppierungskriterien sollen dabei Aufschluss über fokussierte Aspekte beim Auswählen von Lösungsansätzen (vgl. FF 1.1) geben.

Die Frage *K.1* (Tab. 4.8) leitet die Auseinandersetzung mit den Gruppierungskriterien ein, indem die Studierenden sich hier bereits bspw. zur Trennschärfe der Gruppen äußern können. In den Fragen *K.2 – K.3b* stellen die Gruppierungskriterien der Studierenden das Zentrum dar. Mit den Fragen *K.4a* und *K.4b* wird die Änderung von Gruppierungskriterien bzw. die Ausprägung zu Kriterien bei der Gruppierung unterschiedlicher Aufgabensätze in den Blick genommen. Die Formulierungen zu den Gruppierungskriterien stellen darüber hinaus einen Ausgangspunkt dar, um die Fähigkeit der Studierenden zum Identifizieren von Lösungsansätzen weiter auszudifferenzieren (vgl. FF 2.1). Bspw. könnten in der Analyse der Antworten so ggf. Konzeptualisierungsniveaus (z. B. von Aufschneider, 2003; von Aufschneider, 2006 in Bezug auf fachinhaltliches Handeln) konstruiert und zugeschrieben werden. Schwierigkeiten, die die Studierenden während der Gruppierung erfahren und äußern (vgl. *S.1* und *S.2* in Tab. 4.8) können Hinweise zu grundsätzlich auftretenden Schwierigkeiten beim Auswählen von Lösungsansätzen (FF 3.1) liefern. Hierzu steuern ebenfalls Fragen zu Ursachen für nicht zugeordnete Rechenaufgaben bei (vgl. *O.1* und *O.2* in Tab. 4.8). Die Frage nach Wünsche bzgl. Änderungen an vorherigen Gruppierungen (vgl. *VA* in Tab. 4.8) kann eine Basis zur Analyse der Nützlichkeit des Gruppierens von Rechenaufgaben als Fördermaßnahme sein (FF 5). Grundsätzlich können die Antworten der Studierenden auf alle Fragen (*K.1 – VA* in Tab. 4.8) Hinweise auf (un)angemessene Vorstellungen zu Lösungsansätzen und deren Anwendung (FF 4.1) beinhalten. Nach der Hereingabe von Einhilfen (und der Umgruppierung von Rechenaufgaben) werden die Studierenden erneut zu ihrer Gruppierung befragt (s. Abschnitt Gestaltung der Interviews). Die Fragen sind nahezu identisch zu den oben vorgestellten Fragen nach der Gruppierung eines neuen Aufgabensatzes (s. Tab. 4.8). Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Fragen *K.4a* und *K.4b* nicht gestellt werden, da der Aufgabensatz vor und nach Hereingabe einer Einhilfe / eines Prompts derselbe bleibt.

Tabelle 4.8*Fragen zur Gruppierung von Rechenaufgaben eines Aufgabensatzes*

Bezeichnung	Formulierungsvorschlag
K.1	„Sind Sie mit ihrer Gruppierung zufrieden oder gibt es vielleicht etwas, was Sie an dieser stört?“
K.2	„Woran haben Sie sich in der Gruppierung orientiert?“
K.3a	„Woran machen Sie bei den jeweiligen Aufgaben einer Gruppe fest, dass diese Aufgaben einen Kraft-, einen ... -Ansatz benötigen?“
K.3b	„Woran machen Sie bei den jeweiligen Aufgaben einer Gruppe fest, dass diese zu der Gruppe gehören?“
K.4a	„Können Sie erläutern, was aus Ihrer Sicht an den Aufgaben neu hinzukommt, sodass Sie weitere Gruppen konstruiert haben?“
K.4b	„Sind die Gruppen aus ihrer Sicht immer noch gut mit den Benennungen repräsentiert oder müssen Sie eigentlich was an der Benennung ändern? Wenn ja, was wäre das?“
S.1	„Gibt es Aufgaben, die Sie besonders gut gruppieren konnten oder bei denen Sie sich unsicher waren?“
S.2	„Können Sie erläutern, was Ihnen bei der Gruppierung schwergefallen ist?“
MZ.1a	„Inwiefern könnte(n) diese Aufgabe(n) in mehrere Gruppen passen?“
MZ.1b	„Diese Aufgabengruppe ist relativ groß. Gibt es in dieser Gruppe Aufgaben, die man auch in andere Gruppen ordnen könnte?“
MZ.2	„Was denken Sie spricht dafür, die Aufgaben in die eine oder andere Gruppe zu sortieren?“
O.1	„Können Sie erläutern, warum Sie diese Aufgaben zu keiner anderen Gruppe sortiert haben?“
O.2	„Können Sie erläutern, wieso Ihnen die Gruppierung dieser Aufgaben eher schwergefallen ist?“
VA	„Würden Sie an Ihren Gruppierungen zu den vorherigen Aufgabensätzen etwas ändern?“

In der *Abschlussphase des Interviews* (Leitfadenabschnitt in Tab. 30, Anhang C) werden die Studierenden zur Verallgemeinerung von Kriterien zur Gruppierung von Rechenaufgaben nach Lösungsansätzen aufgefordert und nach allgemeinen Schwierigkeiten zum Gruppieren von Rechenaufgaben nach Lösungsansätzen sowie nach Veränderungen im Vorgehen über die Gruppierungsphasen hinweg gefragt. Die im Leitfaden notierten Formulierungsvorschläge für die Fragen können auch Tabelle 4.9 entnommen werden. Mit Fragen nach allgemeinen Kriterien zur Gruppierung von Rechenaufgaben nach Lösungsansätzen (vgl. L.1 bzw. L.2 in Tab. 4.9) soll näher untersucht werden können, inwiefern die Studierenden zur Identifikation von Lösungsansätzen in Rechenaufgaben fähig sind bzw. ob Studierende in diesem Prozess implizit oder explizit Konzepte zum Identifizieren von Lösungsansätzen heranziehen können (FF 2.1). Zudem sollen sie einen weiteren Anlass zur Äußerung von

vorstellungsbehafteten Aussagen liefern (FF 4.1). Es ist jedoch zu beachten, dass die Studierenden durch die Aufforderung zur Verallgemeinerung gedrängt werden, wodurch ggf. auch Äußerungen aus der „Erklärungsnot“ heraus getätigt werden können, die keine validen Rückschlüsse auf Fähigkeiten und mögliche Vorstellungen der Studierenden zulassen (vgl. Messick, 1995). Die Thematisierung von allgemein auftretenden Schwierigkeiten in der Abschlussphase des Interviews (vgl. SA.1 und SA.2 in Tab. 4.9) kann den Blick auf Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen (FF 3.1) erweitern. Im Vergleich zur Befragung nach der Gruppierung einzelner Aufgabensätze in der Hauptphase des Interviews können zusätzliche Schwierigkeiten aufgedeckt werden. Bspw. können in der abschließenden Befragung schwierigkeiterzeugende Oberflächenmerkmale genannt werden, die nur durch den Vergleich mehrerer Aufgabensätze auffällig sind. Mit der Befragung zu Veränderungen im Gruppierungsvorgehen (vgl. Frage V in Tab. 4.9) soll untersucht werden, inwiefern sich die Einhilfen und die Gruppierung der Rechenaufgaben als hilfreich für die Studierenden zum Identifizieren von Lösungsansätzen erwiesen haben (FF 5).

Tabelle 4.9

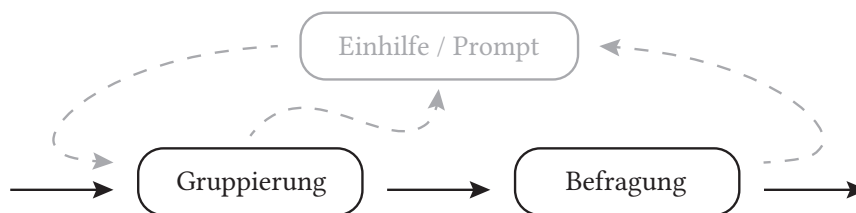
Allgemeine Fragen zur Gruppierung von Rechenaufgaben

Bezeichnung	Formulierungsvorschlag
L.1	„Können Sie für jede Aufgabengruppe erläutern, woran Sie erkannt haben, dass man für die dort eingeordneten Aufgaben einen bestimmten Ansatz benötigt?“
L.2	„Können Sie eine Regel zur Zuordnung von Aufgaben zu dieser Gruppe, wie „ <i>Alle Aufgaben ...</i> “, „ <i>Immer wenn in einer Aufgabe xy beschrieben ist, ...</i> “ aufstellen?“
V	„Haben Sie das Gefühl, dass sich Ihr Vorgehen beim Gruppieren der Aufgaben mit der Zeit geändert hat?“
SA.1	„Ist es Ihnen bei bestimmten Aufgaben oder Aufgabentypen leichter oder schwerer gefallen, diese zu sortieren?“
SA.2	„Können Sie beschreiben, was Ihnen an diesen Aufgaben Schwierigkeiten beim Sortieren bereitet hat?“

Einhilfen / Prompts. Gruppieren die Studierenden die Rechenaufgaben gänzlich oder in Teilen nach Oberflächenmerkmalen (z. B. gegebene / gesuchte Größen, s. Kapitel 2.1), können den Studierenden nach der Befragung Einhilfen gegeben werden. Sollten die Studierenden bereits während der Gruppierung große Schwierigkeiten äußern, sodass gar keine Gruppierung hervorgebracht werden kann, können auch vor Ende der Gruppierungsphase Einhilfen gegeben werden. Nach der Hereingabe von Einhilfen / Prompts kann die Gruppierung wiederholt bzw. verändert werden und eine (erneute) Befragung schließt sich an (vgl. Abb. 4.19, Details zu Befragungselementen in Anhang C, Tab. 29). Die Einhilfen / Prompts können als niederschwellige Förderung interpretiert werden, deren Wirkung insb. mit Blick auf Forschungsfrage 5 von Interesse ist. Die Nützlichkeit der Einhilfen kann dabei in Bezug auf den Grad der Angemessenheit folgender Gruppierungen sowie auf das Auftreten von Schwierigkeiten evaluiert werden. Des Weiteren kann der Einsatz von Einhilfen / Prompts Hinweise auf das Lernen des Gruppierens von Rechenaufgaben bzw. des Identifizierens von Lösungsansätzen

Abbildung 4.19

Einbettung der Einhilfen in das System von Gruppierung und Befragung zu einem Aufgabensatz



liefern. Die Evaluation der folgenden Gruppierungen kann Hinweise darauf geben, ob Studierende durch Hilfestellungen angemessenere Gruppierungen herstellen können und somit in einer Zone der nächsten Entwicklung (vgl. Vygotskij, 1978) handeln können.

Auf Basis bisheriger Forschungsergebnisse (Chi, Feltovich & Glaser, 1981) ist zu erwarten, dass die für das Interview eingeladenen Erstsemesterstudierenden als Novizen bzgl. des Identifizierens von Lösungsansätzen eingestuft werden können und somit tendenziell eher versuchen nach Oberflächenkriterien zu gruppieren. Daher sollen die Einhilfen nicht erst die Korrektheit von Zuordnungen zu Lösungsansätzen zum Ziel haben. Stattdessen sollen sie bereits vorher ansetzen und die grundlegende Nutzung von Tiefenstrukturmerkmalen bzw. Lösungsansätzen für die Gruppierung zum Ziel haben. Daher werden die Einhilfen in Abhängigkeit von zuvor hergestellten Gruppierungen ausgewählt. Es wird dabei zwischen Gruppierungen nach Oberflächenmerkmalen, nach einer Mischung aus Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen und nach Tiefenstrukturmerkmalen unterschieden. Im letzten Fall, also der vollständigen Gruppierung nach Tiefenstrukturmerkmalen, wird auf den Einsatz von Einhilfen verzichtet.

Falls eine Einhilfe nicht ausreichend unterstützend wirkt und hiernach keine reine Gruppierung nach Tiefenstrukturmerkmalen erreicht wird, werden weitere Einhilfen gegeben. Hierfür wurden die Einhilfen in Anlehnung an das Konzept der gestuften Lernhilfen (Wodzinski & Stäudel, 2011; Wodzinski, 2013) so konstruiert, dass je nach individuellen Fähigkeiten bzgl. der Identifizierung von Lösungsansätzen stärker unterstützt werden kann. Daher wurden die Einhilfen zudem so angelegt, dass sie anfangs möglichst wenig invasiv sind. Es wurden insgesamt drei strategische und zwei inhaltliche Einhilfen entwickelt, die in Tabelle 4.10 dargestellt sind.

Tabelle 4.10

Formulierungsnotizen zu den ausgearbeiteten Einhilfen

Einhilfe	Formulierungsnotizen
1a ¹	Hinweis: Gruppierung nach Oberflächenmerkmalen Inwiefern gibt es innerhalb der von Ihnen gebildeten Gruppen Ähnlichkeiten bzw. zwischen den Gruppen Unterschiede mit Blick auf den Lösungsprozess? <i>Falls (eher) nein:</i> Sie können gerne neue Gruppen bilden.
1b	Hinweis: Gruppierung nach Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen Sie haben schon viele der Rechenaufgaben nach dem notwendigen Lösungsvorgehen im physikalischen Sinne sortiert. Prüfen Sie nochmal, ob Sie tatsächlich alle Rechenaufgaben danach gruppiert haben.
2a	Ansätze geben Mich würde außerdem noch interessieren, wie Sie diese Aufgaben nach bestimmten physikalischen Ansätzen gruppieren. [Link senden] Wir unterscheiden zwischen einem Energie-, einem Kraft- und einem Bewegungsansatz. Zum Lösen von Aufgaben oder Aufgabenteilen mit – dem Energieansatz werden primär Überlegungen zu Umwandlungen von Energien einer Energieform in andere oder Überlegungen zum Verrichten von Arbeit genutzt. – dem Kraftansatz werden primär Überlegungen zur Überlagerung von Kräften zu einer resultierenden Kraft bzw. zu assoziierten Beschleunigungen genutzt. – dem Bewegungsansatz werden primär Überlegungen zu Lösungen von Bewegungsgleichungen (z. B. $s(t)$) genutzt. Haben Sie eine Idee, wie Sie die Aufgaben mit diesen drei Ansätzen sortieren würden? Nehmen Sie sich zum Gruppieren gerne einen Moment Zeit.
2b	Hinweis auf bereits hereingegebene Ansätze Prüfen Sie nochmal, ob Sie diese Aufgaben nicht auch den Ansätzen zuordnen können.

Tabelle 4.10*Formulierungsnotizen zu den ausgearbeiteten Einhilfen (Fortsetzung)*

Einhilfe

Formulierungsnotizen

3² Beispielgruppierung

Ich habe den Eindruck, Sie könnten hier noch ein bisschen Unterstützung im Umgang mit unseren Kategorien brauchen. Soll ich 3 Aufgaben beispielhaft zuordnen?

Zuordnung folgender Rechenaufgaben in Abhängigkeit zum aktuell offenen Aufgabensatz, Begründung ist verbal zu ergänzen:

Zuordnung von Aufgabe _ zum ...			
Aufgabensatz	Energieansatz	Kraftansatz	Bewegungsansatz
1	2	6	5
2	–	4	3
3	1	5	7
4	6	2	4

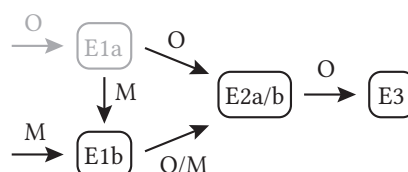
¹ Wurde in den Leitfaden (vgl. Tab. 28 und 29, Anhang C unter „Gruppierungskriterien“) integriert, da im Fall einer Oberflächengruppierung darauffolgende Fragestellungen nicht sinnvoll im Interview thematisiert werden können.

² Wurde in der Hauptstudie nicht angewendet.

Die Einhilfen wurden nach der Befragung zur Gruppierung eines Aufgabensatzes immer nach der gleichen Systematik (s. Abb. 4.20) eingesetzt. Wurden die Rechenaufgaben eines Aufgabensatzes bspw. vollständig nach Oberflächenmerkmalen gruppiert, wurde nach der Befragung zunächst die Einhilfe 1a mitgeteilt. War ein anschließender Umgruppierungsversuch erfolglos und es wurde erneut eine Gruppierung nach Oberflächenmerkmalen herbeigeführt, wurde die Einhilfe 2a gegeben (oder 2b, sofern 2a bereits im Rahmen der Bearbeitung eines vorherigen Aufgabensatzes hereingegeben wurde). Ein Spezialfall stellt das Nichtzustandekommen oder Abbrechen einer Gruppierung dar. In einem solchen Fall wurde direkt mit 2a oder 2b eingestiegen. Nach spätestens drei Einhilfen und Umgruppierungen mit anschließenden Befragungen oder der Hereingabe von Einhilfe 3 wird zum nächsten Aufgabensatz gewechselt. Ebenfalls wird nach der Befragung zu einer Gruppierung nach Tiefenstrukturmerkmalen zum nächsten Aufgabensatz gewechselt.

Abbildung 4.20

Systematik zur Vergabe von Einhilfen (E) im Anschluss an Gruppierungen nach Oberflächenkriterien (O) und Mischgruppierungen nach Oberflächen- und Tiefenstrukturkriterien (M)



4.2.3 Stichprobenbeschreibung zur Studie im qualitativen Zugang

Im Rahmen der Haupterhebung dieser Studie haben $N_F = 30$ Studierende die Fragebogenbearbeitung vollständig abgeschlossen. $N_I = 10$ dieser haben an dem anschließenden Interview zur Identifizierung von Lösungsansätzen in Rechenaufgaben teilgenommen. Die Geschlechterverteilung liegt bzgl. der Fragebogenbearbeitung zu Gunsten des männlichen Geschlechts und ist in den Interviews balanciert (vgl. Tabelle 4.11). Die Teilnehmer*innen waren zum Erhebungszeitpunkt im ersten Fachsemester eines Physik im Schwerpunkt thematisierenden Studiengangs an der Justus-Liebig-Universität Gießen eingeschrieben und haben eine Vorlesung zur Experimentalphysik besucht, deren Inhalt die Mechanik und Elemente der Wärmelehre waren. Diese Vorlesung wurde dabei im Konkreten von Studierenden der B.Sc.-Studiengänge Physik, Physik und Technologie für Raumfahrtanwendungen (PTRA), und Materialwissenschaften (MaWi) sowie den Staatsexamensstudiengang Physik für das Lehramt an Gymnasien (L3) besucht. Eine genaue Aufschlüsselung der Studienteilnehmer*innen bzgl. ihrer Studiengänge kann Tabelle 4.12 entnommen werden.

Tabelle 4.11

Gegenüberstellung der Geschlechterverteilung in den beiden Erhebungsschritten

Geschlecht	Erhebungsschritt	
	1: Fragebogen	2: Interview
Weiblich	11 (37 %)	5 (50 %)
Männlich	18 (60 %)	5 (50 %)
Divers	1 (3 %)	0 (0 %)
Summe	30 (100 %)	10 (100 %)

Nach unternommenen Werbemaßnahmen im Rahmen einer Vorlesung (u. a. Erhalt von Bonuspunkten für die Klausurzulassung und Unterbreitung der Möglichkeit zur individuellen Beratung bzgl. Fachinhalten sowie dem Bearbeiten von Rechenaufgaben) konnten bzgl. der Fragebogenbearbeitung immerhin Teilnahmehzahlen in Höhe von 30 % und bzgl. des Interviews 10 % der Anzahl eingeschriebener Erstsemesterstudierender dieser Studiengänge erzielt werden. Der prozentuale Anteil der in beiden Erhebungsgruppen vertretenen Studiengängen spiegelt in etwa den der eingeschriebenen Studierenden in diesen Studiengängen wider. Überrepräsentiert wird lediglich der Studiengang Lehramt an Gymnasien (L3) und unterrepräsentiert der Studiengang Materialwissenschaften B.Sc. im Vergleich zu denen mit der Studierendenstatistik erfassten Studierendengruppe (vgl. Tabelle 4.12).

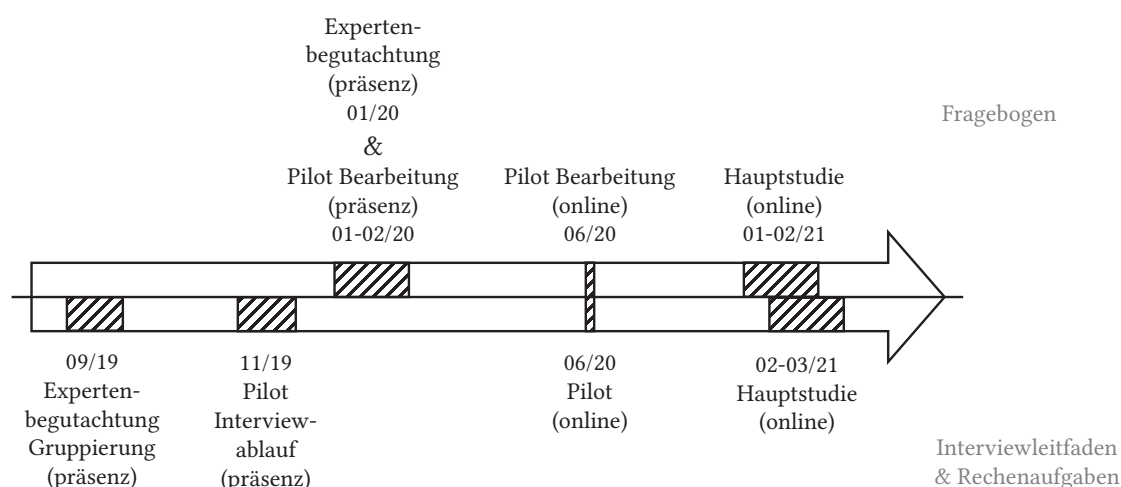
Tabelle 4.12*Gegenüberstellung der Teilnehmezahlen*

Studiengang	Einschreibungen ¹	Teilnehmer*innen	
		Fragebogen	Interview
Physik	39 (24%)	6 (20%)	2 (20%)
PTRA	85 (52%)	17 (57%)	5 (50%)
L3	21 (13%)	6 (20%)	3 (30%)
MaWi	18 (11%)	1 (3%)	0 (0%)
Summe	163 (100%)	30 (100%)	10 (100%)

¹ Bezeichnet die zum 15.11.2020 im ersten Fachsemester eingeschriebenen und durch die Studienstatistik (2020a; 2020b) erfassten Studierenden. Studierende im Doppelstudium sowie beurlaubte Studierende wurden nicht mitgezählt. Die tatsächliche Anzahl an Vorlesungsteilnehmer*innen wurde nicht erfasst. Die Vorlesung ist lt. Studienverlaufspläne jedoch für das erste Fachsemester vorgesehen.

4.3 Pilotstudien

Um die eingesetzten Erhebungsinstrumente in möglichst ausgeschärfter Form zur Bearbeitung der Forschungsfragen einsetzen zu können, wurde deren Einsatz mehrfach erprobt, sodass die Instrumente auf Grundlage der dabei aufgenommenen Daten überarbeitet werden konnten. Eine zeitlich aufgeschlüsselte Übersicht zu den durchgeführten Erprobungen sowie zu den Hauptuntersuchungen kann Abbildung 4.21 entnommen werden. Es ist anzumerken, dass die Erhebungsinstrumente zunächst für den Einsatz in einem Präsenzformat entwickelt worden sind, da die Erhebungssituationen so besser kontrollierbar gewesen wären und die Interviews im qualitativen Zugang persönlicher hätten durchgeführt werden können. Aufgrund der Corona-Pandemie wurden die Instrumente in eine Onlinefassung überführt, sodass die Erhebungen kontaktlos stattfinden konnten. Im Folgenden werden die Pilotstudien, deren Evaluation und Expertenbefragungen sowie vorgenommene Änderungen an den Erhebungsinstrumenten und -abläufen beschrieben.

Abbildung 4.21*Forschungsdesign zum qualitativen Zugang*

Expertenbegutachtung zur Gruppierung von Rechenaufgaben (09/2019). Das Ziel dieser Pilotstudie war es zu prüfen, ob Experten die für das Interview entwickelten Rechenaufgaben nach den drei intendierten Ansätzen (Kraft-, Bewegung-, Energie) gruppieren und, ob sich deren Gruppierung mit einer Mustergruppierung deckt. Teilnehmer*innen waren $N_{P1} = 3$ Doktorand*innen, davon zwei aus dem Bereich der Physikdidaktik und ein*e Doktorand*in aus der Theoretischen Physik mit mehrjähriger Übungsleitungserfahrung in Experimentalphysik. Die Physikprüfung zum ersten Staatsexamen (Lehramt an Gymnasien) lag bei ihnen zwischen ein und zwei Jahren zurück. Die Aufgabe der Doktorand*innen bestand darin, die für die Gruppierungsphase im Interview entwickelten Rechenaufgaben zu gruppieren, die Ähnlichkeiten im Lösungsweg aufweisen. Sollten mehrere Lösungswege denkbar sein, sollten sie den effizienteren betrachten. Hierbei waren die Rechenaufgaben jeweils auf eine Papierkarte gedruckt und in Umschlägen gemäß ihrer Aufgabensatzzugehörigkeit (vgl. Tab. 4.4) sortiert. Umschlag 1 beinhaltete Rechenaufgaben zu Aufgabensatz 3, Umschlag 2 Aufgaben zu Aufgabensatz 4, Umschlag 3 Aufgaben zu Aufgabensatz 1, Umschlag 4 Aufgaben zu Aufgabensatz 2 und Umschlag 5 Aufgaben zu Aufgabensatz 5. (Die Nummern an den Umschlägen passen nicht zu denen der Aufgabensätze, da die Hereingabereihenfolge nach der Pilotstudie in 11/2019 geändert wurde.) Die konkreten Gruppierungskriterien sollten die Doktorand*innen selbst wählen. Da ein*e Doktorand*in Schwierigkeiten hatte, geeignete Gruppierungskriterien zu identifizieren, wurden hier die Lösungsansätze Kraftansatz, Bewegungsansatz und Energieansatz jeweils mit zusätzlicher Erläuterung (vgl. Einhilfe 2a, Kapitel 4.2.2, Abschnitt Einhilfen / Prompts) gegeben. Die Ergebnisse der Gruppierung wurden in einer Tabelle festgehalten. Im Anschluss an die Gruppierung fand jeweils eine Besprechung statt. Zwei der Doktorand*innen haben aus eigenen Schritten ebenfalls die drei intendierten Ansätze zur Gruppierung genutzt. Die Person, die die Ansätze aufgrund von Schwierigkeiten in der Gruppierung als Einhilfe erhalten hat, empfand die Gruppierung nach diesen Ansätzen zumindest für sinnvoll. Die Zuordnungen aller Doktorand*innen zu den Ansätzen stimmten weitestgehend mit der Mustergruppierung überein. In wenigen Fällen wurden für Rechenaufgaben von den Doktorand*innen Ansätze gewählt, die laut Mustergruppierung nicht zielführend oder nicht effizient zielführend sind. In der jeweils anschließenden Besprechung wurde die Gültigkeit der Mustergruppierung einvernehmlich bestätigt. Daher wurden die Mustergruppierung und auch die drei intendierten Ansätze beibehalten. Verändert wurden nur einzelne Formulierungen der Rechenaufgaben, die sich in den Besprechungen als nicht eindeutig genug herausgestellt haben.

Pilotstudie zum Interviewablauf (11/2019). Mit dieser Pilotstudie sollte das Interview in seiner Gesamtheit inkl. des Gruppierens der Rechenaufgaben, des Interviewleitfadens und der geplanten Einhilfen erprobt werden. Zentrale Ziele waren dabei das Explorieren der Gruppierungs- und Befragungsdauern, die Prüfung der praktischen Eignung der Formulierungen aus dem Leitfaden sowie der Verständlichkeit der Rechenaufgaben und der Einhilfen. Zudem sollten erste Hinweise gesammelt werden, ob die erstellten Einhilfen konstruktiv sind, also zu einer Veränderung in der Gruppierung führen können. Hierfür wurden $N_{P2} = 6$ Studierende des Lehramts an Gymnasien sowie an Haupt- und Realschulen wenige Monate vor der Physik-Staatsexamensprüfung im Rahmen eines Vorbereitungsseminars zu einem etwa 60-minütigem Interview eingeladen. Die Auswahl der Probandengruppe begründet sich neben der relativ leichten Erreichbarkeit der Studierenden

über das Vorbereitungsseminar vor allem darin, dass die Studierenden erwartungsgemäß fachlich fortgeschrittener sind und mehr Erfahrung im Bearbeiten von Rechenaufgaben aufweisen als Erstsemesterstudierende, was sich als förderlich für eine an das Interview anschließende Diskussion über mögliche Änderungen an Rechenaufgaben und Einhilfen erwies. Da die Erstsemestervorlesung zur Mechanik, die die Konzepte der Rechenaufgaben thematisiert, schon einige Semester zurückliegt, war aber dennoch denkbar, dass die Studierenden teilweise Schwierigkeiten bei der Gruppierung der Rechenaufgaben haben könnten und Einhilfen eingesetzt werden könnten. In der Erhebung zeigte sich, dass die Gruppierungen und die anschließenden Besprechungen teilweise länger als erwartet gedauert haben, sodass in zwei der sechs Interviews nur vier Aufgabensätze und in vier der Interviews sogar nur drei Aufgabensätze thematisiert worden sind. Da Ähnliches für eine Durchführung mit Erstsemesterstudierenden zu erwarten ist, wurde die Interviewdauer infolgedessen von 60 Minuten auf 90 Minuten erhöht und an dem Konzept der möglichen Interviewausstiege (vgl. Abb. 4.17, Kapitel 4.2.2) festgehalten. In allen Interviews wurden als Einhilfe die in Tabelle 4.10, Kapitel 4.2.2 beschriebenen Lösungsansätze (Einhilfe 2a) hereingegeben, da die Studierenden entgegen des nach Studienfortschritt erwarteten Expertisegrades und den Ergebnissen von Chi, Feltovich und Glaser (1981) zunächst Oberflächenmerkmale als Gruppierungskriterien gewählt haben. Ebenfalls wurde in einem Fall eine Beispielgruppierung (Einhilfe 3) vorgenommen, da ein*e Student*in keine Gruppierung nach der Hereingabe der Ansätze herstellen konnte. Hiernach konnte die Gruppierung jedoch vervollständigt werden. In allen anderen Fällen hat die einmalige Hereingabe der Ansätze dazu geführt, dass Gruppierungen auf Basis von Tiefenstrukturmerkmalen als Gruppierungskriterien erzeugt werden konnten. Die eingesetzten Einhilfen scheinen somit verständlich und konstruktiv zur Herstellung von Rechenaufgabengruppierungen nach Tiefenstrukturmerkmalen zu sein. Da ein*e Student*in die unterschiedlichen mathematischen Lösungsvorgehensweisen als Gruppierungsmerkmale genutzt hat, welche prinzipiell Tiefenstrukturmerkmale sind, aber nicht den intendierten entsprechen, wurde im Gruppierungsauftrag ergänzt, dass Aufgaben zueinander gelegt werden sollen, die *im physikalischen Sinne* ähnlich sind. Der Interviewleitfaden erwies sich in der Durchführung als hilfreich. Es wurden jedoch einzelne Formulierungen im Interviewleitfaden angepasst, die sich zu stark vom alltäglichen Sprachgebrauch der Interviewerin unterschieden haben, um zukünftiges Stocken in den Interviews zu vermeiden. Des Weiteren war die Formulierung „ebene Rampe“ für einige Studierende nicht gut verständlich. Daher wurde jeweils ein Hinweis ergänzt, dass es sich bei einer *ebenen* Rampe um eine Rampe handelt, die *nicht gebogen* ist (vgl. Abb. 4.10, Kapitel 4.1.2). Andere Unklarheiten zu den Rechenaufgaben führten nicht zu Änderungen, da dies zu einer deutlichen Erhöhung der Komplexität des Aufgabentextes geführt hätte. Stattdessen wurde daran festgehalten, dass Studierenden im Interview die Aufgabensituation skizziert werden darf, sollten Schwierigkeiten auftreten. Abseits der Beobachtungen zum Erreichen der mit der Pilotstudie anvisierten Ziele gab es noch weitere Auffälligkeiten. Zum einen nutzten die Studierenden Formeln und mathematische Operationen trotz der Aussage, dass die Rechenaufgaben nur gruppiert und nicht gelöst werden müssten. Die Studierenden begründeten dies, während des Interviews oder anschließend, mit der Prüfung des Ansatzes und Gewohnheit. Dies eröffnet die Frage danach, inwiefern es Personenmerkmale gibt, die eine sofortige Sicherheit über die Eignung eines Lösungsansatzes oder eine kognitive gegenüber einer schriftlichen Prüfung eines Lösungsansatzes begünstigen. Zum anderen schien die

Gruppierung der Rechenaufgaben die Studierenden teilweise stark zu fordern, was bei einer Person zu Bearbeitungsabbrüchen und bei dieser sowie anderen Studierenden zu geäußerter Frustration geführt hat. Ein*e Student*in äußerte dabei eine hohe Frustration aufgrund der Erwartung, dass ein*e Examenskandidat*in die Zuordnung dieser schulähnlichen Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen eigentlich können müsste. In folgenden Erhebungen wurde daher darauf geachtet, den Studierenden häufiger mitzuteilen, dass es nicht schlimm sei, manche Aufgaben *gerade* nicht gut gruppieren zu können, und Ursachen auch extern (z. B. in den Aufgaben) verursacht sein können. Dies wurde jedoch nicht explizit in den Interviewleitfaden aufgenommen und primär bei unsicher wirkenden Studierenden eingesetzt. Da die Studierenden ihre Frustration häufiger während der Gruppierung der ersten beiden Aufgabensätze geäußert haben und dies als Hinweis darauf gedeutet werden kann, dass diese Aufgabensätze im Vergleich zum dritten und vierten Aufgabensatz schwieriger sind, wurde die Reihenfolge bzw. Besetzung der Umschläge für folgende Erhebungen zur Gruppierung von Rechenaufgaben permutiert: Umschlag 1 wurde an Stelle 3, Umschlag 2 an Stelle 4, Umschlag 3 an Stelle 1 und Umschlag 4 an Stelle 2 eingesetzt (so, wie in Tab. 4.4, Kapitel 4.1.2 beschrieben).

Expertenbegutachtung des Fragebogens (01/2020). Mit einer Expertenbegutachtung des Fragebogens sollten einerseits Verständnisschwierigkeiten sowie kleine Fehler (z. B. Rechtschreibfehler) aufgedeckt und andererseits die Bearbeitungszeit abgeschätzt werden. Zu Rat wurden hierfür $N_{P3} = 2$ Doktorand*innen der Physikdidaktik gezogen. Diese sollten den Fragebogen zunächst unter den Einsatzbedingungen bearbeiten und dabei die benötigte Zeit notieren. Im Anschluss daran wurden sie gebeten, den Fragebogen mit Blick auf verständniserschwerende Formulierungen, Rechtschreib- und Zeichensetzungs- sowie inhaltliche Fehler durchzuarbeiten. Im Anschluss wurden die Zeiten und die notierten Auffälligkeiten besprochen. Die Doktorand*innen haben für die jeweils vollständige Bearbeitungen etwa 12 Minuten benötigt. Da der Fragebogen nur zu einem Teil aus fachinhaltlichen Items und ansonsten aus Items zur Selbsteinschätzung besteht, wurde die Bearbeitungsdauer für Studierende auf etwa 20 Minuten geschätzt. Ansonsten sind einige wenige Rechtschreib- und Zeichensetzungsfehler aufgefallen, die anschließend korrigiert worden sind.

Pilotstudie zur Fragebogenbearbeitung (01-02/2020). Die Intention der Durchführung dieser Pilotstudie lag ursprünglich in der Erprobung des entwickelten Fragebogens sowie des Gesamtansatzes dieser Studie, der Verknüpfens von Fragebogen- und Interviewdaten. Da sich jedoch im Anschluss an die Fragebogenbearbeitung nur ein*e Student*in für ein Interview bereiterklärt hat, wurde die Dauer der Fragebogenbearbeitung sowie die Auswahl an Befragungs- und Testitems in den Fokus gerückt. Hierfür wurden $N_{P4} = 15$ Studierende des Lehramts an Gymnasien sowie an Haupt- und Realschulen im ersten Semester zur Bearbeitung des Fragebogens gebeten. Die Erhebungen fanden jeweils nach einer zum Studiengang gehörigen Vorlesung zur Experimentalphysik statt. Auf Grundlage der Pilotstudie zur Fragebogenbearbeitung von 12/2019 wurde vorab eine Bearbeitungsdauer von etwa 20 Minuten geschätzt. Nach dem Austeilen des Fragebogens hatten die Studierenden jedoch prinzipiell unbegrenzt lange Zeit, diesen zu bearbeiten, sodass keine Frage aufgrund von Zeitmangel ausgelassen werden musste. Waren fachinhaltliche Items zu schwierig, sollten die Studierenden diese, analog zum Vorgehen in der Haupterhebung, einfach auslassen. Ebenfalls analog zur Haupterhebung,

durften die Studierenden im Fragebogen nicht zurückblättern. Hierauf wurden die Studierenden explizit hingewiesen. Nachfragen wurden nur beantwortet, wenn diese nicht (fach-)inhaltlicher Natur waren, sondern sich bspw. auf das Generieren des persönlichen Codes bezogen haben. Die Bearbeitungsdauern fielen bei den Studierenden stark verschieden aus und erstreckten sich auf bis zu 40 Minuten. In der Folge wurden zur Reduktion der Bearbeitungsdauer im Selbsteinschätzungsteil allgemeinere Items zu Aspekten des LöSENS von Rechenaufgaben sowie Items mit ähnlichem Antwortmuster bis auf je ein Item aus dem Fragebogen entfernt. Außerdem wurden im mathematischen Teil des Fragebogens um Items reduziert, die die Anwendung der gleichen Konzepte prüfen. Im Fragebogenteil zur Selbstwirksamkeitserwartung war darüber hinaus auffällig, dass bei einigen Studierenden mit jedem Lösungsschritt bzgl. der Bearbeitung von Rechenaufgaben die Zustimmung zur Könnenserwartung gesunken ist. Hierfür wurden zwei Ursachen in Betracht gezogen. Einerseits wäre es möglich, dass die Studierenden im Lösungsprozess später stattfindende Lösungsschritte als schwieriger wahrnehmen. Dies widerspricht jedoch der Einschätzung von Brandenburger (2016), dass die Lösungsschritte nicht als einzelne Dimensionen in ihrem Problemlösetest aufgefasst werden müssen. Auch bei alternativer Interpretation der Ergebnisse Brandenburgers (ohne Umkodierung der Punkteverteilung) würde die Schwierigkeit nach dem Finden eines Lösungswegs/-plans sogar eher abnehmen¹. Andererseits wäre es auch möglich, dass die Studierenden die vorherigen Lösungsschritte zur Beantwortung eines Items zu einem aktuellen Lösungsschritt „mitgedacht“ haben. Dies scheint hier die wahrscheinlichere Ursache zu sein. Daher wurde für jedes Item zu einem Lösungsschritt die Bekanntheit der Erkenntnisse aus den vorherigen Lösungsschritten angegeben, z. B.

„Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu den zum LöSEN benötigten Ansatz zu identifizieren, wenn eine Skizze bereits vorgegeben ist.“ (SW2a)

Wäre die erste Ursache fälschlicherweise verworfen worden, hätte diese Änderung aus theoretischer Sicht keine nennenswerte Auswirkung auf die Ergebnisse gehabt. Im Anschluss an die Pilotstudie wurde bzgl. der Erfassung der Selbstwirksamkeitserwartung zusätzlich ein Item zur Mathematisierung des Lösungsansatzes entfernt, da Lösungsansätze im Rahmen der Rechenaufgabenbearbeitung bereits mathematisch „gedacht“ werden können. Dies wird bspw. in der Definition des Bewegungsansatzes (= Nutzung von Lösungen zu Bewegungsgleichungen) in diesem Projekt deutlich. Dafür wurde ein Item zur verbalen Beschreibung des (mehrschrittigen) Lösungsvorgehens zur Addressierung des Lösungsabschnittes *Planen des Lösungsweges* (vgl. Kapitel 2.3.3) hinzugefügt. Dieser Aspekt wäre ansonsten nicht im Fragebogen enthalten und somit nicht direkt zugänglich gewesen. Mit Blick auf die Beobachtung, dass einige Studierende im Rahmen der Pilotstudie zum Interviewablauf (11/2019) zur Überprüfung ihrer Idee oder aus Gewohnheit vollständige Rechnungen durchgeführt haben, obwohl „nur“ Lösungsansätze identifiziert werden sollten, scheint dieser Aspekt jedoch möglicherweise Hinweise darauf zu liefern, ob bzw. inwiefern die Fähigkeit des (kognitiven) LöSENS einer Rechenaufgabe mit dem Identifizieren eines Ansatzes zusammenhängt. Zudem wurde zu den fachinhaltlichen Testitems mit Bezug zu Energieformen jeweils eine Frage zur Änderung der Gesamtenergie hinzugefügt, da das Verstehen des Konzepts der Energieerhaltung für die Zuordnung von Rechenaufgaben zum Energieansatz im Rahmen des Gruppierungsauftrags im Interview elementar ist. Außerdem wurden einzelne Formulierungen zur Erhöhung der Verständlichkeit angepasst.

¹Eigene Evaluation der in Brandenburger (2016, S. 181) dargestellten Ergebnisse.

Pilotstudie zur online implementierten Fragebogenbearbeitung (06/2020). Aufgrund der Pandemie durch COVID-19 konnte nicht davon ausgegangen werden, dass die Haupterhebung mit dem Fragebogen in einem Präsenzformat durchgeführt werden konnte, weswegen der Fragebogen mit dem Umfragetool LimeSurvey online implementiert worden ist. Hierbei wurde ein Testitem zum Zeichnen von Vektoren entfernt, da das Zeichnen vom Umfragetool nicht unterstützt wird. Mit dieser Pilotstudie sollte die Praktikabilität sowie die Funktionsfähigkeit der Implementierung getestet werden und so systematische Fehler (z. B. fälschlicherweise ausgeblendete Fragengruppen) durch die Evaluation des dabei generierten Datensatzes auffindig gemacht werden. Hierfür wurden $N_{P5} = 22$ Lehramtsstudierende im ersten (Lehramt an Haupt- und Realschulen) und dritten Semester (Lehramt an Gymnasien) während einer Lehrveranstaltung zur Didaktik der Physik zur Bearbeitung des Fragebogens gebeten, wofür sie etwa 30 Minuten zur Verfügung hatten. Hierfür wurde der Fragebogen über einen Link bereitgestellt. Die Studierenden nutzten die zur Verfügung stehende Bearbeitungszeit häufig vollständig aus. Dabei hat rund die Hälfte der Studierenden (12) im Schnitt die letzten vier Antworten des abschließenden, mathematischen Teils des Fragebogens ausgelassen.¹ Dies lässt darauf schließen, dass die Bearbeitungszeit zu kurz bzw. der Fragebogenumfang zu groß gewählt war. Dies führte dazu, dass der Fragebogen zum einen erneut eingekürzt wurde, indem Items zur Selbsteinschätzung über Aspekte, die beim Bearbeiten von Rechenaufgaben *keine* Schwierigkeiten hervorrufen, entfernt wurden. Zum anderen wurde die zukünftige Bearbeitungszeit auf 30 Minuten geschätzt, da diese Zeitspanne für viele Studierenden zur Bearbeitung der in dieser Pilotstudie eingesetzten, nicht weiter gekürzten Ausführung bereits genügt hat.

Pilotstudie zur online implementierten Gruppierung von Rechenaufgaben (06/2020). Da auch die Durchführung der Interviews aufgrund der COVID-19-Pandemie online durchgeführt werden musste, wurde eine Möglichkeit zur digitalen Gruppierung der Rechenaufgaben implementiert, welche im Rahmen dieser Pilotstudie in zeiteffizienter Weise erprobt wurde. Hierfür wurden im Rahmen derselben Lehrveranstaltung wie zur Pilotstudie zur online implementierten Fragebogenbearbeitung (06/2020) dieselben Studierenden zur Gruppierung von Rechenaufgaben aufgefordert. Für die digitale Implementierung wurden je Aufgabensatz und Student*in eine Seite in Microsoft OneNote erstellt, in der u. a. die zum Aufgabensatz zugehörigen Rechenaufgaben als frei verschiebbare Bilder dargestellt waren. Es sollte und konnte aufgrund der relativ großen Teilnehmeranzahl in der Lehrveranstaltung jedoch keine Befragung bzgl. erstellter Gruppierungen erfolgen. Nach jeder Gruppierung sollten die Studierenden jedoch schriftlich Fragen zur Orientierung in der Gruppierung, zur Einschätzung von leicht und schwer zu gruppierenden Rechenaufgaben und zur Erläuterung von in der Gruppierung aufgetretenen Schwierigkeiten beantworten. Anschließend sollten sich die Studierenden bei einer*in von neun zuvor eingewiesene Betreuer*innen melden. Durch diese wurden dann Einhilfen gegeben oder neue Seiten für die Gruppierung weiterer Rechenaufgaben geöffnet. Die Einhilfen wurden dabei verbal gegeben. Zusätzlich wurden für das Geben von Einhilfe 2a die Lösungsansätze und deren Beschreibungen als Bilder in die aktive OneNote-Seite eingefügt. Im Anschluss an die Erprobung wurde durch die Betreuer*innen mehrfach berichtet, dass die als Bilder

¹Ein Extremfall, in dem 12 Antworten fehlten und die Bearbeitungszeit 30 Minuten deutlich überschritten wurde, wurde in die Evaluation nicht inkludiert.

dargestellten Rechenaufgaben versehentlich von den Studierenden gelöscht oder verschoben worden seien und anschließend nicht mehr auffindbar waren, sodass die Rechenaufgaben neu eingefügt werden mussten. Zudem wurde berichtet, dass die Studierenden über die nicht flüssige Beweglichkeit der Bilder klagten. Auch sei es zu Abstürzen des Programms gekommen. Ansonsten sei die Gruppierung jedoch grundsätzlich möglich gewesen. Aufgrund der in Summe jedoch schwerwiegenden Probleme wurde die Gruppierung der Rechenaufgaben in Padlets überführt. Hierbei wurde die Darstellung „Regal“ gewählt, die den Vorteil einer übersichtlichen Spaltendarstellung hat, wobei jede Spalte einer Gruppe entspricht. Im Gegensatz zur Implementierung in OneNote überlappen die Rechenaufgaben hier nicht, sondern werden unter- bzw. nebeneinander dargestellt, was die Wahrscheinlichkeit zum Verlust von Rechenaufgaben reduziert. Des Weiteren erfolgt das Verschieben von Rechenaufgaben innerhalb und zwischen Spalten flüssig. Eine ausführliche inhaltliche Evaluation wurde nicht durchgeführt, da die Gruppierungsabläufe aufgrund der Hereingabe von Einhilfen durch verschiedene Betreuer*innen nicht gut vergleichbar waren und softwarebedingte Schwierigkeiten sich auch auf die Gruppierung ausgewirkt haben (z. B. fehlende oder versehentlich verschobene Rechenaufgaben).

KAPITEL 5

AUFBEREITUNG UND AUSWERTUNG DER DATEN

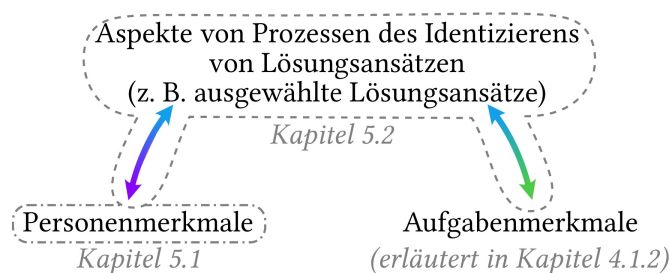
Im Rahmen der Studie im quantitativen Zugang wurden Personenmerkmale, die Zuweisungen von Rechenaufgaben zu drei Lösungsansätzen, Schwierigkeiten während dieser Zuordnung sowie Regelgenerierungen bzgl. solcher Zuweisung erhoben. Aus zeitlichen Gründen wurden Schwierigkeiten während der Zuordnung von Rechenaufgaben und Regelgenerierungen hier nicht fokussiert betrachtet. Zudem wurden Fragen zu Schwierigkeiten oder Aufforderungen zur Regelgenerierung von den Studierenden oft nicht oder nur mit wenigen Worten bearbeitet, sodass die Daten aus dem qualitativen Zugang eine bessere Grundlage für Auswertungen bilden. Diese Auswertung konnte ebenfalls aus zeitlichen Gründen nicht mehr im Rahmen der Arbeit vorgenommen werden. Das Vorgehen in der Auswertung der Daten wurde jedoch bereits geplant (s. Kapitel 7.6.1, Abschnitt *Fortsetzung von Auswertungen zum qualitativen Zugang*).

Mithilfe der Auswertung von Zuweisungen der Studierenden im quantitativen Zugang wurde primär die Fähigkeit Studierender zum Identifizieren von Lösungsansätzen in Rechenaufgaben genauer untersucht (vgl. Fragenkomplex 2). Ergebnisse über diese Fähigkeit liefern Hinweise auf mögliche (Ursachen von) Schwierigkeiten der Studierenden beim Identifizieren von Lösungsansätzen (vgl. Fragenkomplex 3), indem Personenmerkmale der Studierenden sowie Aufgabenmerkmale der Rechenaufgaben in Analysen eingeflossen sind. Des Weiteren wurden Änderungen des Erfolgs beim Zuordnen der Rechenaufgaben untersucht, da diese bspw. auf vorliegende Lerneffekte hindeuten können. Ergebnisse dieser Auswertungen können somit zur Ableitung von Hinweisen über die Gestaltung von Fördermaßnahmen genutzt werden (vgl. Forschungsfrage 5).

In Kapitel 5.1 werden die Aufbereitung der Daten zu den Personenmerkmalen sowie die mit den aufbereiteten Daten vorab durchgeführten Analysen zur Charakterisierung der Probandengruppe vorgestellt. In Kapitel 5.2 werden Datenaufbereitungen sowie Analysen zu Aspekten rund um die Zuordnung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen (auch in Zusammenhang zu Personen- und Aufgabenmerkmalen, vgl. Abb. 5.1) erläutert.

Abbildung 5.1

Zuordnung der Kapitel zur Datenaufbereitung und -analyse am Forschungsdreieck (s. Abb. 1.1, Kapitel 1)



5.1 Umgang mit Daten über Personenmerkmale

Zur Bearbeitung von Forschungsfragen mit Blick auf evtl. bestehende Zusammenhänge zwischen der Zuordnung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen und Personenmerkmalen der Studierenden wurden unterschiedliche Personenmerkmale der Studierenden erhoben (s. Kapitel 4.1.1). Die Rohdaten beinhalten Einschätzungen der Studierenden, aus denen Hinweise zu Selbstkonzepten, häufigen Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben und der Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. des Abschließens von Lösungsschritten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben abgeleitet werden können. Zudem beinhalten die Rohdaten Antworten der Studierenden zu Aufgaben eines Mechanik- und eines Mathematiktests, deren Bewertung Hinweise über die fachinhaltlichen Fähigkeiten der Studierenden in einem abgesteckten fachlichen Rahmen liefern. Der Umgang in der Auswertung mit diesen Daten wird in den folgenden Kapiteln beschrieben:

Aufbereitung und Auswertung von Daten über ...

- ... das Selbstkonzept zu physik- und mathematikbezogenen Fähigkeiten s. Kapitel 5.1.1
- ... häufige Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben s. Kapitel 5.1.2
- ... die Selbstwirksamkeitserwartung bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben s. Kapitel 5.1.3
- ... die Fähigkeiten der Studierenden in Mechanik s. Kapitel 5.1.4
- ... mathematische Fähigkeiten der Studierenden s. Kapitel 5.1.5

5.1.1 Auswertung von Daten über das Selbstkonzept zu physik- und mathematikbezogenen Fähigkeiten

Die Rohdaten, aus denen Hinweise über das Selbstkonzept der Studierenden zu physik- und mathematikbezogenen Fähigkeiten abgeleitet wurden, liegen numerisch kodiert vor. Die Einschätzungen der $N = 30$ Studierenden zu nachfolgenden Aussagen sind dabei mithilfe ganzer Zahlen von 0 bis 5 festgehalten (s. Tab. 32, Anhang D).

(Item *SK.Ph*) „Ich habe die Inhalte zur Mechanik im Physikstudium bisher gut verstanden.“

(Item *SK.M*) „Ich kann mathematische Operationen (z. B. Umstellen, Einsetzen, Integrieren, Ableiten) fehlerfrei durchführen.“

Hierbei ist ein Wert von „0“ mit „trifft gar nicht zu“ und „5“ mit „trifft voll zu“ zu übersetzen.

Zunächst wurden die Einschätzungen der Studierenden überblicksartig gesichtet. Hierfür wurden

die relativen Häufigkeiten der Ausprägungen zu den Einschätzungen in einem gestapelten Balkendiagramm je Aussage aufgetragen. Die relativen Häufigkeiten der Ausprägungen zu den beiden Aussagen können so platzsparend und einfach verglichen werden. Zwischen den Ausprägungen „trifft gar nicht zu“ bis „trifft voll zu“ wurde mithilfe farblicher Abstufungen unterschieden. Je dunkler ein Abschnitt dargestellt ist, desto höher ist der Grad der Zustimmung zur Aussage. Durch die Einfärbung kann vergleichsweise schnell ein Eindruck gewonnen werden, inwiefern die Zustimmung der Studierenden zu beiden Aussagen unterschiedlich ausfällt. Bspw. würde eine im Mittel geringer ausfallende Zustimmung zu einer Aussage zu einer im Gesamteindruck heller wirkenden Färbung des Balkens führen.

Des Weiteren wurde eine Kreuztabelle erstellt, aus der die Häufigkeiten der von den Studierenden getroffenen Einschätzungen zu beiden Aussagen in Kombination hervorgehen. Eine höhere Zustimmung je Aussage wurde mit einem höheren physikalischen bzw. mathematischen Selbstkonzept assoziiert. Ergebnisse zur Verteilung der Kombinationen an Einschätzungen auf die Kreuztabelle wurden mit Ergebnissen anderer Studien über den Zusammenhang von Selbstkonzepten zu Mathematik und Physik verglichen (z. B. D. H. Rost, Dickhäuser, Sparfeldt & Schilling, 2004). Die Deckung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit Ergebnissen anderer Studien kann ein Indiz für die Validität der gezogenen Schlussfolgerungen darstellen. Aufgrund von Erkenntnissen aus der Betrachtung der Kreuztabelle (s. Kapitel 6.1.1) wurden die Werte der Rohdaten für beide Einschätzungen der Studierenden testweise auf einer Skala betrachtet. Hierfür wurde der Mittelwert der numerischen Kodierung bestimmt. In den Daten zu Student*in 6 ist bspw. eine Einschätzung von 3 zum Item über das Mechanikverständnis (s. Item *SK.Ph*, Tabelle 32 in Anhang D) und 5 zum Item über die Durchführung mathematischer Operationen (s. Item *SK.M*, Tabelle 32 in Anhang D) dokumentiert. Im Mittel ergibt sich somit ein Wert von $\frac{3+5}{2} = 4$. Anschließend wurde Cronbachs Alpha zur Beurteilung der internen Konsistenz bestimmt. Aufgrund der niedrigen Ausprägung von Cronbachs Alpha (vgl. Field, 2018) wurden die Einschätzungen für weitere Auswertungen nicht auf einer gemeinsamen Skala, sondern getrennt voneinander betrachtet.

Um (Hinweise auf) die Ausprägungen zum physikalischen bzw. mathematischen Selbstkonzept in weiteren Analysen mit den Zuordnungen der Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen in Verbindung bringen zu können, wurden die Studierenden je Item in Gruppen mit einer ähnlichen Einschätzung organisiert. Hierfür wurde jeweils eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt (z. B. Bacher, Pöge & Wenzig, 2010). Die Clusteranalysen wurden durch die Betrachtung der Koeffizienten, welche ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster darstellen, beendet. Hierbei wurde auf sprunghafte Anstiege der Koeffizienten geachtet (vgl. Bacher et al., 2010). Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass jeweils eine möglichst geringe Anzahl an Clustern gebildet wurde, mit denen jedoch noch Vergleiche in Analysen im Zusammenhang mit Zuordnungen von Rechenaufgaben durchgeführt werden konnten.

5.1.2 Auswertung von Daten über häufige Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben

Analog zu den Daten, aus denen Hinweise über das Selbstkonzept der Studierenden zu physik- und mathematikbezogenen Fähigkeiten abgeleitet wurden (s. Kapitel 5.1.1), liegen die Daten zu den Einschätzungen der Studierenden über häufige Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben numerisch kodiert vor. Die Einschätzungen der $N = 30$ Studierenden nachfolgenden Aussagen sind dabei mithilfe ganzer Zahlen von 0 bis 5 festgehalten (s. Anhang D, Tab. 33):

- „Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass ...
- ... ich Inhalte aus der Physik noch nicht gut genug verstehe.“ (Item S.VI)
 - ... die notwendigen Inhalte in den Fachveranstaltungen (noch) nicht ausführlich genug behandelt wurden.“ (Item S.TI)
 - ... die Aufgabe unnötig kompliziert gestellt ist.“ (Item S.KG)
 - ... ich die Aufgabe nicht richtig verstehe.“ (Item S.VA)
 - ... mir der passende Ansatz nicht einfällt.“ (Item S.A)
 - ... ich nicht weiß, wie ich rechnerisch vorgehen soll, nachdem ich einen Ansatz gefunden habe.“ (Item S.MV)
 - ... ich unsicher im Umgang mit Gleichungen und Formeln bin.“ (Item S.M)

Hierbei ist ein Wert von „0“ mit „trifft gar nicht zu“ und „5“ mit „trifft voll zu“ zu übersetzen. Zur Charakterisierung des Erhebungsinstruments wurde vorab die Zusammenfassbarkeit der Items zu einer Skala über die grundsätzliche Zustimmung der Studierenden zum Auftreten gegebener Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben mithilfe der Berechnung von Cronbachs Alpha bestimmt. Ergebnisse dieser Analyse hatten jedoch keinen Einfluss auf weitere Analysen in dieser Arbeit, da hier das Identifizieren von Lösungsansätzen und damit Einschätzungen zu Item S.A fokussiert betrachtet werden (vgl. Kapitel 3).

Im ersten Schritt wurden die Einschätzungen der Studierenden überblicksartig gesichtet. Dazu wurden die relativen Häufigkeiten der Ausprägungen zu den Einschätzungen in einem gestapelten Balkendiagramm je Aussage aufgetragen. Die relativen Häufigkeiten der Ausprägungen zu den sieben Aussagen können so platzsparend und einfach verglichen werden. Zwischen den Ausprägungen „trifft gar nicht zu“ bis „trifft voll zu“ wurde mit einer farblichen Abstufung unterschieden. Je dunkler ein Abschnitt dargestellt ist, desto höher ist der Grad der Zustimmung zur Aussage. Durch die Einfärbung kann vergleichsweise schnell ein Eindruck gewonnen werden, inwiefern die Zustimmung der Studierenden zu zwei Aussagen unterschiedlich ausfällt. Bspw. würde eine im Mittel geringer ausfallende Zustimmung zu einer Aussage zu einer im Gesamteindruck heller wirkenden Färbung des Balkens führen.

In zweiten Schritt wurde eine hierarchische Clusteranalyse (z. B. Bacher et al., 2010) zu den von den Studierenden ausgewählten Graden an Zustimmung je Aussage durchgeführt. Auf diese Weise konnten Gruppen von Studierenden ausgemacht werden, die ähnliche Angaben zu Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben gemacht haben. Diese Gruppenzugehörigkeit wurde in

weiteren Analysen im Zusammenhang mit Zuordnungen von Rechenaufgaben aufgegriffen, sodass Unterschiede zwischen diesen Gruppen in Bezug auf den Erfolg beim Zuordnen von Rechenaufgaben betrachtet werden konnten. Die Clusteranalyse wurde, wie bereits zur Clusterbildung zum mathematischen und physikalischen Selbstkonzept (s. Kapitel 5.1.1) beschrieben, durch Betrachtung der Koeffizienten beendet, da diese ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster darstellen. Hierbei wurde auf sprunghafte Anstiege der Koeffizienten geachtet (vgl. Bacher et al., 2010). Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass eine möglichst geringe Anzahl an Clustern gebildet wurde, mit denen jedoch noch Vergleiche in Analysen im Zusammenhang mit Zuordnungen von Rechenaufgaben durchgeführt werden konnten. Im Anschluss wurden die Ausprägungen zur Zustimmung der Studierenden, gruppiert nach den Clustern, je Aussage in einem Boxplot dargestellt. Aus dieser Darstellung wurde abgeleitet, inwiefern sich die Einschätzungen der Studierenden zwischen den Clustern unterscheiden.

5.1.3 Auswertung von Daten über die Selbstwirksamkeitserwartung bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben

Die Daten über die Selbsteinschätzung der Studierenden zu den Items der Selbstwirksamkeitserwartung zum Abschließen bestimmter Lösungsabschnitte (vgl. Kapitel 2.3.3) liegen numerisch kodiert vor (s. Tabelle Anhang D, 34). Die Kodierung besteht dabei aus ganzen Zahlen von 0 bis 5, wobei ein Wert von „0“ mit „trifft gar nicht zu“ und ein Wert von „5“ mit „trifft voll zu“ zu übersetzen ist. Die Einschätzungen beziehen sich auf nachfolgende Aussagen zu den Items *SW.E.S* – *SW.B.M*:

„Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu ...

- ... eine zum Lösen der Aufgabe sinnvolle Skizze anzufertigen.“ (Items *SW.E.S*, *SW.K.S* und *SW.B.S*)
- ... den zum Lösen benötigten Ansatz zu identifizieren, wenn eine Skizze bereits vorgegeben ist.“ (Items *SW.E.A*, *SW.K.A* und *SW.B.A*)
- ... zu erläutern, wie beim Lösen der Aufgabe vorgegangen werden muss, wenn die Skizze und der Ansatz bereits vorgegeben sind.“ (Items *SW.E.V*, *SW.K.V* und *SW.B.V*)
- ... eine Lösung auf mathematischem Wege zu ermitteln, wenn die Skizze und der Ansatz vorgegeben sind und das Lösungsvorgehen verbal beschrieben ist.“ (Items *SW.E.M*, *SW.K.M* und *SW.B.M*)

Die Items sind im Kontext von parallel dargebotenen Rechenaufgaben zu verstehen. Die Items *SW.E.S*, *SW.E.A*, *SW.E.V* und *SW.E.M* beziehen sich auf eine Rechenaufgabe, die zum Lösen einen Energieansatz (E) erfordert. Analog wurden zu den Items *SW.K.S*, *SW.K.A*, *SW.K.V* und *SW.K.M* eine Rechenaufgabe mit nötigem Kraftansatz (K) als Lösungsansatz und *SW.B.S*, *SW.B.A*, *SW.B.V* und *SW.B.M* eine Rechenaufgabe mit nötigem Bewegungsansatz (B) als Lösungsansatz präsentiert. Die Rechenaufgaben weisen darüber hinaus dieselben Oberflächenmerkmale auf und sind auf Grundlage dieser Merkmale identisch zu Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 3 im zweiten Erhebungsschritt (vgl. Kapitel 4.1.2, Tab. 4.4). Es handelt sich somit um Rechenaufgaben, in denen senkrechte und beschleunigte Wurf- oder Fallbewegungen dargestellt sind und die nur einen Lösungsansatz (Energie-, Kraft- oder Bewegungsansatz) zur Lösung erfordern.

Die Einschätzungen der Studierenden zu den o. g. Items wurden zunächst überblicksartig gesichtet. Hierfür wurden die relativen Häufigkeiten der Ausprägungen zu den Einschätzungen in einem gestapelten Balkendiagramm je Rechenaufgabe und Aussage aufgetragen. Zwischen den Ausprägungen „trifft gar nicht zu“ bis „trifft voll zu“ wurde mithilfe einer farblichen Abstufung unterschieden. Je dunkler ein Abschnitt dargestellt ist, desto höher ist der Grad der Zustimmung zur Aussage. Durch die Anwendung dieser Darstellungsweise kann ein erster Eindruck über Ähnlichkeit und Verschiedenheit der Einschätzungen der Studierenden zu den unterschiedlichen Items gewonnen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass ein augenscheinlich auftretender Unterschied nicht zwingend auch von statistischer Signifikanz ist. Aus zeitlichen Gründen wurde auf die Durchführung von statistischen Tests verzichtet (hier: Vergleich von $3 \cdot 4 = 12$ Gruppen mit einem Friedman-Test, Verfahren beschrieben in Field, 2018). Zur Beurteilung der internen Konsistenz der eingesetzten Items wurde Cronbachs Alpha bzgl. aller Items zur Selbstwirksamkeitserwartung berechnet.

Weitere Analysen wurden nur bzgl. der Einschätzungen der Studierenden zum Identifizieren von Lösungsansätzen durchgeführt, da das Identifizieren von Lösungsansätzen den Kern dieser Arbeit darstellt (vgl. Kapitel 3). Es wurden drei Kreuztabellen erstellt, aus denen hervorgeht, inwiefern die Studierenden zu den drei Items *SWE.A*, *SW.K.A* und *SW.B.A* ähnliche Einschätzungen abgegeben haben. Anschließend wurden die Einschätzungen der Studierenden zu diesen drei Items gemittelt, da eine gewisse Ähnlichkeit dieser Einschätzungen durch das Messen desselben Konstruktes „Selbstwirksamkeitserwartung zum Identifizieren von Lösungsansätzen“ erwartet wird (vgl. Kapitel 2.4.2). Student*in 3 gibt beispielsweise für die Items *SWE.A* und *SW.B.A* eine Einschätzung von 5 („trifft voll zu“) und für Item *SW.K.A* eine Einschätzung von 3 („trifft eher zu“) an. Es ergibt sich in diesem Beispiel dann ein Mittelwert von $\frac{5+3+5}{3} = 4.33$. Die Auftretenshäufigkeit der Mittelwerte wurde zur Charakterisierung der Probandengruppe mithilfe eines Säulendiagramms dargestellt. Zur Prüfung der internen Konsistenz der gebildeten (Sub-)Skala wurde Cronbachs Alpha bzgl. dieser drei Items berechnet. Die Mittelwerte zu den Einschätzungen wurden anschließend einer hierarchischen Clusteranalyse (z. B. Bacher et al., 2010) unterzogen, sodass Studierende mit ähnlichen mittleren Einschätzungen bzw. mit verschiedener Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. des Identifizierens von Lösungsansätzen in weiteren Analysen in Gruppen getrennt betrachtet werden konnten. Die Clusteranalyse wurde durch Betrachtung der Koeffizienten, welche ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster darstellen, beendet. Hierbei wurde auf sprunghafte Anstiege der Koeffizienten geachtet (vgl. Bacher et al., 2010). Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass eine möglichst geringe Anzahl an Clustern gebildet wurde, mit denen jedoch noch Vergleiche in Analysen im Zusammenhang mit Zuordnungen von Rechenaufgaben durchgeführt werden konnten. Zu beachten ist bei der Ableitung von Schlussfolgerungen in Verbindung mit den Mittelwerten und den gebildeten Clustern, dass die Einschätzungen der Studierenden an einer ordinalen Likert-Skala getroffen wurden und die Abstufungen 0 – „trifft gar nicht zu“ bis 5 – „trifft voll zu“ möglicherweise nicht äquidistant sind. Beispielsweise hat Student*in 3 zu den drei Items die Einschätzungen 5 – „trifft voll zu“, 3 – „trifft eher zu“, 5 – „trifft voll zu“ und Student*in 14 die Einschätzungen 4 – „trifft weitgehend zu“, 4 – „trifft weitgehend zu“ und 5 – „trifft voll zu“ ausgewählt (s. Anhang D, Tab. 34). Der Mittelwert zu den Einschätzungen liegt somit in beiden Fällen bei 4.33. Inwiefern eine Einschätzung „trifft eher

zu“ gegenüber zwei Einschätzungen „trifft weitgehend zu“ bzgl. der Selbstwirksamkeitserwartung ähnlich zu gewichten sind, ist dabei aber nicht klar. Somit ist ein identischer Mittelwert möglicherweise nicht übersetzbar mit einer identisch hoch ausgeprägten Selbstwirksamkeitserwartung. Die Clusterbildung kann diesem Effekt entgegenwirken, sofern ein Cluster nicht durch einen einzigen Wert charakterisiert wird, sondern durch einen Wertebereich. Bei großen Diskrepanzen zwischen den einzelnen Einschätzungen einer*s Studierenden könnte die Kompensation durch die Clusterbildung jedoch nicht ausreichend sein. Die Mittelwertbildung wird daher in Bezug auf die Daten und Ergebnisse dieser Studie in Kapitel 6.1.3 diskutiert.

5.1.4 Auswertung von Daten über die Fähigkeiten der Studierenden in Mechanik

Die Daten der Studierenden aus dem Mechaniktest liegen numerisch kodiert vor (vgl. Anhang D, Tab. 35). Hierbei stellen die ganzen Zahlen 1 – 4 die ausgewählte Antwortoption dar. Wurde bspw. die zweite Antwortoption von einem*r Studierenden gewählt, so ist im Datensatz eine „2“ vermerkt. Da die Position der richtigen Antwort je Item zufällig gewählt ist (vgl. Kapitel 4.1.1), kann nur auf Grundlage der Daten nicht auf das Mechanikverständnis der Studierenden geschlossen werden. Die Daten wurden folglich zunächst aufbereitet. Hierbei wurde aus zeitlichen Gründen eine dichotome Kodierung vorgenommen, bei der eine je Item angemessene Antwort mit „1“ und eine unangemessene Antwort mit „0“ kodiert wurde. Insb. bei der Kodierung der Items zu Newtonschen Axiomen (Items *Mech.N.1* – *Mech.N.10*) kann jedoch eine polytome Betrachtung weitere Erkenntnisse über das Mechanikverständnis der Studierenden liefern (vgl. Just, Vorholzer & von Aufschnaiter, 2023). Ergebnisse der dichotomen Kodierung können Tabelle 50 in Anhang E entnommen werden.

Im Anschluss an die Aufbereitung der Daten wurden diese aus zwei Perspektiven überblicksartig gesichtet: Mit Blick auf die eingesetzten Items wurde je Item die Lösungswahrscheinlichkeit als Anteil der Studierenden bestimmt, die dieses Item angemessen beantwortet haben. Die Lösungswahrscheinlichkeit je Item wurde anschließend in einem Säulendiagramm aufgetragen, sodass die Ausprägungen der Lösungswahrscheinlichkeiten visuell bzgl. des Verteilungsgrades beurteilt werden konnten. Zudem wurden so Items identifiziert, deren Auswertung nicht zur Aufklärung beobachteter Varianz beiträgt, da sie von allen Studierenden angemessen beantwortet worden sind. Diese Items wurden für weitere Auswertungen ausgeschlossen. Des Weiteren wurde Cronbachs Alpha zur Beurteilung der Reliabilität der eingesetzten Items berechnet. Mit Blick auf die Angemessenheit der Antworten der einzelnen Studierenden wurde je Student*in der *korrigierte* Anteil angemessen beantworteter Items bestimmt und ebenfalls in einem Säulendiagramm aufgetragen. Der korrigierte Anteil bezieht sich dabei nur auf die Items, die nicht von allen Studierenden angemessen beantwortet worden sind. Auch hier wurde anhand des Säulendiagramms der Verteilungsgrad visuell beurteilt und zur Evaluation eines Boden- oder Deckeneffektes Studierende identifiziert, die die Items besonders erfolgreich oder wenig erfolgreich beantwortet haben.

Die Studierenden wurden auf Grundlage des Anteils angemessen beantworteter Items in Gruppen eingeteilt, die in weiteren Analysen zur Kontrastierung bzgl. des Mechanikverständnisses verwendet wurden. Zur Einteilung der Studierenden wurde eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt (z. B. Bacher et al., 2010). Die Clusteranalyse wurde durch Betrachtung der Koeffizienten, welche ein

Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster darstellen, beendet. Hierbei wurde auf sprunghafte Anstiege der Koeffizienten geachtet (vgl. Bacher et al., 2010). Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass eine möglichst geringe Anzahl an Clustern gebildet wurde, mit denen jedoch noch Vergleiche in Analysen im Zusammenhang mit Zuordnungen von Rechenaufgaben durchgeführt werden konnten.

5.1.5 Auswertung von Daten über mathematische Fähigkeiten der Studierenden

Die Daten der Studierenden aus dem Mathematiktest liegen als Zeichenfolge vor (vgl. Anhang D, Tab. 36). Diese Zeichenfolgen beinhalten teilweise nur ein Ergebnis und teilweise sogar mehrere Schritte des Lösungsvorgehens. Da aus der Zeichenfolge allein nicht auf die mathematischen Fähigkeiten der Studierenden (in Relation zu den Fähigkeiten, die im Rahmen der Studie zum Lösen der eingesetzten Rechenaufgaben erforderlich wären) geschlossen werden kann, müssten diese noch ausgewertet werden. Hierfür wurden die Ergebnisse der Studierenden bewertet. Für die angemessene Bearbeitung eines Items konnten die Studierenden einen Punkt erhalten. Unstimmigkeiten im Vergleich zur Musterlösung wurden mit Punktabzug, wie in Tabelle 5.1 beschrieben, festgehalten. Trat die Abweichung des Vorzeichens bei einem Item zu mehreren Lösungen einer quadratischen Gleichung auf, wurde der Abzug auch mehrfach durchgeführt. So wurde bspw. bei zwei Lösungen einer quadratischen Gleichung mit je einem Vorzeichenfehler für jede Lösung einmal .25 abgezogen. Die Antwort wurde somit mit $1 - .25 - .25 = .50$ bewertet. Auch wurden zum Teil an einer Antwort mehrere Abzüge zu verschiedenen Kriterien vorgenommen. Fehlt bei zwei Lösungen einer quadratischen Funktion eine Lösung, und das Vorzeichen der angegebenen Lösung ist zusätzlich fehlerhaft, wurde die Antwort mit $1 - .50 - .25 = .25$ bewertet. Die Studierenden haben jedoch mindestens .00 Punkte erhalten. Die von den Studierenden erreichten Punktzahlen können Tabelle 53 in Anhang E entnommen werden.

Die bewerteten Antworten der Studierenden wurden zunächst überblicksartig gesichtet. Dazu wurde einerseits je Item die Lösungswahrscheinlichkeit als Mittelwert der Punktzahl bestimmt, die die Studierenden zu diesem Item erreicht haben. Bspw. wurde zum Item *Math.1* 25 mal die Punktzahl 1, vier mal die Punktzahl .75 und ein mal die Punktzahl .00 erreicht (vgl. Anhang E, Tab. 53), sodass die Lösungswahrscheinlichkeit für dieses Item zu $\frac{25 \cdot 1.00 + 4 \cdot 0.75 + 1 \cdot 0.00}{30} = .93 = 93\%$ berechnet wurde. Die Lösungswahrscheinlichkeiten wurden im Anschluss zu jedem Item in einem Säulendiagramm aufgetragen, sodass auf Basis visueller Eindrücke der Verteilungsgrad der Lösungswahrscheinlichkeiten über das mögliche Spektrum von .00 bis 1.00 beurteilt werden konnte. Des Weiteren wurde auf Items geachtet, deren Lösungswahrscheinlichkeiten am Rand des möglichen Spektrums liegen, sodass Items identifiziert werden konnten, die kaum zur Aufklärung von Varianz bzgl. der Antworten der Studierenden beitragen. Des Weiteren wurde Cronbachs Alpha bzgl. aller Items des Mathematiktests sowie bzgl. aller Items außer Item *Math.8* als Hinweis auf die Reliabilität des Instruments bestimmt. Der zweite Wert für Cronbachs Alpha (ohne Item *Math.8*), wurde berechnet, da Item *Math.8* einen trigonometrischen Schwerpunkt aufweist und mit diesem nicht wie durch die Items *Math.1* – *Math.7* primär das Einsetzen und Umformen von Termen geprüft wird. Es ist somit erwartbar, dass Cronbachs Alpha in Bezug auf alle Items des Mathematiktests geringer als Cronbachs Alpha bzgl. der Items *Math.1* – *Math.7* ausfällt, weil das durch den Test erfasste Konstrukt zweidimensional sein könnte.

Tabelle 5.1*Bewertungskriterien bzgl. der Antworten der Studierenden zu Mathematikitems*

Kriterium	Abzug
Abweichung bzgl. des Vorzeichens im Ergebnis (z. B. „7“ statt „-7“, vgl. Student*in 28 zu Item <i>Math.4</i> , Tab. 36 in Anhang D)	.25 Punkte
Abweichung bzgl. der Anzahl an Lösungen oder vollständige Abweichung bei einer von zwei Lösungen (z. B. „7“ statt „-5 und 7“, vgl. Student*in 12 zu Item <i>Math.5</i> , Tab. 36 in Anhang D)	.50 Punkte
Lösung fehlt oder weicht vollständig von Musterlösung ab (z. B. „10 und -2“ statt „-5 und 7“, vgl. Student*in 10 zu Item <i>Math.5</i> , Tab. 36 in Anhang D)	1.00 Punkte

Andererseits wurde je Student*in der Anteil der erreichten Punkte zu den maximal erreichbaren Punkten bestimmt. Bspw. hat Student*in 1 zu den Items *Math.1* – *Math.6* die volle Punktzahl (1.00), zu *Math.7* .75 und zu *Math.8* .00 erreicht (vgl. Anhang E, Tab. 53). Bei maximal 8.00 Punkten ergibt sich entsprechend ein Anteil von $\frac{6 \cdot 1.00 + .75 + .00}{8.00} = 84\%$. Der erreichte Anteil je Student*in wurde ebenfalls in ein Säulendiagramm übertragen und der Verteilungsgrad, auch zur Evaluation eines Boden- oder Deckeneffektes, visuell begutachtet.

Im Anschluss wurden die Anteile der erreichten Punktzahlen der Studierenden mit einer hierarchischen Clusteranalyse untersucht (z. B. Bacher et al., 2010). Auf diese Weise konnten Studierende mit ähnlich hohen Anteilen bzgl. der erreichten Punkte einer gemeinsamen Gruppe zugeteilt werden. Diese Gruppen wurden in weiteren Analysen zur Kontrastierung bzgl. der mathematischen Fähigkeiten verwendet. Die Clusteranalyse wurde durch Betrachtung der Koeffizienten, welche ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster darstellen, beendet. Hierbei wurde auf sprunghafte Anstiege der Koeffizienten geachtet (vgl. Bacher et al., 2010). Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass eine möglichst geringe Anzahl an Clustern gebildet wurde, mit denen jedoch noch Vergleiche in Analysen im Zusammenhang mit Zuordnungen von Rechenaufgaben durchgeführt werden konnten.

5.2 Umgang mit Daten über Zuordnungen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen

Insbesondere zur Bearbeitung von Forschungsfrage 2.1, inwiefern es Studierenden gelingt, Ansätze zum Lösen von Rechenaufgaben angemessen auszuwählen, wurde ein Erhebungsinstrument eingesetzt, das Zuordnungen Studierender von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen erfasst (s. Kapitel 4.1.2). Die Rohdaten über die Zuweisung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen beinhalten für alle Proband*innen und jeder präsentierten Rechenaufgabe Informationen darüber, welche Lösungsansätze jeweils ausgewählt worden sind. Da die Mehrfachauswahl in der Erhebung gestattet war, sind im Datensatz pro Proband*in und Rechenaufgabe bis zu drei Ansätze dokumentiert.

Die Beschaffenheit der vorliegenden Daten eröffnet viele Möglichkeiten zur Gestaltung von qualitativen und quantitativen Auswertungszugängen, um den Fragestellungen in jeweils etwas unterschiedlicher Nuancierung nachzugehen. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Ansätze vorgestellt, die nicht nur pilotiert, sondern auch umfassender auf den Datensatz angewendet wurden. Zu diesen gehören Voranalysen, die bspw. von den Studierenden ausgelassene Zuordnungen von Rechenaufgaben in den Blick nehmen. Die Voranalysen bilden eine Grundlage für die Interpretation von Ergebnissen der anschließenden Hauptanalysen und das Ableiten von validen Schlussfolgerungen. Voranalysen und Hauptanalysen teilen sich wie folgt auf die Unterkapitel auf:

Voranalysen	5.2.1 Auswertung von Daten über fehlende Zuordnungen 5.2.2 Auswertung von Daten über die Zuordnungswahrscheinlichkeit einzelner Rechenaufgaben
Hauptanalysen	5.2.3 Auswertung von Daten über den Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen 5.2.4 Auswertung von Daten über die Häufigkeit ausgewählter Lösungsansätze bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen 5.2.5 Auswertung von Daten über den Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz

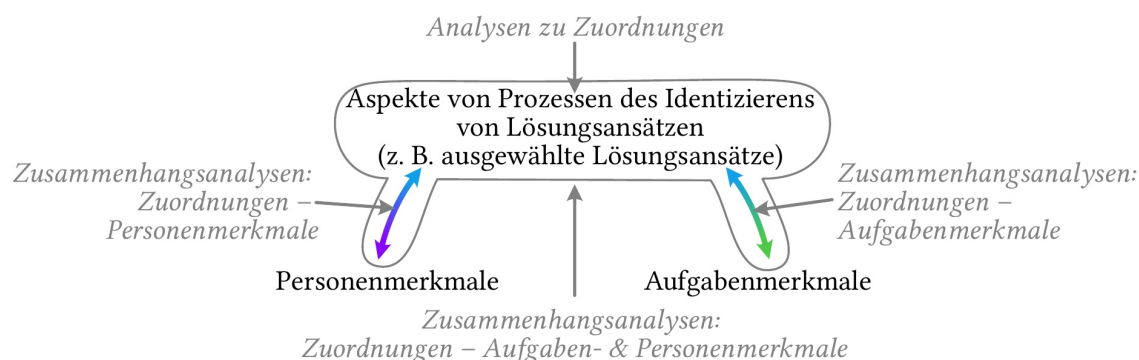
Die Unterkapitel sind i. d. R. untergliedert in Abschnitte zu Analysen, die auf die Zuordnungen¹ der Studierenden im Allgemeinen bezogen sind, und Zusammenhangsanalysen. Mit Letzteren wird stets die Verbindungen zwischen den Daten zu Zuordnungen der Studierenden und den Daten zu Personen- und/oder Aufgabenmerkmalen fokussiert betrachtet. Am Forschungsdreieck können die Analysen zu den Zuordnungen somit der oberen Ecke „Zuordnungen zu Lösungsansätzen“, die Zusammenhangsanalysen mit Bezug zu Personenmerkmalen dem linken Doppelpfeil und die Zusammenhangsanalysen mit Bezug zu Aufgabenmerkmalen dem rechten Doppelpfeil zugeordnet werden. Analysen, die den Zusammenhang aus den Fähigkeiten der Studierenden zur Identifizierung

¹bzw. auf abgeleitete Größen, wie Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben oder Zuordnungserfolge der Studierenden

von Lösungsansätzen und Personen- als auch Aufgabenmerkmale in den Blick nehmen, stellen die Vereinigung aus der oberen Ecke und den beiden Doppelpfeilen dar (s. Abb. 5.2).

Abbildung 5.2

Zuordnung der Analyseabschnitte am Forschungsdreieck (s. Abb. 1.1, Kapitel 1)



Für die primär quantitativ geprägten Analysen (s. Kapitel 5.2.2, 5.2.3 und 5.2.5) wurden die Zuordnungen der Studierenden zuerst bewertet. Hierfür konnten u. a. zwei zueinander extreme, dichotome Bewertungsschemata zu Grunde gelegt werden. Einerseits können Zuweisungen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen als angemessen gewertet werden, bei denen die Anwendung des Ansatzes bzw. der Ansätze *irgendwann* zur Lösung der Rechenaufgabe führt. Hier müssten jedoch bspw. auch wirre Ansatzkombinationen als richtig gewertet werden, bei denen nur einer der gewählten Ansätze zum Voranschreiten führen würde und alle anderen gewählte Ansätze ein „im Kreis Rechnen“ hervorrufen würden. Die Fähigkeiten der Studierenden zur Identifizierung von Lösungsansätzen wird bei Anwendung dieses Schemas also überschätzt, weswegen diese Variante verworfen wurde. Ein weiteres Bewertungsschema stellt andererseits die Betrachtung der Zuweisungen der Rechenaufgaben in Relation zu *dem effizientesten Lösungsansatz* bzw. *der effizientesten Lösungsansatzkombination* dar. Hierbei zeichnet sich ein effizienter Lösungsansatz bzw. eine effiziente Lösungsansatzkombination in der Anwendung durch eine besonders niedrige Anzahl an erforderlichen Rechenschritten zur Generierung einer Lösung aus. Die Nutzung dieses Bewertungsschemas führt jedoch möglicherweise zu einer Unterschätzung der Fähigkeiten der Studierenden bzgl. des Identifizierens von Lösungsansätzen in Rechenaufgaben, da Lösungsansätze bereits als unangemessen gewertet werden, die in der Anwendung im Vergleich zur effizientesten Lösung nur zu minimal mehr Rechenschritten führen. Dieses Bewertungsschema wurde im Rahmen dieser Arbeit dennoch aus Gründen der Praktikabilität, der Nachteile des anderen Extremums sowie der Vergleichbarkeit von Ergebnissen dieser Arbeit mit Ergebnissen aus anderen Arbeiten, wie z. B. von Friege und Lind (2004) und Binder et al. (2019), für die entsprechenden Analysen herangezogen.

Wie die Beschreibungen der Bewertungsschemata bereits nahe legen, wurde die Bewertung zur zeiteffizienten Auswertung dichotom durchgeführt. Hierbei wurde jede angemessene Zuweisung mit 1 und jede unangemessene Zuordnung mit 0 kodiert. Wurde von Studierenden zu einer präsentierten Rechenaufgabe kein Lösungsansatz ausgewählt, wurde die Zuweisung als falsch bzw. 0 gewertet, da die Studierenden zum Auslassen von Rechenaufgaben angewiesen worden sind, wenn sie kei-

nen Lösungsansatz identifizieren konnten (s. Kapitel 4.1.2). Wurden Studierenden bspw. aufgrund vorheriger Schwierigkeitseinschätzungen Rechenaufgaben nicht angezeigt, wurden die fehlenden Zuordnungen der entsprechenden Rechenaufgaben mit dem Wert 99 als fehlende Daten festgehalten. Auf diese Weise ergab sich eine zu Tabelle 5.2 ähnliche Datenübersicht.

Tabelle 5.2

Ausschnitt der dichotom kodierten Daten (1: angemessene Zuweisung; 0: unangemessene Zuweisung) der Studierenden über die Zuweisungen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen

ID	Rechenaufgabe										...
	1.1.K	1.2.E	1.3.B	1.4.E	1.5.B	1.6.K	2.1.K	2.2.B	2.3.B	2.4.B	
1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
6	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	...
7	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
30	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	...

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Rechenaufgaben erfolgt nach dem Schema „Aufgabensatz.Aufgabennummer.Lösungsansatz“, wobei „Lösungsansatz“ den effizientesten Lösungsansatz bedeutet (E: Energieansatz, K: Kraftansatz, B: Bewegungsansatz). Daten über die Zuordnungen der Studierenden können Anhang D, Tabelle 37 entnommen werden. Die vollständige Tabelle der dichotom kodierten Daten ist in Anhang E, Tabelle 56 zu finden.

5.2.1 Auswertung von Daten über fehlende Zuordnungen

Fehlende Daten können zur Verringerung der Generalisierbarkeit (s. Messick, 1995) beitragen. Ordnet bspw. nur ein kleiner Anteil der Probanden Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen zu, so können Schlussfolgerungen aus Ergebnissen zu diesen Zuordnungen möglicherweise nicht sinnvoll auf die gesamte Probandengruppe oder darüber hinaus auf Studierende im Allgemeinen übertragen werden. Ohne ausreichende Beachtung der fehlenden Daten könnten daher Schlussfolgerungen abgeleitet werden, die nicht valide sind, bzw. es können „Verzerrungen“ (McKnight, McKnight, Sidani & Figueredo, 2007) bzgl. der Interpretation von Ergebnissen entstehen. Im Rahmen dieser Studie sind fehlende Daten bspw. beim Vergleich der Fähigkeiten Studierender zum Zuordnen von Rechenaufgaben unterschiedlicher Aufgabensätze bedeutsam, da bspw. die Zuordnung von Aufgabensatz 2 nur freigeschaltet wurde, wenn die Studierenden die vorherige Zuordnung von Aufgabensatz 1 als mindestens tendenziell schwierig empfunden haben (vgl. Kapitel 4.1.2). Bei den Studierenden, die Aufgabensatz 2 bearbeitet haben, könnte es sich somit um eine Negativauswahl handeln, sodass Vergleiche mit Zuordnungen aus anderen Aufgabensätzen nicht sinnvoll wären. So würde in diesem Beispiel die Schwierigkeit der Zuordnungen überschätzt werden. Darüber hinaus können Effekte mithilfe von Testverfahren bei geringen Bearbeitungszahlen nicht mehr sicher feststellen werden (vgl. Field, 2018), sodass in einem solchen Fall auf die Durchführung dieser Testverfahren verzichtet werden könnte. Um Analysen entsprechend der Daten auswählen und Ergebnisse bzgl. möglicher

Verzerrungen (genauer) einordnen zu können, wurden daher vor der inhaltlichen Auswertung der Daten Analysen bzgl. fehlender Daten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analysen können zudem als Hinweise für die Überarbeitung des Erhebungsmaterials für weitere Erhebungen dienen.

Bei der Bearbeitung des Online-Fragebogens gibt es zwei Möglichkeiten, wie fehlende Zuordnungen entstehen können. Eine dieser ist, dass Studierende bei der Zuordnung von Rechenaufgaben eines Aufgabensatzes *einzelne Rechenaufgaben* auslassen konnten. Im Datensatz sind solche Auslassungen somit dadurch erkennbar, dass andere Rechenaufgaben des Aufgabensatzes einem Lösungsansatz zugeordnet worden sind. Im Rahmen der Auswertung wurde genauer betrachtet, welche Aufgaben in welcher Häufigkeit ausgelassen wurden. Wurden einzelne Rechenaufgaben bspw. häufiger nicht zugewiesen, wurde geprüft, ob die Aufgabensituation oder -stellung schwierig zu verstehen sind. Gleichzeitig wurde untersucht, ob die Auslassungen derart häufig erfolgt sind, dass diese für die Ableitung von validen Schlussfolgerungen oder für die Durchführung von Folgeanalysen bzw. -tests berücksichtigt werden müssen. Auch wurde in der Auswertung betrachtet, welche Studierenden in welcher Häufigkeit Rechenaufgaben ausgelassen haben. Sollten einzelne Studierende besonders häufig Rechenaufgaben keinen Lösungsansätzen zugewiesen haben, wurden die Ursachen hierfür separat ergründet und die entsprechenden Studierenden ggf. aus dem Analysedatensatz entfernt. Des Weiteren wurden stets Ursachen für fehlende Zuweisungen diskutiert, da die Ursachen die Aufbereitung der Daten für Folgeanalysen beeinflussen konnten. Beispielsweise wurde eine Auslassung aufgrund technischer Probleme als fehlende Zuweisung / fehlender Wert behandelt, eine Auslassung aufgrund von hoher Schwierigkeit jedoch als Fehler bzw. insuffiziente Fähigkeit gewertet.

Alternativ zur Auslassung von einzelnen Zuordnungen können fehlende Zuordnungen einen *gesamten Aufgabensatz* betreffen. Im Rahmen der Auswertung wurde genauer betrachtet, bei welchen Aufgabensätzen in welcher Häufigkeit und von welchen Studierenden keine einzige Zuordnung getätigt worden ist. Darauf aufbauend wurden mögliche Ursachen diskutiert. Zu beachten ist, dass Aufgabensatz 2 zu Übungszwecken nur für Studierende freigeschaltet wurde, die die Zuordnung der Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 1 als „sehr schwer“ bis „eher schwer“ eingeschätzt haben. Aufgabensatz 5 wurde als Aufgabensatz mit erwarteter erhöhter Schwierigkeit nur den Studierenden präsentiert, die die Zuordnung des vorangegangenen Aufgabensatz 4 nicht allzu schwer, also „eher schwer“ bis „sehr leicht“ empfunden haben (s. Kapitel 4.1.2). Somit konnte auf Basis der Einschätzung der Schwierigkeit der Zuordnung des jeweils vorangegangenen Aufgabensatzes beurteilt werden, ob der gerade betrachtete Aufgabensatz von den Studierenden ausgelassen wurde oder er nicht zum Zuordnen freigeschaltet wurde. Im Datensatz ist die wahrgenommene Schwierigkeit jedoch nicht wörtlich sondern numerisch kodiert. Hierbei ist der Wert „1“ als „sehr schwer“ und der Wert „6“ als „sehr leicht“ zu übersetzen (s. Anhang D, Tabelle 38). Für die Diskussion von Ursachen wurden weitere Angaben der Studierenden mitbetrachtet, z. B. zu Schwierigkeiten während der Zuordnung (s. Anhang D, Tab. 38 und 39).

5.2.2 Auswertung von Daten über die Zuordnungswahrscheinlichkeit einzelner Rechenaufgaben

Bevor die Daten mit Blick auf die Fähigkeiten der Studierenden untersucht und Rechenaufgaben zu Rechenaufgabengruppen zusammengefasst worden sind, wurden die einzelnen Rechenaufgaben in den Fokus gerückt. Vorab wurde u. a. der Frage nachgegangen, ob die Zusammenfassung von bzgl. der Oberflächen- wie auch in der Tiefenstruktur ähnlich gearteten Rechenaufgaben zu Rechenaufgabengruppen mit den Daten der Studierenden sinnvoll ist. Hierbei wurde insb. darauf geachtet, ob einzelne Rechenaufgaben auffällig häufig oder selten angemessen einem Lösungsansatz zugeordnet worden sind, oder durch immer häufiger / seltener werdende angemessene Zuweisungen ein Lern-/Erschöpfungseffekt wahrscheinlich ist. Für ebensolche Analysen wurde die *Zuordnungswahrscheinlichkeit* als Hilfsgröße eingeführt. Sie gibt je Rechenaufgabe den Anteil der Studierenden an, die diese Rechenaufgabe einem angemessenen Lösungsansatz oder einer angemessenen Lösungsansatzkombination zugewiesen haben (vgl. Tab. 5.3). Fehlende Zuordnungen sind nicht in die Berechnung des Anteils angemessener Zuordnungen eingegangen. Die Referenzmenge an Studierenden bzw. der Nenner wurde entsprechend der Anzahl fehlender Zuordnungen reduziert.

Tabelle 5.3

Bestimmung der Zuordnungswahrscheinlichkeit für alle Rechenaufgaben

(a) Ausgangstabelle: Dichotome Kodierung (s. Tab. 5.2)

ID	Rechenaufgabe						
	1.1.K	1.2.E	1.3.B	1.4.E	1.5.B	1.6.K	...
1	1	1	1	1	1	1	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
6	0	0	1	0	1	0	...
7	1	1	1	1	1	1	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	0	1	1	1	1	1	...

(b) Ergebnistabelle

Rechenaufgabe	Zuordnungs- wahrscheinlichkeit
1.1.K	.50
1.2.E	.70
1.3.B	.67
1.4.E	.80
1.5.B	.90
⋮	⋮

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Rechenaufgaben erfolgt nach dem Schema „Aufgabensatz.Aufgabennummer.Lösungsansatz“, wobei „Lösungsansatz“ den effizientesten Lösungsansatz bedeutet (E: Energieansatz, K: Kraftansatz, B: Bewegungsansatz). Die Zuordnungen der Studierenden in Teil (a) sind gemäß der Setzung 1: angemessene Zuordnung, 0: unangemessene Zuordnung kodiert. Daten über die Zuordnungen der Studierenden können Anhang D, Tabelle 37 entnommen werden. Die vollständige Tabelle der dichotom kodierten Daten ist in Anhang E, Tabelle 56 zu finden.

Analyse zu Zuordnungen. Die Zuordnungswahrscheinlichkeiten der einzelnen Rechenaufgaben (vgl. Beispiel in Tab. 5.3b) wurden mithilfe von Säulendiagrammen sortiert nach Aufgabensätzen dargestellt und deren Größen miteinander verglichen. Für jeden Aufgabensatz wurde ein separates Diagramm erstellt, da sich die Bearbeitungshäufigkeiten der Aufgabensätze unterscheiden können und sich dies auf die Interpretation der Ergebnisse auswirken kann. Die Ausprägungen der Zuord-



nungswahrscheinlichkeiten wurden anschließend bzgl. des Verlaufes analysiert. Hierbei wurde insb. darauf geachtet, ob steigende oder fallende Zuordnungswahrscheinlichkeiten vorliegen und ggf. ein Lern- oder Ermüdungseffekt eingetreten sein könnte. Das Auftreten von einem der beiden Effekte kann für das Zusammenfassen von Rechenaufgaben zu Rechenaufgabengruppen problematisch werden, da die Reihenfolge der Rechenaufgaben im Aufgabensatz zufällig gewählt wurde. Würden bspw. zwei Rechenaufgaben zu einer Gruppe zusammengefasst werden, die zufällig am Ende der Bearbeitung eines Aufgabensatzes standen, so kann bspw. bei einem Ermüdungseffekt nicht mehr sicher abgeleitet werden, ob diese Rechenaufgaben aufgrund ihrer Merkmale oder ihrer Position im Aufgabensatz so häufig unangemessen zugeordnet worden sind.

Zusammenhangsanalyse: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Die Zusammenhangsanalyse bzgl. der Zuordnungswahrscheinlichkeit der Rechenaufgaben und Aufgabenmerkmalen bestand in der Prüfung, ob Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen eine ähnliche Zuordnungswahrscheinlichkeit aufweisen. Hierfür wurden die Rechenaufgaben erneut mit Säulendiagrammen dargestellt, allerdings wurden hier im Vergleich zu den *Analysen zu Zuordnungen* die Rechenaufgaben nach den Aufgabenmerkmalen, also nach Aufgabensätzen *und* erforderlichen Lösungsansätzen, gruppiert. Als ähnlich geartet wurden hier zwei Rechenaufgaben bezeichnet, wenn sich deren Zuordnungserfolg um .20 oder weniger unterscheidet.

5.2.3 Auswertung von Daten über den Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen

Im Rahmen der Hauptanalysen werden in diesem Kapitel Analysen zu den Fähigkeiten der Studierenden bzgl. des Erkennens von Lösungsansätzen in einer quantitativen Näherung vorgestellt. Diese Fähigkeiten der Studierenden wurden hier über den Zuordnungserfolg bzgl. einzelner Rechenaufgabengruppen gemessen. Jede Rechenaufgabengruppe besteht dabei aus Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen in Oberflächen- und Tiefenstruktur. Die Rechenaufgaben einer Rechenaufgabengruppe stammen also aus demselben Aufgabensatz und zu deren Lösung wird derselbe Lösungsansatz angewendet. Der Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen wurde für diese Arbeit daher wie folgt definiert:

Der *Zuordnungserfolg* einer*s Studierenden bzgl. einer Rechenaufgabengruppe, bestehend aus Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen, ist der Anteil an Rechenaufgaben dieser Rechenaufgabengruppe, den die Person angemessen einem Lösungsansatz oder einer Lösungsansatzkombination zugeordnet hat.

In Tabelle 5.4 wird die Berechnung des Zuordnungserfolges bzgl. Rechenaufgaben gleicher Aufgabenmerkmale verdeutlicht. Wird bspw. Student*in 6 betrachtet, so ergibt sich zu Kraftansatzaufgaben in Aufgabensatz 1 ein Zuordnungserfolg von .00, da die beiden zugehörigen Aufgaben nicht richtig zugeordnet wurden (vgl. hellblaue Unterlegung in Tabelle 5.4a). Rechnerisch ergibt sich ein Quotient aus der Summe der jeweils richtigen Zuordnungen zum Lösungsansatz (hier: 0+0), dividiert durch die Zahl der Rechenaufgaben zur jeweiligen Rechenaufgabengruppe (hier: 2):

$$\frac{0 + 0}{2} = .00$$

Fehlende Zuordnungen sind nicht in die Berechnung des Anteils angemessener Zuordnungen eingegangen. Die Referenzmenge an Rechenaufgaben bzw. der Nenner wurde entsprechend der Anzahl fehlender Zuordnungen reduziert. Die für alle Studierenden und Rechenaufgabengruppen bestimmten Zuordnungserfolge wurden als Grundlage für folgende Einzel- und Zusammenhangsanalysen verwendet.

Analysen zu Zuordnungen. Im Rahmen einer Analyse zu den Zuordnungen der Studierenden wurde untersucht, inwiefern der Zuordnungserfolg der Studierenden Varianzen aufweist, da ohne solche Varianzen die Durchführung von Zusammenhangsanalysen kaum einen Ertrag bringen würde. Hierbei wurden einerseits Varianzen zwischen den Studierenden (1) und andererseits Varianzen zwischen den Rechenaufgabengruppen (2) in den Blick genommen, da auch in den Zusammenhangsanalysen beide Perspektiven eingenommen wurden. Für die Analyse der Zuordnungswahrscheinlichkeiten mit Blick auf die Fähigkeiten der Studierenden (1) wurden die Zuordnungserfolge in den Rechenaufgabengruppen je Aufgabensatz in einem Säulendiagramm dargestellt. Die Werte wurden dabei nach den Studierenden (bzw. der Studierenden-ID) gruppiert, um Unterschiede zwischen den Zuordnungserfolgen der Studierenden sichtbar zu machen. Des Weiteren wurden Boxplots der



Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen erstellt, aus denen ebenfalls, jedoch weniger individuell, Varianzen der Studierenden bzgl. der Zuordnungserfolge evaluiert wurden (1). Die Lage des Medians, des oberen und unteren Quartils, die Spannweite sowie Ausreißer zu jedem Boxplot gibt Aufschluss auf die Verteilung der Daten. Die Verteilungen der Zuordnungserfolge bzgl. der Rechenaufgabengruppen im Vergleich können wiederum Hinweise darauf geben, ob die Zuordnungserfolge auch zwischen den Rechenaufgabengruppen variieren und ob es entsprechend sinnvoll ist, eine Zusammenhangsanalyse mit Blick auf die Aufgabenmerkmale durchzuführen (2). Zur weiteren Charakterisierung der Verteilungen wurden zusätzlich im Vergleich zu den Medianen auch die Mittelwerte der Zuordnungserfolge bestimmt und die Zuordnungserfolge der Studierenden erneut mithilfe von Säulendiagrammen dargestellt, nun jedoch gruppiert nach den Aufgabenmerkmalen (2). Aus diesen Diagrammen geht bspw. hervor, ob sich die Zuordnungserfolge der Studierenden je Rechenaufgabengruppe stark auf den Median konzentrieren und die Verteilungen dadurch weniger variantenreich sind. Alle Säulendiagramme und Boxplots wurden für jeden Aufgabensatz separat angelegt, da die Bearbeitungshäufigkeiten teilweise unterschiedlich waren.

Tabelle 5.4

Bestimmung des Zuordnungserfolges bzgl. Rechenaufgabengruppen mit identischen Aufgabenmerkmalen für alle Studierenden

(a) Ausgangstabelle: Dichotome Kodierung (s. Tab. 5.2)

ID	Rechenaufgabe						...
	1.1.K	1.2.E	1.3.B	1.4.E	1.5.B	1.6.K	
1	1	1	1	1	1	1	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
6	0	0	1	0	1	0	...
7	1	1	1	1	1	1	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	0	1	1	1	1	1	...

(b) Ergebnistabelle

ID	Rechenaufgaben- gruppe			
	1E	1K	1B	...
1	1.00	1.00	1.00	...
⋮	⋮	⋮	⋮	
6	.00	.00	1.00	...
7	.00	.50	.50	...
⋮	⋮	⋮	⋮	
30	1.00	.50	1.00	...

Anmerkung. In der Tabelle werden folgende Abkürzungen, Werte und Hervorhebungen genutzt: *ID*: Fortlaufende Nummer zur Referenzierung der Personen; Nummerierung *X.Y.Z*: Bezeichnung der Rechenaufgaben über den Aufgabensatz *X*, eine fortlaufende Nummer je Aufgabensatz *Y* und den effizientesten Lösungsansatz *Z* (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz); Werte innerhalb der Tabelle im Teil (a) entstammen der dichotome Kodierung der Angemessenheit der Zuordnung (1: angemessen, 0: unangemessen, s. Anhang E, Tab. 56); Nummerierung *XZ*: Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen über den Aufgabensatz *X* und den effizientesten Lösungsansatz *Z* (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz); Werte innerhalb der Tabelle in Teil (b) geben den berechneten Zuordnungserfolg an; in Teil (a) sind exemplarisch Kodierungen in derselben Farbe hervorgehoben, wenn diese zur Berechnung des Zuordnungserfolges zusammen betrachtet werden. Das zugehörige Ergebnis – der Zuordnungserfolg – ist in Teil (b) entsprechend mit derselben Farbe markiert.



Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Personenmerkmale. Zur Analyse, inwiefern Hinweise auf mögliche Zusammenhänge zwischen Daten zu verschiedenen Personenmerkmalen und dem Zuordnungserfolg der Studierenden bestehen, werden die Studierenden in Gruppen bzgl. ihrer Selbsteinschätzungen bzw. Testscores geteilt. Diese Gruppen werden im Anschluss in Bezug auf die erreichten Zuordnungserfolge verglichen. Details dazu, wie die Daten in Abhängigkeit von den Personenmerkmalen in Verbindung gebracht und ausgewertet wurden, werden im Folgenden erläutert.

Zur Betrachtung von Unterschieden zwischen Gruppen an Studierenden bzgl. des *physikalischen* bzw. *mathematischen Selbstkonzeptes* werden die in Kapitel 5.1.1 beschriebenen Cluster über die Einschätzung der Studierenden zu einem Item zum physikalischen bzw. mathematischen Selbstkonzept herangezogen. Im ersten Schritt werden die Studierenden in die Cluster zum physikalischen Selbstkonzept gruppiert. Die Zuordnungserfolge der Studierenden werden im Anschluss in Abhängigkeit vom Cluster je Rechenaufgabengruppe miteinander verglichen. Hierfür werden zum einen Boxplots erstellt, mithilfe derer ein erster visueller Eindruck über die Verteilung der Zuordnungserfolge gewonnen werden kann. Des Weiteren werden inferenzstatistische Tests zur Signifikanz und zum Effekt von beobachteten Unterschieden durchgeführt. Da die Cluster zum Teil nur geringe Größen aufweisen, werden die Cluster mit weniger als 5 Studierenden nicht weiter betrachtet. Somit werden nur Studierende im Cluster *hoch* oder *sehr hoch* für die weitere Analyse inkludiert. Auch werden aus demselben Grund keine inferenzstatistischen Tests zu den Rechenaufgabengruppen 2K und 2B durchgeführt. Für die verbleibenden Rechenaufgabengruppen 1E, 1K, 1B, 3E, 3K, 3B, 4E, 4B, 4K, 5EK, 5BK und 5BE wird jeweils ein Mann-Whitney-Test (s. Field, 2018) durchgeführt. Aufgrund mangelhafter Normalverteilung der Daten wurden keine t-Tests vollzogen (s. Field, 2018). Im zweiten Schritt wurden die Studierenden in die Cluster zum mathematischen Selbstkonzept gruppiert. Die Auswertungsschritte erfolgten analog zu denen nach der Gruppierung der Studierenden in Cluster zum physikalischen Selbstkonzept.

Es wurde untersucht, inwiefern Studierende, die ähnliche Einschätzungen zu *Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben* abgegeben haben, auch ähnliche Erfolge bei der Zuordnung erzielt haben. Hierfür wurden die Zuordnungserfolge der Studierenden für jede Rechenaufgabengruppe¹, gruppiert nach den Clustern über Schwierigkeitstypen (s. Kapitel 5.1.2 und 6.1.2), in einem Boxplot visualisiert. Durch den Einsatz der Boxplots lassen sich Daten kompakt und übersichtlich darstellen, was die Wahrnehmung ihrer Verteilung erleichtert. Dies ist besonders vorteilhaft für die Analyse der Ähnlichkeit von den Daten der Studierenden, die demselben Cluster / Schwierigkeitstyp zugeordnet worden sind. Darüber hinaus ermöglichen Boxplots den Vergleich zwischen zwei Clustern zu derselben Rechenaufgabengruppe. Diese Unterschiede in den Zuordnungserfolgen der Studierenden zwischen den einzelnen Clustern wurden vertiefend mittels Mann-Whitney-Tests (s. Field, 2018) für jede Rechenaufgabengruppe analysiert. Hierdurch ließ sich die Signifikanz von beobachteten Unterschieden bewerten. Des Weiteren wurde analysiert, ob Studierende, die Schwierigkeiten bei der Identifikation von Lösungsansätzen für Rechenaufgaben angeben, sich in ihrem Zuordnungserfolg von jenen unterscheiden, die solche Schwierigkeiten verneinen. Zu diesem Zweck wurden

¹Eine Rechenaufgabengruppe umfasst Rechenaufgaben mit denselben Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen.

die Zuordnungserfolge der Studierenden für jede Rechenaufgabengruppe in Boxplots visualisiert, gruppiert nach ihrer Zustimmung oder Ablehnung zur Aussage: „Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es daran, dass mir der passende Ansatz nicht einfällt.“ gruppiert. Je Rechenaufgabengruppe wurden somit zwei Boxen im Boxplot erstellt, wobei eine Box die Zuordnungserfolge der Studierenden abbildet, die der Aussage zustimmen. Die andere Box visualisiert die Zuordnungserfolge der Studierenden, die die Aussage ablehnen. Die Bewertung der Signifikanz von beobachteten Unterschieden wurde je Rechenaufgabengruppe auf Grundlage von Ergebnissen eines Mann-Whitney-Tests (s. Field, 2018) durchgeführt.

Aufbauend auf den Angaben der Studierenden zu den Items über die *Selbstwirksamkeitserwartung zum Identifizieren von Lösungsansätzen* wurde untersucht, inwiefern Studierende mit ähnlichen Angaben (bzw. in gleichen Clustern, vgl. 6.1.3) ähnliche Erfolge bei der Zuordnung erzielt haben. Dazu wurden die Zuordnungserfolge der Studierenden für jede Rechenaufgabengruppe, gruppiert nach den Clustern über die Selbstwirksamkeitserwartung zum Identifizieren von Lösungsansätzen, in einem Boxplot visualisiert. Anhand der Boxplots wurde die Verteilung der Daten analysiert. Zudem wurde auf Unterschiede von Verteilungen der Zuordnungserfolge zwischen den Clustern zur selben Rechenaufgabengruppe geachtet. Die Signifikanz von Unterschieden zwischen den Clustern *mäßig*, *hoch* und *sehr hoch* wurde jeweils mit einem Kruskal-Wallis-Test (s. Field, 2018) bewertet. Da nur ein*e Studierende*r dem Cluster *neutral* zugeordnet wurde, wurde dieser Cluster in den Kruskal-Wallis-Tests nicht berücksichtigt. Eine einfaktorielle ANOVA wurde nicht durchgeführt, da mindestens die Voraussetzung der Normalverteilung der Daten verletzt ist (vgl. Field, 2018).

In der *Analyse von erreichten Punkten im Mechaniktest* in Verbindung mit den Zuordnungserfolgen wurde analog zur Analyse der Items über die Selbstwirksamkeitserwartung zum Identifizieren von Lösungsansätzen vorgegangen. Zunächst wurden die Zuordnungserfolge der Studierenden für jede Rechenaufgabengruppe, gruppiert nach den Clustern zu erreichten Punkten im Mechaniktest (s. Kapitel 6.1.4), in einem Boxplot visualisiert. Auf Grundlage dieser Abbildungen wurde die Ähnlichkeit der Zuordnungserfolge von Studierenden in einem Cluster untersucht. Des Weiteren wurden Unterschiede zwischen den Clustern zu einer Rechenaufgabengruppe analysiert. Diese Analysen werden, erneut, durch die Anwendung eines Kruskal-Wallis-Tests (s. Field, 2018) vertieft. Berücksichtigt wurden hierbei die Cluster *niedrig*, *mittel-hoch* und *sehr hoch*. Da nur zwei Studierende dem Cluster sehr niedrig zugeordnet wurden, wurde dieser Cluster in der statistischen Analyse ausgeklammert. Da die Daten zum Zuordnungserfolg nicht in allen Clustern normalverteilt sind, was eine wesentliche Voraussetzung darstellt (vgl. Field, 2018), wurde keine einfaktorielle ANOVA durchgeführt.

Die im *Mathematiktest durch die Studierenden erreichten Punktzahlen* wurden, ähnlich den oben beschriebenen Analysen, auf zwei Weisen in Verbindung mit den Zuordnungserfolgen untersucht. Zum einen wurden die Zuordnungserfolge der Studierenden für jede Rechenaufgabengruppe, gruppiert nach den Clustern zu erreichten Punkten im Mathematiktest (s. Kapitel 6.1.5), in einem Boxplot dargestellt. Basierend auf diesen Abbildungen wurde die Ähnlichkeit der Zuordnungserfolge von Studierenden innerhalb eines Clusters analysiert. Zudem erfolgte je Rechenaufgabengruppe eine Untersuchung der Unterschiede zwischen den Clustern. Zum anderen wurde die Untersuchung nach Unterschieden mit der Durchführung von Mann-Whitney-Tests ergänzt (s. Field, 2018). Hierbei

wurden nur die Cluster *mittel-hoch* und *sehr hoch* betrachtet, da nur ein*e Student*in dem Cluster *niedrig* zugeordnet wurde.

Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Mithilfe der *Zusammenhangsanalyse – Aufgabenmerkmale* wurde untersucht, inwiefern das Auftreten verschiedener Zuordnungserfolge bzgl. Rechenaufgabengruppen (jeweils bestehend aus Rechenaufgaben mit identischen Aufgabenmerkmalen) mit den Aufgabenmerkmalen bzw. den Rechenaufgabengruppen zusammenhängt. Dafür wurden die Unterschiede zwischen den Zuordnungserfolgen dieser Rechenaufgabengruppen genauer betrachtet. Insgesamt ergeben sich bei 14 Rechenaufgabengruppen 91 potentielle paarweise Vergleiche.¹ Aus vielen dieser Vergleiche können jedoch keine sinnvollen Schlüsse bzgl. des Zusammenhangs zwischen Aufgabenmerkmalen und Zuordnungserfolg gezogen werden, da zu viele Variablen bzw. Aufgabenmerkmale gleichzeitig verändert werden. Unter Anwendung der Variablenkontrolle können 27 Vergleiche ausgemacht werden, deren Ergebnisse sinnvoll interpretiert werden können und daher im Fokus der Analyse standen (s. Tab. 5.5). Drei dieser Vergleiche mit Bezug zu Rechenaufgabengruppen aus Aufgabensatz 2 wurden jedoch aufgrund einer geringen Bearbeitungshäufigkeit von Aufgabensatz 2 (s. Kapitel 6.2.1) nicht durchgeführt.



Inferenzstatistische Ergebnisse zu den $27 - 3 = 24$ verbleibenden Vergleichen können auf unterschiedliche Weisen ermittelt werden. Es bietet sich die gemeinsame Betrachtung aller Rechenaufgaben in einem 12-Gruppen-Vergleich (inkl. Aufgabensatz 2: 14-Gruppen-Vergleich) oder eine separate Betrachtung der Vergleiche in 24 (bzw. inkl. Aufgabensatz 2: 27) 2-Gruppen-Vergleichen an. Auch Mischformen sind möglich, z. B. durch Zusammenfassung von „©“-Vergleichen (s. Tab. 5.5) innerhalb von Aufgabensätzen zu (größtenteils) drei-Gruppen-Vergleichen. Um eine Erhöhung des α -Fehlers oder des β -Fehlers nach Anwendung bspw. der Bonferroni-Korrektur zu vermeiden (Field, 2018; Janczyk & Pfister, 2020), wurde ein einziger 12-Gruppen-Vergleich durchgeführt. Aufgrund der verbundenen Daten („Stichproben“) zu Aufgabensatz 1 bis 5 und eines n -Gruppen-Vergleichs mit $n \geq 3$ ist die Durchführung einer ANOVA mit Messwiederholung das Verfahren erster Wahl (z. B. Janczyk & Pfister, 2020; Field, 2018; Kulas, Prieto Palacios Roji & Smith, 2021). Damit die Ergebnisse aussagekräftig sein können, müssen die Daten jedoch einige Voraussetzungen erfüllen: Additivität und Linearität, Normalverteilung der Differenzen von Zuordnungserfolgen, Homoskedastizität, Sphärizität (Field, 2018, S. 229 - 237, S. 663). Aufgrund der Verletzung der Voraussetzungen wurde ein Friedman-Test angewendet (Field, 2018).

¹Rechenaufgabengruppe 1E kann mit allen anderen 13 Gruppen verglichen werden, Gruppe 1K kann mit weiteren 12 Gruppen verglichen werden, usw.. Es ergeben sich also $\sum_{k=1}^{14} (k - 1) = \sum_{k=1}^{13} (k) = 91$ Vergleiche.

Tabelle 5.5

Illustration der im Fokus der Arbeit stehenden kontrastierten Rechenaufgabengruppen

Rechenaufgabengruppe	1E														
	1K	⊙													
	1B	⊙	⊙												
	2K		○												
	2B			○	⊙										
	3E														
	3K						⊙								
	3B						⊙	⊙							
	4E	○					○								
	4K		○					○		⊙					
	4B			○					○	⊙	⊙				
	5EK									○	○				
	5BK										○	○	⊙		
	5BE									○		○	⊙	⊙	
		1E	1K	1B	2K	2B	3E	3K	3B	4E	4K	4B	5EK	5BK	5BE

Anmerkung. Für die Tabelle gelten folgende Aspekte:

- Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen erfolgt nach dem Schema *AufgabensatzLösungsansatz*.
- Es wurden die Abkürzungen *E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz* genutzt.
- Mit „⊙“ und „○“ markierte Felder stehen für fokussiert betrachtete Kontraste.
 - ⊙: Kontraste innerhalb desselben Aufgabensatzes (unter Variation von Lösungsansätzen);
 - : Kontraste zwischen Aufgabensätzen (unter Kontrolle von Lösungsansätzen)
- Leere Zellen stehen für nicht fokussiert betrachtete Kontraste.
- Die Zellen der Diagonalen sowie Zellen oberhalb der Diagonalen sind grau eingefärbt. Diese Zellen sind nicht relevant, da der Vergleich von Rechenaufgaben mit sich selbst keinen Mehrwert bringt und Informationen aus Kontrasten oberhalb der Diagonalen den Kontrasten unterhalb der Diagonalen entsprechen.

Lesehilfe. Der oberste Eintrag bedeutet bspw., dass Rechenaufgabengruppe 1E und 1K bzgl. der je im Mittel erreichten Zuordnungserfolge verglichen werden sollen. Dieser Vergleich erfolgt innerhalb eines Aufgabensatzes (Aufgabensatz 1).

5.2.4 Auswertung von Daten über die Häufigkeit ausgewählter Lösungsansätze bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen

Für die Entwicklung von Fördermaßnahmen ist nicht nur wichtig, Unterschiede des Zuordnungserfolgs zwischen Rechenaufgabengruppen zu analysieren (vgl. Kapitel 5.2.3), sondern auch zu identifizieren *welche* als unangemessen klassifizierten Lösungsansätze die Studierenden auswählen. Hieraus können Hinweise über die Existenz möglicherweise verankerter unangemessener oder evtl. fehlender Vorstellungen abgeleitet werden, die für die Gestaltung von Lernangeboten hilfreich sein können (z. B. von Aufschnaiter & Rogge, 2010, Ausubel, 1968, Duit & Treagust, 1998). Darüber hinaus kann die Analyse der vorgenommenen Zuordnungen auch zur Erklärung inferenzstatistisch ermittelter Ergebnisse beitragen. Im Rahmen der Arbeit wurden daher Analysen durchgeführt, mit denen die von den Studierenden ausgewählten Lösungsansätze fokussiert betrachtet wurden. Diese Analysen werden im Folgenden vorgestellt.

Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Im Rahmen der Zusammenhangsanalyse wurden alle Zuweisungen der Rechenaufgaben (s. Anhang D, Tab. 37) erneut betrachtet und die Rechenaufgaben mit den entsprechenden Zuweisungen bzgl. gleicher Aufgabenmerkmale zusammengefasst. Nun wurden die je Rechenaufgabengruppe ausgewählten Lösungsansätze gezählt. Anschließend wurde der Anteil des jeweiligen Lösungsansatzes an allen Zuordnungen in der Rechenaufgabengruppe gebildet. Bspw. setzt sich die Rechenaufgabengruppe 1E aus zwei Rechenaufgaben zusammen, die jeweils von 30 Studierenden zu Lösungsansätzen zugeordnet worden sind. Somit wurden hier insgesamt $30 \cdot 2 = 60$ Zuordnungen getätigt. Dabei wurde der Energieansatz 45 mal ausgewählt, sodass sich der Anteil der Zuweisungen zum Energieansatz bzgl. der Rechenaufgabengruppe 1E zu $\frac{45}{60} = .75$ berechnet. Auf diese Weise wurde eine Tabelle erzeugt, in der zu allen Rechenaufgabengruppen der Anteil der jeweils ausgewählten Lösungsansätze notiert wurde (vgl. Tab. 5.6). Diese Tabelle beinhaltet darüber hinaus die Anzahl an vorgenommenen Zuordnungen je Rechenaufgabengruppe (also die Grundgesamtheit), sodass unterschiedliche Bearbeitungshäufigkeiten sowie verschiedene Anzahlen an Rechenaufgaben je Rechenaufgabengruppe in Interpretationen beachtet werden konnten. Die Anteile von Zuordnungen je Rechenaufgabengruppe wurden in verschiedenen Grünnuancen gefärbt. Zellen mit Anteilen $> 39\%$ wurden dunkelgrün, zwischen 20% und 39% mittelgrün und zwischen 10% und 19% hellgrün hinterlegt. Die Anteile intendierter Zuordnungen (z. B. zum Energieansatz bei den Rechenaufgabengruppen 1E, 3E und 4E) wurden in fetter Schrift gesetzt. Hierdurch entstand insgesamt eine übersichtliche Darstellung der von den Studierenden besonders häufig getätigten sowie der in der Erhebung intendierten Zuordnungen.



Tabelle 5.6

Leere Tabelle zur Darstellung der Anteile von Zuordnungen von Rechenaufgaben in Rechenaufgabengruppen zu Lösungsansätzen bzw. Lösungsansatzkombinationen

Rechenaufgabengruppe	E	K	B	EK	BK	BE	BEK	Fehlende Zuordnungen	Anzahl Zuordnungen	Anzahl Studierende
1E										
1K										
⋮										
5EK										
5BK										
5BE										

Anmerkung. In der Tabelle wurden die Abkürzungen *E*: Energieansatz, *K*: Kraftansatz, *B*: Bewegungsansatz verwendet. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des zugehörigen Aufgabensatzes und des zur Lösung am effizientesten anzuwendenden Lösungsansatz bzw. der Lösungsansatzkombination zusammen.



Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale & Personenmerkmale. In der Analyse der Zuordnungen in Verbindung mit Aufgaben- und Personenmerkmalen wurden als Personenmerkmale aus zeitlichen Gründen nur die Fähigkeiten der Studierenden in Mechanik differenziert betrachtet. Dabei wurde wie folgt vorgegangen: Zunächst wurden die Studierenden entsprechend des Clusters zur Fähigkeit in Mechanik (*sehr niedrig*, *niedrig*, *mittel-hoch*, *sehr hoch*) eingeteilt. Je Cluster wurde so verfahren, wie in der Analyse der Zuordnungen in Verbindung mit Aufgabenmerkmalen (s. Abschnitt Zusammenhangsanalyse – Aufgabenmerkmale.). Es wurde für jede Rechenaufgabengruppe ausgezählt, wie oft die Studierenden aus dem entsprechenden Cluster einen bestimmten Lösungsansatz ausgewählt haben. Anschließend wurde der Anteil dieser Zuordnungen an Zuordnungen dieser Studierenden zu dieser Rechenaufgabengruppe berechnet. Bspw. wurde die Rechenaufgabengruppe 1E, welche aus zwei Rechenaufgaben besteht, von zehn Studierenden aus dem Cluster *sehr hoch* zu Lösungsansätzen zugeordnet. Somit wurden von diesen Studierenden insgesamt $2 \cdot 10 = 20$ Zuordnungen von Rechenaufgaben aus der Aufgabengruppe 1E getätigt. Hierbei wurde der Energieansatz 18 mal ausgewählt, sodass der zu berechnende Anteil $\frac{18}{20} = .90$ beträgt. Diese Auszählung und Anteilsberechnung wurde für alle Rechenaufgabengruppen und alle Cluster zu Fähigkeiten in Mechanik durchgeführt. Auf diese Weise wurde eine Tabelle erzeugt, aus der die Anteile der Zuweisungen zu den Lösungsansätzen je Cluster und Rechenaufgabe hervorgeht (vgl. Tab. 5.7). Diese Tabelle beinhaltet darüber hinaus die Anzahl an vorgenommenen Zuordnungen je Rechenaufgabengruppe (also die Grundgesamtheit), sodass unterschiedliche Bearbeitungshäufigkeiten sowie verschiedene Anzahlen an Rechenaufgaben je Rechenaufgabengruppe in Interpretationen beachtet werden konnten. Die Anteile von Zuordnungen je Rechenaufgabengruppe und Cluster wurden in verschiedenen Graunuancen gefärbt. Zellen mit Anteilen $> 39\%$ wurden dunkelgrau, zwischen 20% und 39% mittelgrau und zwischen 10% und 19% hellgrau hinterlegt. Die Anteile intendierter Zuordnungen (z. B. zum Energieansatz bei den Rechenaufgabengruppen 1E, 3E und 4E) wurden in fetter Schrift gesetzt. Dies führte zu einer übersichtlichen Darstellung der Zuordnungen,

die von den Studierenden besonders häufig vorgenommen wurden, sowie der Zuordnungen, die in der Erhebung intendiert waren.

Tabelle 5.7

Anteile der Zuweisungen innerhalb von Rechenaufgabengruppen zu Lösungsansätzen nach Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest

Rechen- aufgaben- gruppe	Zuordnung zu					...	Fehlende Zuordnungen durch Cluster ...	Anzahl Zuordnungen durch Cluster ...	Anzahl Studierender im Cluster ...
	E				K				
	durch Cluster				durch Cluster				
	sn	n	m-h	sh	...				
1E									
1K									
⋮									
5EK									
5BK									
5BE									

Anmerkung. In der Tabelle wurden für die Cluster bzgl. des Mechaniktests die Abkürzungen *sn*: sehr niedrig, *n*: niedrig, *m-h*: mittel - hoch, *sh*: sehr hoch verwendet. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des zugehörigen Aufgabensatzes und des zur Lösung am effizientesten anzuwendenden Lösungsansatz bzw. der Lösungsansatzkombination (*E*: Energieansatz, *K*: Kraftansatz, *B*: Bewegungsansatz) zusammen.

5.2.5 Auswertung von Daten über den Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz

In diesem Kapitel werden weitere Analysen zum Zuordnungserfolg der Studierenden bzgl. größer gewählter Rechenaufgabengruppen beschrieben. In einer Rechenaufgabengruppe wurden hier Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz zusammengefasst. Eine Rechenaufgabengruppe beinhaltet somit Rechenaufgaben, die sich bzgl. der Oberflächenstruktur und der Anzahl an anzuwendenden Lösungsansätzen gleichen. Der Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz wurde daher für diese Arbeit wie folgt definiert:

Der *Zuordnungserfolg* einer*s Studierenden bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz ist der Anteil an Rechenaufgaben des Aufgabensatzes, den die Person angemessen einem Lösungsansatz oder einer Lösungsansatzkombination zugeordnet hat.

Die Berechnung dieser Größe wird anhand von Tabelle 5.8 verdeutlicht. Beispielsweise wurde Student*in 6, welche*r zu Aufgabensatz 1 zwei von sechs Rechenaufgaben angemessen zugeordnet hat, ein Zuordnungserfolg von $\frac{2}{6} = .33$ zugewiesen. Fehlende Zuordnungen sind nicht in die Berechnung des Anteils angemessener Zuordnungen eingegangen. Die Referenzmenge an Rechenaufgaben bzw. der Nenner wurde entsprechend der Anzahl fehlender Zuordnungen reduziert.

Die für alle Studierenden und Aufgabensätze bestimmten Zuordnungserfolge stellten die Grundlage für folgende Analysen zu den Zuordnungen der Studierenden und Zusammenhangsanalysen dar. Die

Analysen von größeren Rechenaufgabengruppen, wie sie hier gebildet worden sind, stellt eine Erweiterung der Analysen in Kapitel 5.2.3 dar, indem hierfür zum einen Rechenaufgaben zusammengefasst worden sind, die für Studierende auf Novizen-Niveau aufgrund der oberflächlichen Ähnlichkeit eine Einheit bilden sollten (vgl. Chi, Feltovich & Glaser, 1981). Zum anderen wird eine Zwischenebene zwischen der getrennten Betrachtung von Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen (vgl. Kapitel 5.2.3) und der gemeinsamen Betrachtung eines Rechenaufgabensatzes mit unterschiedlichsten Rechenaufgaben in üblichen Problemlösetests (z. B. Brandenburger, 2016; Friege & Lind, 2004) eingenommen. Ergebnisse der Analysen können einen groben Einblick dahingehend liefern, ob sich bspw. die Fähigkeiten der Studierenden zum Identifizieren von Rechenaufgaben im Rahmen der Erhebung entwickelt haben bzw. ob bestimmte Oberflächenmerkmale von Rechenaufgaben mit höheren oder niedrigeren Zuordnungswahrscheinlichkeiten einhergehen.



Analyse zu Zuordnungen. Im Rahmen der Analysen zu Zuordnungen wurde ähnlich zu den Analysen zu Zuordnungen in Kapitel 5.2.3 untersucht, ob der Zuordnungserfolg der Studierenden studierendenseitig (1) und aufgabensatzseitig (2) variiert. Die Kenntnis hierüber ist bedeutsam, um entscheiden zu können, ob Zusammenhangsanalysen sinnvoll durchgeführt werden können. Für eine studierendenseitige Analyse wurden die Daten u. a. mithilfe von Boxplots dargestellt. Die Lage des Medians sowie des oberen und unteren Quartils, die gesamte Spannweite und Ausreißer geben jeweils erste Auskunft über die Verteilung der Daten bzw. die Variation des Zuordnungserfolges der Studierenden (1). Zudem gibt die Lage der Boxen für die Aufgabensätze im Vergleich bereits erste Hinweise darauf, ob die Zuordnungserfolge der Studierenden zwischen den Aufgabensätzen variieren (2). Ergänzend wurde zur Charakterisierung der Daten im Vergleich zum Median auch der Mittelwert der Zuordnungserfolge je Aufgabensatz bestimmt. Zusätzlich wurden die Zuordnungserfolge der Studierenden je Aufgabensatz in einem Säulendiagramm dargestellt. Auf diese Weise konnte vertiefend analysiert werden, ob beispielsweise der Median besonders oft erreicht wurde und somit der Datensatz weniger Varianz aufweist, als die Boxplots es vermuten lassen (1). Für jeden Aufgabensatz wurde für die genannten Analysen ein getrennt lesbares Diagramm erstellt, da die Bearbeitungshäufigkeiten zwischen den Aufgabensätzen variieren und diese somit nicht zwingend vergleichbar sind.

Für eine studierenden- als auch aufgabenseitige Analyse wurden die Daten mithilfe von Sankey-Diagrammen (s. z. B. Schmidt, 2006) dargestellt, um Änderungen der Fähigkeiten der Studierenden zwischen den einzelnen Aufgabensätzen sichtbar zu machen. Da die Betrachtung von Veränderungen der Zuordnungserfolge einzelner Studierender zu unübersichtlich und somit kaum interpretierbar wäre, wurden anstatt einzelner Studierender Gruppen von Studierenden mit ähnlichen Zuordnungserfolgen („Zuordnungserfolgsgruppen“, kurz: ZEGs) bzgl. der Aufgabensätze betrachtet. Diese beziehen sich jedoch nicht auf datenunabhängige, vordefinierte Bereiche des Zuordnungserfolges (z. B. Zuordnungserfolge von .00 bis .33), sondern auf den Median. Dadurch, dass die ZEGs an den Zuordnungserfolgen der Gesamtstichprobe orientiert ist, wird die Darstellung weniger durch grundsätzliche Unterschiede bzgl. der Schwierigkeit der Aufgabengruppen verzerrt und Veränderungen des Zuordnungserfolgs der Studierenden im stichprobeninternen Vergleich werden sichtbarer. Betrachtet

Tabelle 5.8

Bestimmung des Zuordnungserfolges bzgl. einzelner Aufgabensätze für alle Proband*innen

(a) Ausgangstabelle: Dichotome Kodierung (s. Tab. 5.2)

ID	Rechenaufgabe										
	1.1.K	1.2.E	1.3.B	1.4.E	1.5.B	1.6.K	2.1.K	2.2.B	2.3.B	2.4.B	...
1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...
6	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	...
7	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...
30	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	...

(b) Ergebnistabelle

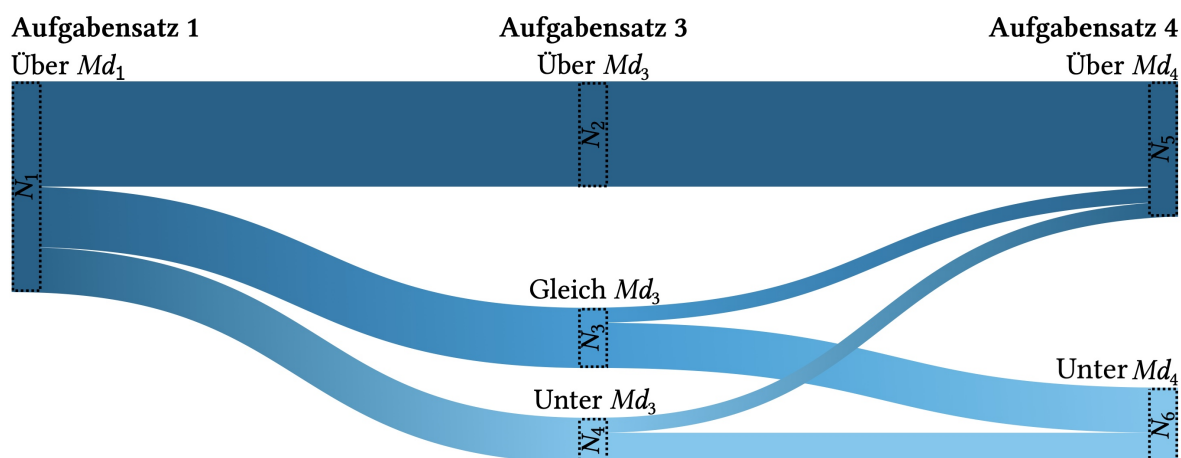
ID	Aufgabensatz		
	1	2	...
1	1.00	99.00	...
⋮	⋮	⋮	...
6	.33	.75	...
7	1.00	99.00	...
⋮	⋮	⋮	...
30	.83	.75	...

Anmerkung. In der Tabelle werden folgende Abkürzungen, Werte und Hervorhebungen genutzt: *ID*: Fortlaufende Nummer zur Referenzierung der Personen; Nummerierung *X.Y.Z*: Bezeichnung der Rechenaufgaben über den Aufgabensatz *X*, eine fortlaufende Nummer *Y* je Aufgabensatz und den effizientesten Lösungsansatz *Z* (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz) zum Lösen der Rechenaufgabe; Werte innerhalb der Tabelle in Teil (a) entstammen der dichotomen Kodierung der Angemessenheit der Zuordnung (1: angemessen, 0: unangemessen); Werte innerhalb der Tabelle im Teil (b) geben den berechneten Zuordnungserfolg an; in Teil (a) sind exemplarisch Kodierungen in derselben Farbe hervorgehoben, wenn diese zur Berechnung des Zuordnungserfolges zusammen betrachtet werden. Das zugehörige Ergebnis – der Zuordnungserfolg – ist in Teil (b) entsprechend mit derselben Farbe markiert.

wurden je drei ZEGs, wobei die erfolgreichste Gruppe Studierende mit Zuordnungserfolgen oberhalb des Medians und die am wenigsten erfolgreichste Gruppe Studierende mit Zuordnungserfolgen unterhalb des Medians umfasst. Die mittlere ZEG beinhaltet Studierende, die Zuordnungserfolge entsprechend des Medians erreicht haben. Für jede der ZEGs zu Aufgabensatz 1 wurde ein Sankey-Diagramm erzeugt. Dieses stellt den „Fluss“ von Studierenden einer ZEG in einem Aufgabensatz zu den ZEGs im nächsten betrachteten Aufgabensatz dar. Die Aufgabensätze 2 und 5 wurden nicht in die Darstellung aufgenommen, da fehlende Werte die Lesbarkeit und Interpretierbarkeit der Diagramme stark beeinträchtigen würde. Ein Beispiel, wie ein solches Sankey-Diagramm aussehen kann, ist in Abbildung 5.3 dargestellt. Die Größen der ZEGs N_1 - N_6 werden zur Auswertung mit den tatsächlichen Werten ersetzt.

Abbildung 5.3

Beispiel eines Sankey-Diagramms zur Darstellung der Veränderung von Zugehörigkeiten der Studierenden zu Zuordnungserfolgsgruppen



Anmerkung. In der Abbildung wurden folgende Abkürzungen genutzt: Md_x bezeichnet den Median des Aufgabensatzes x und N_y die Anzahl der Studierenden, die der entsprechenden Gruppe angehören. Bspw. gibt N_3 die Anzahl der Studierenden an, die in Aufgabensatz 1 einen Zuordnungserfolg oberhalb des Medians und in Aufgabensatz 3 einen Zuordnungserfolg entsprechend des Medians erreicht haben. Zur optischen Unterscheidung der Gruppen wurden Gruppen von Studierenden, die einen Zuordnungserfolg oberhalb des Medians erreicht haben in dunkelblau, einen Zuordnungserfolg entsprechend des Medians erreicht haben in mittelblau bzw. einen Zuordnungserfolg unterhalb des Medians erreicht haben in hellblau gefärbt.

Aufbauend auf den Untersuchungen zur Variation des Zuordnungserfolges über die Aufgabensätze hinweg wurde untersucht, ob es Unterschiede zwischen den Verläufen der Studierenden, die Aufgabensatz 2 bearbeitet haben, und den Studierenden, die Aufgabensatz 2 nicht bearbeitet haben. Diese Untersuchung kann Hinweise darauf geben, ob die verschiedenen Versuchsbedingungen durch die zusätzliche Zuordnung eines Aufgabensatzes einen Einfluss auf den Zuordnungserfolg in den Aufgabensätzen 3 - 5 haben könnte (z. B. in Form von Erschöpfung oder eines Lerneffektes durch mehr Übung). Für jede Gruppe (Aufgabensatz 2 bearbeitet vs. nicht bearbeitet) wurde hierzu ein Sankey-Diagramm nach dem oben beschriebenen Konzept erstellt. Auf die aufgetrennte Darstellung der ZEGs in Aufgabensatz 1 in je einem Sankey-Diagramm wurde jeweils aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet, da sich ansonsten sechs miteinander zu vergleichende Diagramme ergeben würden.



Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Mit der Zusammenhangsanalyse wurde untersucht, inwiefern das Auftreten von unterschiedlichen Zuordnungserfolgen mit der Variation der Aufgabensätze bzw. der Aufgabenmerkmale der Oberflächenstruktur und der Anzahl an auszuwählenden Lösungsansätzen zusammenhängt. Die Zusammenhangsanalyse stellt somit eine Erweiterung der in Kapitel 5.2.3 dokumentierten Zusammenhangsanalyse dar. Hierfür wurden die Ausprägungen des Zuordnungserfolges zu den einzelnen Aufgabensätzen miteinander verglichen.

Bei fünf Aufgabensätzen ergeben sich insgesamt 10^1 mögliche Gruppenvergleiche. Inhaltlich sinnvoll sind jedoch nur vier von diesen zu betrachten, da sich bei diesen jeweils nur eine Variable der Oberflächenstruktur / des Anspruchs unterscheidet (Variablenkontrollstrategie): Aufgabensatz 1 vs. 2, 1 vs. 4, 3 vs. 4 und 4 vs. 5 (betrachtete Vergleiche „Aufgabensatz *a* vs. Aufgabensatz *b*“ s. Tab 5.9). Dazu wurden zunächst in deskriptiver Weise die Verteilungen der mittleren Zuordnungserfolge der Studierenden mithilfe der Boxplots aus der Analyse zu Zuordnungen betrachtet. Überlagern sich im direkten Vergleich zwei Boxen nicht, kann dies als Hinweis auf bestehende Unterschiede bzgl. der Ausprägungen des mittleren Zuordnungserfolgs aufgefasst werden (Rivera, 2020).

Tabelle 5.9

*Im Rahmen der Arbeit inhaltlich sinnvoll durchführbare Vergleiche der Form Aufgabensatz *a* vs. Aufgabensatz *b**

Aufgabensatz <i>b</i>	1					
	2	(○)				
	3					
	4	○		○		
	5				○	
		1	2	3	4	5
		Aufgabensatz <i>a</i>				

Anmerkung.

Die Abbildung ist von unten nach oben links zu lesen. Mit „○“ markierte Felder stehen für inhaltlich sinnvoll zu betrachtende Vergleiche. Für den obersten Eintrag bedeutet dies bspw., dass Aufgabensatz 1 und Aufgabensatz 2 bzgl. der je im Mittel erreichten Zuordnungserfolge inhaltlich sinnvoll verglichen werden können. Das ○-Symbol steht hier in Klammern, da dieser Vergleich aufgrund der zu geringen Bearbeitungshäufigkeit von Aufgabensatz 2 nicht in den Fokus genommen wurde.

Unter Nutzung inferenzstatistischer Verfahren bieten sich auch hier primär zwei Vorgehensweisen an. Hierbei wurden jedoch Vergleiche mit Aufgabensatz 2 wegen dessen geringer Bearbeitungshäufigkeit nicht durchgeführt. Die drei (inkl. Aufgabensatz 2: vier) Vergleiche können entweder separat in je einem 2-Gruppen-Vergleich durchgeführt werden oder aus einem gemeinsamen 4 (inkl. Aufgabensatz 2: 5)-Gruppen-Vergleich herausgelesen werden. Im Rahmen dieser Auswertung wurde ein 4-Gruppen-Vergleich durchgeführt, um eine Erhöhung des α -Fehlers oder bei Anwendung von bspw. der Bonferroni-Korrektur des β -Fehlers zu vermeiden (vgl. Field, 2018; Janczyk & Pfister, 2020). Das Testverfahren erster Wahl für n -Gruppen-Vergleiche mit $n \geq 3$ ist typischerweise eine ANOVA (z. B. Janczyk & Pfister, 2020; Field, 2018; Kulas et al., 2021). In diesem Fall würde aufgrund der verbundenen Daten („Stichproben“) zu Aufgabensatz 1-5 eine ANOVA mit Messwiederholung eingesetzt

¹Aufgabensatz 1 kann theoretisch mit Aufgabensätzen 2, 3, 4 und 5 verglichen werden, zusätzlich Aufgabensatz 2 mit Aufgabensatz 3, 4, 5, Aufgabensatz 3 mit den Aufgabensätzen 4 und 5, sowie schlussendlich Aufgabensatz 4 mit Aufgabensatz 5: $\sum_{k=1}^5 (k-1) = \sum_{k=1}^4 k = 10$

werden (Field, 2018). Damit die Ergebnisse aussagekräftig sein können, müssen die Daten jedoch einige Voraussetzungen erfüllen: Additivität und Linearität, Normalverteilung der Differenzen von Zuordnungserfolgen, Homoskedastizität, Sphärizität (Field, 2018, S. 229 - 237, S. 663). Das Kriterium der Additivität und Linearität bezieht sich darauf, dass der Zuordnungserfolg als Ergebnisvariable linear von den Prädiktoren abhängt (Field, 2018). Die Linearität kann mithilfe der Interpretation des *zpred*-vs.-*zresid*-Diagrammes geprüft werden, welches in SPSS im Rahmen einer Regression bestimmt werden kann. Für die Durchführung der Regression wurde eine Tabelle erstellt, die die ID der Studierenden, den jeweiligen Zuordnungserfolg zu einem Aufgabensatz sowie die Aufgabensatzzugehörigkeit beinhaltet. Die Aufgabensatzzugehörigkeit wird als Prädiktor in drei (inkl. Aufgabensatz 2: vier) Dummyprediktoren umgewandelt, wobei Aufgabensatz 4 als Vergleichsbasis dient (vgl. Tab. 5.10). Am Diagramm ist Nichtlinearität daran zu erkennen, dass die Punkte bzgl. der

Tabelle 5.10

*Dummykodierung zur Ausführung der Regressionsanalyse und Erstellung des *zpred*-vs.-*zresid*-Diagrammes*

ID	Zuordnungserfolg	Aufgabensatz	Dummy14	Dummy34	Dummy54
1	1.00	1	1	0	0
1	.33	3	0	1	0
1	.50	4	0	0	0
1	.33	5	0	0	1
2	1.00	1	1	0	0
2	.67	3	0	1	0
2	.67	4	0	0	0
2	.33	5	0	0	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
30	99	5	0	0	1

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient.

Residuen eine Kurve formen (Field, 2018). Dies war nicht der Fall. Die Additivität ergab sich bei gegebener Linearität der Daten automatisch und wurde daher nicht weiter geprüft.

Das Kriterium der Homoskedastizität wurde über das oben bereits thematisierte *zpred*-vs.-*zresid*-Diagramm parallel zur Linearität geprüft. Heteroskedastizität liegt vor, wenn die Punkte zu den Residuen einen Trichter bilden (Field, 2018), welcher nicht festgestellt werden konnte.

Zur Prüfung der Normalverteilung der Differenzen von Zuordnungserfolgen zwischen den Aufgabensätzen wurden vorbereitend für alle Studierenden jeweils diese Differenzen bestimmt, sodass sich die in Tabelle 5.11 dargestellten Spalten ergaben. Diese wurden mit dem Shapiro-Wilk-Test je auf Normalität geprüft (vgl. Field, 2018). Der in SPSS angebotene Kolmogorov-Smirnov-Test wurde nicht betrachtet, da der Shapiro-Wilk-Test diesem statistisch überlegen ist (Shapiro, Wilk & Chen, 1968). Wurde der Shapiro-Wilk-Test signifikant oder vorsignifikant, wurde das zugehörige Q-Q-Diagramm betrachtet und an diesem über die Erfüllung der Normalverteilung entschieden (vgl. Field, 2018).

Die Erfüllung des Kriteriums der Sphärizität wurde mithilfe des Mauchly-Tests festgestellt (vgl. Field,

Tabelle 5.11*Differenzen der Zuordnungserfolge zwischen den Aufgabensätzen*

ID	Verrechnete Aufgabensätze					
	3-1	4-1	5-1	4-3	5-3	5-4
1	-.67	-.50	-.67	.17	.00	-.17
2	-.33	-.33	-.67	.00	-.33	-.33
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	-0.28	-0.50	.99	-0.22	.99	.99

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient.

2018). Bei Verletzung der Sphärizität wurde wegen $\epsilon > .75$ die Huynh-Feldt- Korrektur angewendet. Bei $\epsilon < .75$ wäre die Greenhouse-Geisser-Korrektur angewendet worden (Girden, 1992). Die Voraussetzungen konnten als erfüllt angenommen werden. Bei Verletzung Voraussetzungen wäre als nichtparametrisches Verfahren ein Friedman-Test durchgeführt worden (Field, 2018). An den Haupttest anschließend wurden paarweise angelegte Kontraste betrachtet, sodass auch Unterschiede zwischen den einzelnen Rechenaufgabengruppen bzgl. des Zuordnungserfolges im Detail sichtbar werden konnten.

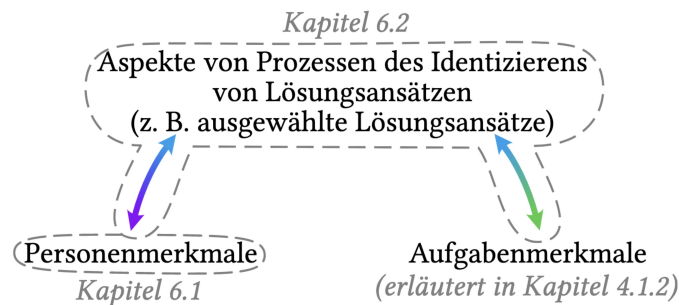
KAPITEL 6

DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die im Rahmen der Studie im quantitativen Zugang gewonnenen Ergebnisse analog zur Beschreibung der Analysen in Kapitel 5 vorgestellt. Kapitel 6.1 beinhaltet somit Ergebnisse der in Kapitel 5.1 erläuterten Analysen, in deren Fokus die erhobenen Personenmerkmale sowie darauf aufbauend die Charakterisierung der Probandengruppe stehen. Entsprechend beinhaltet Kapitel 6.2 alle Ergebnisse, die in Verbindung mit der Identifikation von Lösungsansätzen bzw. dem Zuordnen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen stehen und durch die in Kapitel 5.2 beschriebenen Analysen entstanden sind. Hierbei werden nicht nur Ergebnisse zur isolierten Analyse der Zuordnungen, sondern auch zum Zusammenhang der Zuordnungen zu Personen- und Aufgabenmerkmalen vorgestellt (vgl. Abb. 6.1).

Abbildung 6.1

Zuordnung der Ergebniskapitel am Forschungsdreieck (vgl. Abb. 1.1, in Kapitel 1)



6.1 Ergebnisse zu Personenmerkmalen

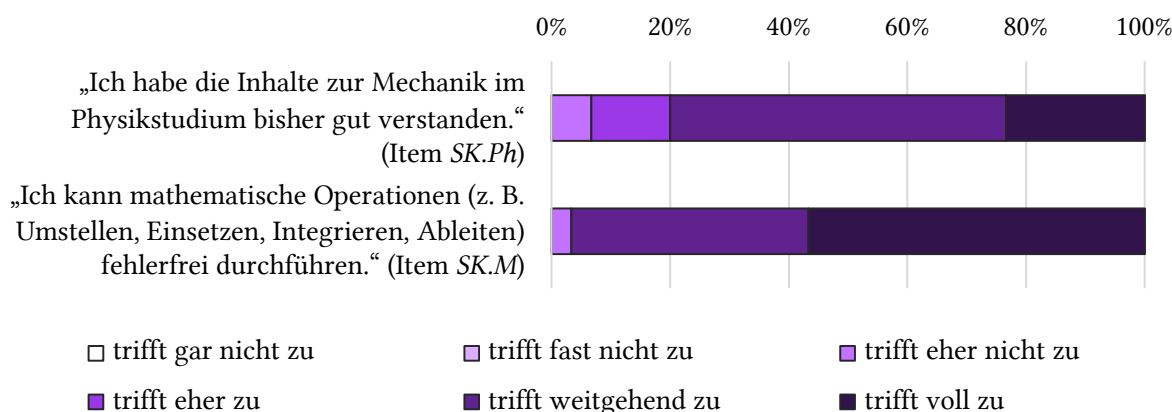
In diesem Kapitel werden Ergebnisse über die erhobenen Personenmerkmale der Studierenden vorgestellt. Im Fokus stehen dabei Ergebnisse über das Selbstkonzept der Studierenden zu physik- und mathematikbezogenen Fähigkeiten (Kapitel 6.1.1), Angaben der Studierenden zu Schwierigkeiten während der Bearbeitung von Rechenaufgaben (Kapitel 6.1.2), die Selbstwirksamkeitserwartung der Studierenden bzgl. des Abschließens von Lösungsabschnitten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben (Kapitel 6.1.3) und Ergebnisse aus Testungen zum Verständnis von Konzepten der Mechanik (Kapitel 6.1.4) und zur Anwendung grundlegender mathematischer Operationen (Kapitel 6.1.5).

6.1.1 Ergebnisse über das Selbstkonzept zu physik- und mathematikbezogenen Fähigkeiten

Zur Erhebung des Selbstkonzeptes wurden die Studierenden aufgefordert, ihr aktuelles Mechanikverständnis und ihre Fähigkeiten zur Durchführung mathematischer Operationen einzuschätzen (vgl. Kapitel 4.1.1). Die relativen Häufigkeiten der Einschätzungen zu den beiden eingesetzten Items sind in Abbildung 6.2 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Mehrheit der Studierenden den Aussagen „Ich habe die Inhalte zur Mechanik im Physikstudium bisher gut verstanden.“ (Item *SK.Ph*) und „Ich kann mathematische Operationen [...] fehlerfrei durchführen.“ (Item *SK.M*) zustimmt (93 % bzw. 97 %). Ein kleinerer Teil der Studierenden (7 % bzw. 3 %) geben jeweils die Einschätzung „trifft eher nicht zu“ an. Die Einschätzungen „trifft gar nicht zu“ und „trifft fast nicht zu“ werden bei beiden Aussagen nicht vertreten. Im Detail wird ersichtlich, dass die Studierenden der Aussage zum Mechanikverständnis besonders häufig weitgehend zustimmen (57 %) und zur Durchführung mathematischer Operationen besonders häufig voll zustimmen (57 %).

Abbildung 6.2

Einschätzungen der Studierenden (N = 30) zu deren Mechanikverständnis sowie zu deren Fähigkeit, mathematische Operationen durchführen zu können



Anmerkung. Die Einschätzungen „trifft gar nicht zu“ und „trifft fast nicht zu“ wurden nie ausgewählt. Die Einfärbung der Anteile dient der einfacheren Unterscheidung zwischen den Ausprägungen. Eine dunklere Färbung ist mit einem stärkeren Zustimmung zur entsprechenden Aussage verbunden.

Betrachtet werden nun anhand der Kreuztabelle in Tabelle 6.1 die Einschätzungen zu beiden Aussagen in Kombination. An dieser Tabelle zeigt sich, dass Studierende, die der Aussage zum Mechanikverständnis weitgehend oder voll zustimmen, auch der Aussage zur Durchführung mathematischer Operationen weitgehend (8 bzw. 2 mal) oder voll zustimmen (9 bzw. 5 mal). Umgekehrt stimmen Studierende, die der Aussage zur Durchführung mathematischer Operationen weitgehend oder voll zustimmen, der Aussage zum Mechanikverständnis besonders häufig weitgehend (8 bzw. 9 mal) und seltener voll (2 bzw. 5 mal) zu. Insgesamt liegen für $8 + 5 = 13$ Studierende bei beiden Aussagen dieselben Einschätzungen vor. $2 + 1 = 3$ Studierende haben zur Aussage über das Mechanikverständnis einen größeren Grad der Zustimmung als zur Aussage zur Durchführung mathematischer Operationen gewählt. Umgekehrt haben $2 + 2 + 1 + 9 = 14$ Studierende zur Aussage über die Durchführung

mathematischer Operationen einen höheren Grad der Zustimmung als zur Aussage über das Mechanikverständnis angegeben. Die Abweichung zwischen den Einschätzungen zu beiden Aussagen beträgt bei 27 der 30 Studierenden (90 %) maximal eine Antwortoption bzgl. des Zustimmungsgrades. Die Betrachtung der beiden Einschätzungen auf einer gemeinsamen Skala führt zu einem Cronbachs Alpha von $\alpha = .27$, weswegen die beiden Einschätzungen in weiteren Auswertungen getrennt betrachtet wurden (vgl. Field, 2018).

Tabelle 6.1

Kreuztabelle zu Einschätzungen der Studierenden ($N = 30$) über deren Mechanikverständnis (Item SK.Ph) und deren Fähigkeit, mathematische Operationen durchführen zu können (Item SK.M)

		Einschätzung						Summe
		Mechanikverständnis						
		0	1	2	3	4	5	
Einschätzung F. z. D. math. Op.	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	1	0	0	1
	3	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	2	8	2	12
	5	0	0	2	1	9	5	17
Summe		0	0	2	4	17	7	30

Anmerkung. In der Tabelle wurde die Abkürzung „F. z. D. math. Op.“ für „Fähigkeit zur Durchführung mathematischer Operationen“ genutzt. Die Einschätzungen von 0 bis 5 beziehen sich jeweils auf die Zustimmung zu den Items zum Selbstkonzept (Mechanikverständnis / Item SK.Ph: „Ich habe die Inhalte zur Mechanik im Physikstudium bisher gut verstanden“; F. z. D. math. Op. / Item SK.M: „Ich kann mathematische Operationen [...] fehlerfrei durchführen.“). Eine Einschätzung von „0“ ist zu übersetzen mit „trifft gar nicht zu“ und von „5“ mit „trifft voll zu“.

Aus einer Clusteranalyse geht hervor, dass die Studierenden bzgl. ihrer Einschätzung zum Mechanikverständnis (Item SK.Ph) in vier Cluster eingeteilt werden können (schrittweise Clusterzusammenführung s. Anhang E, Tab. 41). Eine weitere Clusteranalyse legt nahe, dass die Studierenden bzgl. ihrer Einschätzung zu ihren mathematischen Fähigkeiten (Item SK.M) in drei Cluster eingeteilt werden können (schrittweise Clusterzusammenführung s. Anhang E, Tab. 43). Zu einem Cluster gehören nach Beendigung der Clusteranalysen jeweils Studierende, die zur entsprechenden Aussage denselben Zustimmungsgrad gewählt haben. Die Studierenden werden dem Cluster *sehr hoch* bzgl. der Zustimmung zu den Aussagen zugeordnet, wenn die Ausprägung deren Einschätzung „5“ beträgt. Zum Cluster *hoch* gehören Studierende mit einer Einschätzung von „4“, zum Cluster *mittel – hoch* mit einer Einschätzung von „3“ und zum Cluster *mittel – niedrig* mit einer Einschätzung von „2“. Somit können bzgl. der Einschätzung zum Mechanikverständnis $N_{Ph, \text{sehr hoch}} = 7$ Studierende dem Cluster *sehr hoch*, $N_{Ph, \text{hoch}} = 17$ Studierende dem Cluster *hoch*, $N_{Ph, \text{mittel – hoch}} = 4$ Studierende dem Cluster *mittel – hoch* und $N_{Ph, \text{mittel – niedrig}} = 2$ Studierende dem Cluster *mittel – niedrig* zugeordnet werden (für Zuordnung der einzelnen Studierenden s. Anhang E, Tab. 42). Zur Einschätzung über mathematische Fähigkeiten können $N_{M, \text{sehr hoch}} = 17$ Studierende dem Cluster *sehr hoch*, $N_{M, \text{hoch}} = 12$ Studierende dem Cluster *hoch* und $N_{M, \text{mittel – niedrig}} = 1$ Studierende* r dem Cluster *mittel – niedrig*

zugeordnet werden (für Zuordnung der einzelnen Studierenden s. Anhang E, Tab. 44).

Diskussion

An den Ergebnissen zu den Einschätzungen der Studierenden bzgl. der Aussage zum Mechanikverständnis und zur Fähigkeit, mathematische Operationen durchzuführen, fällt die überwiegend starke Zustimmung auf. Hierfür kommen mehrere mögliche Ursachen in Betracht. Eine dieser Ursachen kann die Auswahl der Probanden sein. Das Instrument stand den Studierenden zur freiwilligen Bearbeitung offen und wurde über einen Verteiler zugänglich gemacht (s. Kapitel 4.1). Aufgrund der offen kommunizierten Thematik (Bearbeitung von Rechenaufgaben) ist daher denkbar, dass eher Studierende mit einem hohen physikalischen und mathematischen Selbstkonzept an der Erhebung teilgenommen haben. Studierende mit einem geringeren Selbstkonzept könnten die Studienteilnahme und damit die Konfrontation mit Erfahrungen des Scheiterns vermieden haben (vgl. Nicholls, 1984). Für weitere Erhebungen könnte somit bspw. eine Kopplung an universitäre (Präsenz-)Veranstaltungen von Interesse sein. Eine alternative Ursache für die hohe Zustimmung könnte die Formulierung der Items sein. Sie könnten so gestaltet sein, dass sie leicht Zustimmung finden. Die Aussagen sind allgemein formuliert und beinhalten viele Facetten, sodass nicht eindeutig ist, welche Aspekte die Studierenden mit ihnen im Detail verbinden. Die Durchführung einer kognitiven Validierung kann hier neue Einblicke liefern. Aus zeitlichen Gründen ist diese im Rahmen der Arbeit nicht erfolgt. Für zukünftige Erhebungen (mit längerer Bearbeitungszeit) könnten darüber hinaus die beiden Aussagen jeweils durch mehrere Aussagen ersetzt werden, die einzelne Facetten der Aussagen hervorheben.

Es wird angenommen, dass die Einschätzungen der Studierenden Hinweise auf deren physikalisches Selbstkonzept (Item *SK.Ph* zum Mechanikverständnis) bzw. mathematisches Selbstkonzept (Item *SK.M* zur Durchführung mathematischer Operationen) liefert. Je höher der von den Studierenden angegebene Grad der Zustimmung zu den Aussagen über das Mechanikverständnis bzw. deren Fähigkeiten zur Durchführung mathematischer Operationen ist, desto höher ist nach dieser Annahme das physikalische bzw. mathematische Selbstkonzept. Zu beachten ist, dass die Items das Konstrukt des physikalischen Selbstkonzeptes bzw. des mathematischen Selbstkonzeptes nicht vollständig abbilden. Das Item zum physikalischen Selbstkonzept unterliegt einerseits einer thematischen Einschränkung, da nur auf eine Einschätzung zum Themengebiet Mechanik Bezug genommen wird. Andere Themengebiete, wie bspw. Optik oder Thermodynamik, werden nicht adressiert. Des Weiteren wird andererseits das *Verständnis* in Mechanik erfragt. Hierbei ist unklar, inwiefern auch Kompetenzbereiche, wie bspw. *Erkenntnisgewinnung und Fachmethoden* oder *Kommunikation in naturwissenschaftlichen Zusammenhängen* (Hessisches Kultusministerium, 2016b, S. 13) abgedeckt werden. Das Item zum mathematischen Selbstkonzept weist keine thematische Einschränkung auf. Dadurch, dass nur nach der Durchführung mathematischer Operationen gefragt wird, werden andere Facetten mathematischer Kompetenz, wie z. B. das mathematische Modellieren oder das Verwenden mathematischer Darstellungen (vgl. Kompetenzmodell für das Unterrichtsfach Mathematik, z. B. Hessisches Kultusministerium, 2016a, S. 11), nicht berücksichtigt. Des Weiteren werden mit beiden Items nur evaluative Komponenten („Ich bin gut / schlecht in ...“, Meinhardt, 2018, S. 63) des Selbstkonzeptes adressiert. Affektive Komponenten („Ich mag ...“, Meinhardt, 2018, S. 63), die nach manchen Definitionen Bestandteil des Selbstkonzeptes sind (z. B. *Conceiving The Self*, o. J.; Bong &

Skaalvik, 2003), werden in beiden Items nicht abgefragt. Unter der Annahme, dass die Einschätzung der Studierenden *Hinweise* auf deren physikalisches bzw. mathematisches Selbstkonzept liefert, passt das häufige gemeinsame Auftreten von hohen Einschätzungen bzgl. beider Aussagen und der positive Wert des Cronbach Alphas zum Befund von bspw. D. H. Rost et al. (2004) sowie von Möller, Streblow, Pohlmann und Köller (2006), dass Selbstkonzepte bzgl. der Fächer Mathematik und Physik korrelieren. D. H. Rost et al. (2004) leiten als mögliche Ursache für die Korrelation die Wahrnehmung ähnlicher Fähigkeitsanforderungen der Fächer durch die Schüler*innen aus deren Erhebung ab. Auch Studierende verschiedenen Studienfortschrittes könnten in einer solchen Wahrnehmung durch den hohen Grad an Mathematisierung in Physikkursen und die häufige Anwendung einer Plug-and-Chug-Strategie (z. B. Tuminaro & Redish, 2007) in Rechenübungen bestätigt werden.

Die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass die Einschätzungen der Studierenden zur Aussage über das Mechanikverständnis und zur Aussage über die Fähigkeit zur Durchführung mathematischer Operationen nicht immer identisch sind.¹ Auf Grundlage, dass die Einschätzungen bzgl. der Fähigkeiten zur Durchführung mathematischer Operationen in einigen Fällen höher ausfallen, liegt nahe, dass auch das mathematische Selbstkonzept dieser Studierenden höher als das physikalische Selbstkonzept ausfällt. Unter der Annahme, dass die Einschätzungen *Hinweise* auf die beiden genannten Selbstkonzepte liefern und die beiden Selbstkonzepte (hier: schwach) korrelieren, wie u. a. D. H. Rost et al. (2004) bei Schüler*innen ermittelt hat, würde hier ein hohes mathematisches Selbstkonzept ein notwendiges, aber kein hinreichendes, Kriterium für ein hohes physikalisches Selbstkonzept darstellen. Für Ergebnisse des nachfolgenden Kapitels zu Einschätzungen der Studierenden über häufige Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben kann dann bspw. erwartet werden, dass für die Studierenden das Identifizieren eines Ansatzes (assoziiert mit Mechanikverständnis bzw. physikbezogenen Fähigkeiten) beim Bearbeiten von Rechenaufgaben eine größere Herausforderung darstellt als das rechnerische Vorgehen nach dem Finden eines Ansatzes oder der Umgang mit Gleichungen und Formeln (beides assoziiert mit Durchführung mathematischer Operationen bzw. mathematischen Fähigkeiten).

¹Über die statistische Signifikanz der Verschiedenheit kann an dieser Stelle keine Aussage getroffen werden, da aus zeitlichen Gründen kein Testverfahren (z. B. gepaarter t-Test) durchgeführt wurde.

6.1.2 Ergebnisse über die Einschätzung zu häufigen Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben

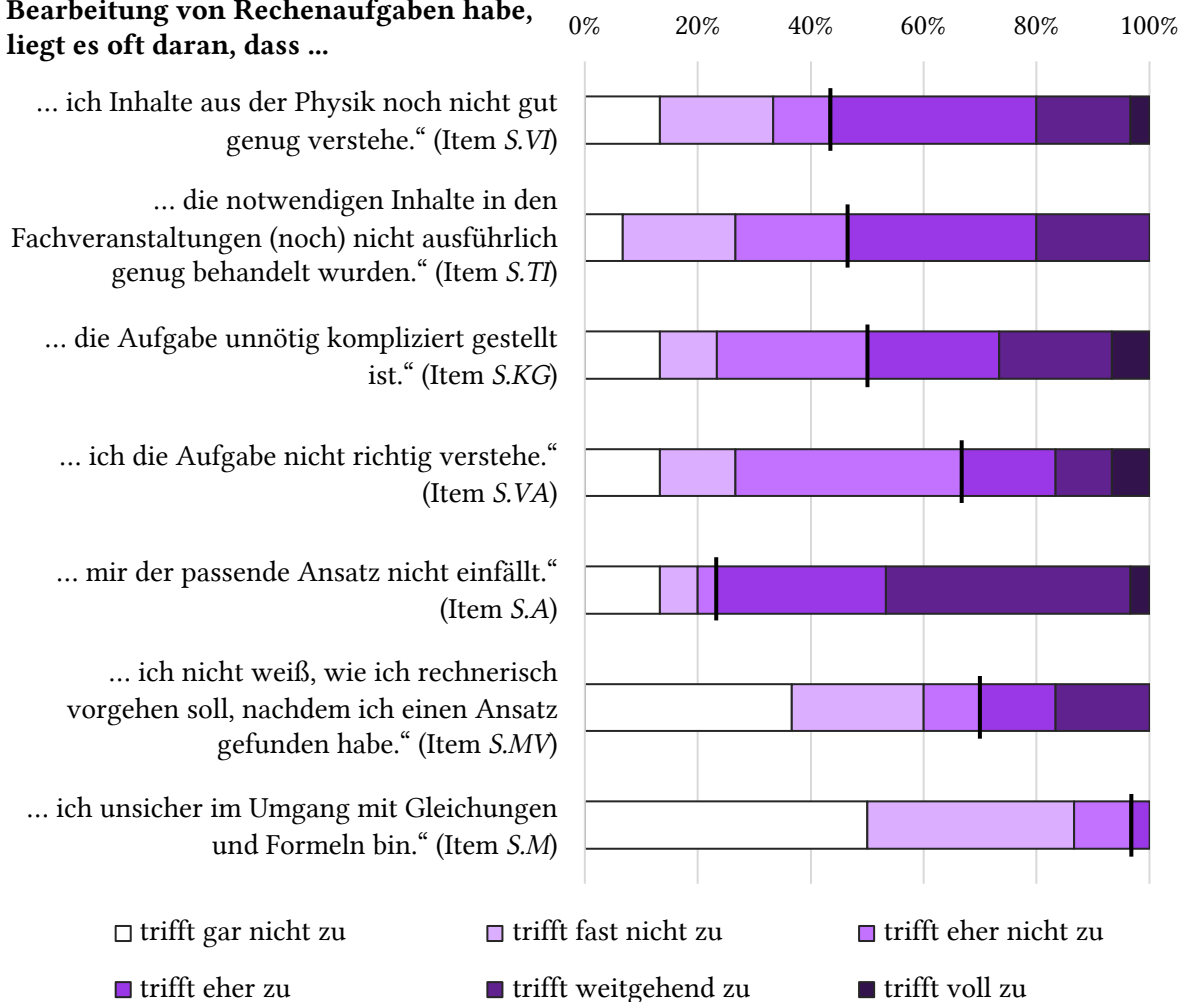
Die Studierenden wurden im Rahmen der Studie zur Einschätzung aufgefordert, inwiefern ausgewählte (Ursachen von) Schwierigkeiten auch in deren Bearbeitungsprozessen von Rechenaufgaben auftreten (vgl. Kapitel 4.1.1). Die relativen Häufigkeiten der Einschätzungen zu den in der Erhebung vorgeschlagenen Schwierigkeiten bzw. Ursachen von Schwierigkeiten sind in Abbildung 6.3 dargestellt. Das Cronbachs Alpha bei einer gemeinsamen Betrachtung der Einschätzungen der Studierenden zu diesen Schwierigkeiten auf einer Skala zur grundsätzlichen Zustimmung / Ablehnung des Auftretens von gegebenen Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben beträgt $\alpha_{\text{alle Items}} = .36$, unter Ausschluss von Item *S.M* $\alpha_{\text{ohne S.M}} = .50$. Besonders häufig stimmen die Studierenden der Aussage zu, dass wenn sie Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben haben, sie den passenden Ansatz nicht identifizieren können (77 %). Einige Studierende stimmen den Aussagen zu Ursachen für Schwierigkeiten zu, dass sie Inhalte noch nicht gut genug verstehen oder die notwendigen Inhalte in den Fachveranstaltungen noch nicht ausführlich genug behandelt worden sind (57 % bzw. 53 %). Ähnlich häufig stimmen die Studierenden der Aussage über die Ursache von Schwierigkeiten zu, dass die Aufgaben unnötig kompliziert gestellt sind (50 %). Seltener stimmen die Studierenden dem nicht ausreichenden Verstehen der Aufgaben (33 %) oder der Unkenntnis über das weitere rechnerische Vorgehen nach dem Identifizieren eines Ansatzes (30 %) als Ursache für Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben zu. Besonders selten stimmen die Studierenden der Aussage über einen unsicheren Umgang mit Gleichungen und Formeln als Ursache für deren Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben zu (3 %).

Aus einer Clusteranalyse geht hervor, dass die Studierenden in drei Cluster bzgl. der Zustimmung zu Aussagen über auftretende Schwierigkeiten bzw. Ursachen von Schwierigkeiten eingeteilt werden können (schrittweise Clusterzusammenführung s. Anhang E, Tab. 45). Die Cluster werden im Folgenden als *Typ 1*, *Typ 2* und *Typ 3* bezeichnet. Zum Cluster *Typ 1* gehören $N_{\text{Typ 1}} = 5$, zum Cluster *Typ 2* $N_{\text{Typ 2}} = 23$ und zum Cluster *Typ 3* $N_{\text{Typ 3}} = 2$ Studierende (für Clusterzugehörigkeit einzelner Studierender s. Anhang E, Tab. 46). Die Einschätzungen der Studierenden innerhalb der Cluster sind für jede Aussage über Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben in Abbildung 6.4 mithilfe von Boxplots dargestellt. Betrachtet wird im Folgenden die Lage der Boxen zu Typ 1, 2 und 3 je Aussage im Vergleich. Zur Aussage, dass die unzureichende Thematisierung der Inhalte in Fachveranstaltungen ursächlich für auftretende Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben ist, überschneiden sich die Boxen zu den Clustern teilweise (vgl. Abb. 6.4 (b)). Die Box zu Typ 1 beinhaltet die Stufe 1 („trifft fast nicht zu“) und wird begrenzt durch Werte zwischen dieser und der darüber („trifft eher nicht zu“) und der darunter liegenden Stufe („trifft gar nicht zu“). Die Box zu Typ 3 wird durch die Stufen 0 („trifft gar nicht zu“) und 1 („trifft fast nicht zu“) begrenzt. Die Boxen zu Typ 1 und 3 überschneiden sich somit. Die Box zu Typ 2 umfasst die Stufen 2 („trifft eher nicht zu“) bis 4 („trifft weitgehend zu“). Die Box zu Typ 2 liegt somit oberhalb von den Boxen zu Typ 1 und 3. Zur Aussage darüber, dass unnötig kompliziert gewählte Aufgabenstellungen ursächlich für Schwierigkeiten in der Bearbeitung von Rechenaufgaben sind, überlappen die von den Studierenden in den Clustern gegebenen Einschätzungen ebenfalls teilweise

Abbildung 6.3

Einschätzungen der Studierenden ($N = 30$) zum Auftreten verschiedener (Ursachen von) Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben.

„Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass ...“



Anmerkung. Die vertikale Markierung je Aussage verdeutlicht den Wechsel von Einschätzungen mit Tendenz zur Ablehnung der Aussage zu Einschätzungen mit Tendenz zum Zuspruch zur Aussage. Die Einfärbung der Anteile dient der einfacheren Unterscheidung zwischen den Ausprägungen. Eine dunklere Färbung ist mit einer stärkeren Zustimmung zur entsprechenden Aussage verbunden.

(vgl. Abb.6.4 (c)). Studierende im Cluster *Typ 1* wählen Stufen von 0 („trifft gar nicht zu“) bis 2 („trifft eher nicht zu“). Die Box zu Studierenden im Cluster *Typ 2* beinhaltet die Stufen 2 („trifft eher nicht zu“) bis 4 („trifft weitgehend zu“). Die Boxen zu *Typ 1* und *Typ 2* grenzen somit aneinander. Studierende im Cluster *Typ 3* wählen einheitlich die Option „trifft gar nicht zu“ (Stufe 0). Betrachtet werden nun die Boxen über die Einschätzungen der Studierenden dazu, dass ein unzureichendes Verständnis der Aufgabe eine Ursache für Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben ist (vgl. Abb. 6.4 (d)). Die Box zu den Einschätzungen von Studierenden aus dem Cluster *Typ 1* umfasst die Stufen 0 („trifft gar nicht zu“) und 1 („trifft fast nicht zu“). Sie wird nach oben begrenzt durch

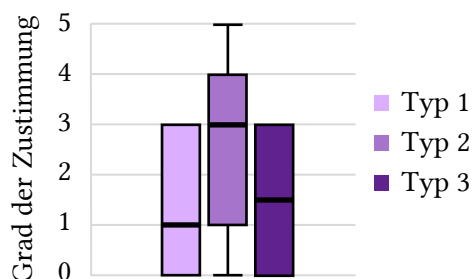
den Wert 1.5, welcher zwischen Stufe 1 und Stufe 2 („trifft eher nicht zu“) liegt. Die Box zu den Einschätzungen von Studierenden aus dem Cluster *Typ 2* beinhaltet die Stufen 2 („trifft eher nicht zu“) und 3 („trifft eher zu“). Die Box zu *Typ 1* liegt somit unterhalb von der Box zu *Typ 2*. Studierende im Cluster *Typ 3* wählten einheitlich die Option „trifft gar nicht zu“ (Stufe 0). Zur Aussage „Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass ich nicht weiß, wie ich rechnerisch vorgehen soll, nachdem ich einen Ansatz gefunden habe.“ stoßen die Boxen zu den Clustern *Typ 1* und *Typ 2* aneinander (vgl. Abb. 6.4 (f)). Die Box zu *Typ 1* beinhaltet die Stufen 2 („trifft eher nicht zu“) bis 4 („trifft weitgehend zu“). Die Box zu *Typ 2* beinhaltet dagegen die Stufen 0 („trifft gar nicht zu“) bis 2 („trifft eher nicht zu“), sodass die Box zu *Typ 2* unterhalb der Box zu *Typ 1* liegt. Studierende im Cluster *Typ 3* wählen einheitlich die Option „trifft gar nicht zu“ (Stufe 0). Betrachtet werden nun die Einschätzung der Studierenden dazu, inwiefern Unsicherheit im Umgang mit Gleichungen und Formeln eine Ursache für Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben sind (vgl. Abb. 6.4 (g)). Die Box zu *Typ 1* beinhaltet die Stufe 2 („trifft eher nicht zu“) und wird begrenzt durch die Werte 1.5 und 2.5, welche zwischen dieser und der darüber liegenden Stufe 3 („trifft eher zu“) und der darunter liegenden Stufe 1 („trifft fast nicht zu“) liegen. Studierende im Cluster *Typ 2* wählen die Stufen 0 („trifft gar nicht zu“) und 1 („trifft fast nicht zu“), wodurch die Box zu *Typ 2* unterhalb der Box zu *Typ 1* liegt. Studierende im Cluster *Typ 3* wählen einheitlich die Option „trifft gar nicht zu“ (Stufe 0). Die Boxen zu *Typ 1*, *Typ 2* und *Typ 3* zu den in Abbildung 6.4 (a) und (e) angegebenen Aussagen überschneiden sich vollkommen, d. h. es gibt in diesen Abbildungen keine zwei Boxen, die sich nicht überschneiden. Die Boxen zu *Typ 1* und 3 umfassen dabei die Stufen 0 („trifft gar nicht zu“) bis 3 („trifft eher zu“). Die Box zu *Typ 2* wird durch die Stufen 1 („trifft fast nicht zu“) und 4 („trifft weitgehend zu“) begrenzt.

Abbildung 6.4

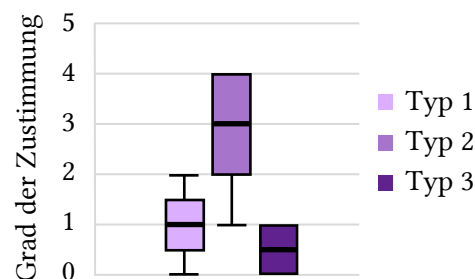
Einschätzungen der geclusterten Studierenden ($N_{Typ\ 1} = 5$, $N_{Typ\ 2} = 23$, $N_{Typ\ 3} = 2$) zum Auftreten verschiedener Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben

„Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass ...

(a) ... ich Inhalte aus der Physik noch nicht gut genug verstehe.“ (Item S.VI)



(b) ... die notwendigen Inhalte in den Fachveranstaltungen (noch) nicht ausführlich genug behandelt wurden.“ (Item S.II)



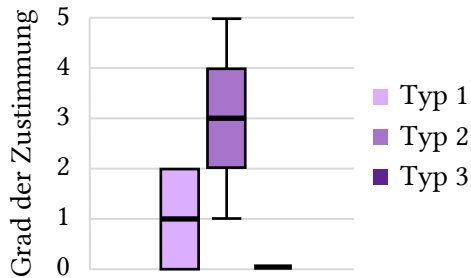
Anmerkung. Der Grad der Zustimmung der Studierenden kann Werte von 0 bis 5 annehmen, wobei „0“ mit „trifft gar nicht zu“ und „5“ mit „trifft voll zu“ zu übersetzen ist.

Abbildung 6.4

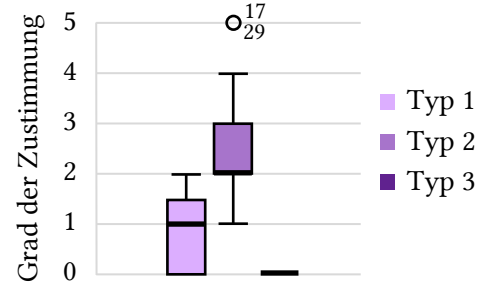
Einschätzungen der geclusterten Studierenden (Typ 1: $N_1 = 5$, Typ 2: $N_2 = 23$, Typ 3: $N_3 = 2$) zum Auftreten verschiedener Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben (Fortsetzung)

„Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass ...“

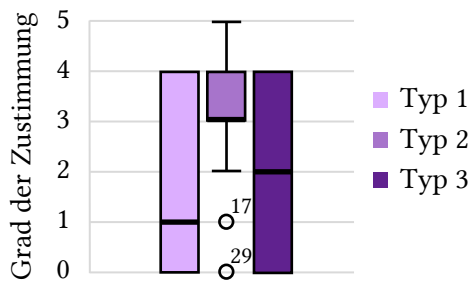
(c) ... die Aufgabe unnötig kompliziert gestellt ist.“ (Item S.KG)



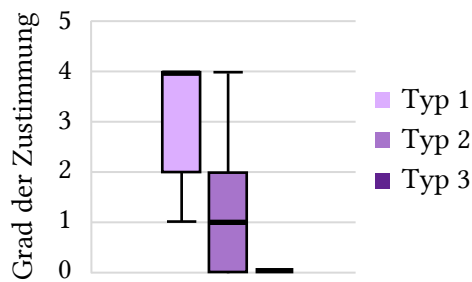
(d) ... ich die Aufgabe nicht richtig verstehe.“ (Item S.VA)



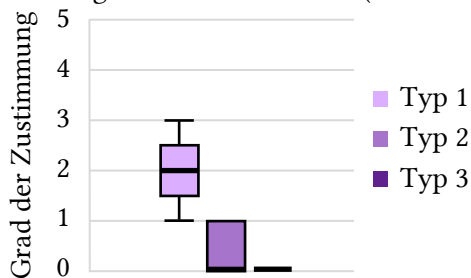
(e) ... mir der passende Ansatz nicht einfällt.“ (Item S.A)



(f) ... ich nicht weiß, wie ich rechnerisch vorgehen soll, nachdem ich einen Ansatz gefunden habe.“ (Item S.MV)



(g) ... ich unsicher im Umgang mit Gleichungen und Formeln bin.“ (Item S.M)



Anmerkung. Der Grad der Zustimmung der Studierenden kann Werte von 0 bis 5 annehmen, wobei „0“ mit „trifft gar nicht zu“ und „5“ mit „trifft voll zu“ zu übersetzen ist.

Diskussion

Alle der in der Erhebung abgefragten (Ursachen für) Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben stellen im Erleben von Subgruppen der Studierenden tatsächliche (Ursachen für) Schwierigkeiten dar, was aus der erfolgten Auswahl von Ausprägungen „trifft eher zu“ (3) bis „trifft voll zu“ (5) abgeleitet werden kann. Diese Schwierigkeiten sind für die Studierenden verschieden zentral, was auch an der niedrigen Ausprägung (vgl. Field, 2018) von $\alpha_{\text{alleItemsS_}}$ bzw. $\alpha_{\text{ohneItemS.M}}$ deutlich wird. Daher sollte auch in weiteren Analysen auf eine Zusammenfassung der Items zu einer Skala über die grundsätzlich Zustimmung zum Auftreten gegebener Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben verzichtet werden. Dieser Befund steht in Einklang damit, dass auch die in Kapitel 2.4 beschriebenen (Ursachen von) Schwierigkeiten in den zugehörigen Studien bei einigen, aber nicht allen Lernenden aufgetreten sind. Im Folgenden werden die Selbsteinschätzungen der Studierenden aus der Erhebung mit Befunden anderer Forschungsarbeiten verglichen. Hierbei wird insb. Bezug auf Ergebnisse von Pusch (2014)¹, Woitkowski (2022) und Brandenburger (2016) genommen. Zu beachten ist, dass die Ergebnisse von Pusch (2014) und Woitkowski (2022) aus Interviews abgeleitet worden sind, die Schwierigkeiten während der Bearbeitung von *konkreten* Rechenaufgaben aus Rechenübungsveranstaltungen thematisierten. Ergebnisse von Brandenburger (2016) beziehen sich auf die Anzahl von Schwierigkeiten bzw. Fehlern, die in der Evaluation abgegebener *Rechenaufgabenbearbeitungen* (Problemlösetest) *insgesamt* (nicht studierendenweise!) beobachtet worden sind. Zudem ist eine mögliche Diskrepanz zwischen Selbst- und Fremdeinschätzung möglich. Die Ergebnisse aus der Studie dieser Arbeit sowie die Ergebnisse von Pusch (2014) entstammen Selbsteinschätzungen bzw. Nennungen von Schwierigkeiten durch Studierende. Ergebnisse von Woitkowski (2022) und Brandenburger (2016) wurden aus Analysen von Fehlern der Studierenden gewonnen. Diese wurden somit durch Fremdeinschätzungen generiert.

Der Anteil der Zustimmung zu Items, die mit dem Verstehen der Aufgabe assoziiert sind (Item S.KG und Item S.VA) beträgt hier 50 % bzw. 33 %. Im Vergleich dazu geben fünf von elf Studierenden (45 %) in einer Studie aus Pusch (2014) in einem Interview an, Schwierigkeiten beim Verstehen der Fragestellung der Rechenaufgaben zu haben. Es handelt sich somit um eine ähnliche Größenordnung.

Das Verstehen von physikalischen Inhalten stellt für 57 % (Item S.VI) bzw. 53 % (Item S.TI) der Studierenden eine Ursache für Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben dar. Auch in Pusch (2014) und Woitkowski (2022) werden fachinhaltliche Aspekte als Ursachen für Schwierigkeiten festgestellt. In beiden Befunden ist der Anteil der betroffenen Studierenden jedoch geringer. So gibt Pusch (2014) einen von elf (9 %) Studierenden und Woitkowski (2022) acht von 35 (23 %) der Studierenden an. Hier ist zusätzlich zu beachten, dass sich die Zahl aus Pusch (2014) auf eine weniger breit ausfallende Aussage bezieht, die lediglich das Vergessen von Fachlichem oder einer Formel beinhaltet.

Für 77 % der Studierenden stellt das Finden eines geeigneten Ansatzes (Item S.A) eine Schwierigkeit bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben dar. Auch in Brandenburger (2016) werden häufig Fehler beim Identifizieren eines Lösungsansatzes festgestellt. So sind 61 % der Fehler im Problemlösetest

¹s. Voruntersuchung in Pusch, 2014, S. 50

Fehler durch die Auswahl eines falschen Ansatzes. Der Anteil in Brandenburger (2016) ist damit zwar geringer, aber dennoch vergleichsweise hoch.

Das rechnerische Vorgehen, nachdem ein Lösungsansatz ausgewählt wurde (Item *S.MV*), stellt mit einer Zustimmung von 30 % für die Studierenden eine eher seltenere Schwierigkeit bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben dar. In Woitkowski (2022) können im Vergleich dazu 21 von 35 Studierenden (60 %) zwar einen Ansatz identifizieren, diesen aber u. a. aufgrund langer Rechnungen nicht bis zum Ende verfolgen oder Rechnen im Kreis (Woitkowski, 2021b). In Pusch (2014) geben zwei der elf Studierenden (18 %) an, Schwierigkeiten beim Herausfinden und Anwenden der benötigten Formeln zu haben. Beide Befunde aus der Literatur unterscheiden sich untereinander sowie zum in dieser Studie berichteten Anteil deutlich. Ursächlich hierfür kann sein, dass sich die Kategorien in Pusch (2014) und Woitkowski (2022) inhaltlich etwas vom hier eingesetzten Item unterscheiden. Des Weiteren kann die Verschiedenheit der Anteile durch zufällige Effekte wegen der geringen Probandenzahlen in allen drei Studien bedingt sein.

Am seltensten sehen Studierende hier Ursachen für Schwierigkeiten in der Bearbeitung von Rechenaufgaben in Unsicherheiten bzgl. des Umgangs mit Gleichungen oder Formeln (Item *S.M*, 3 %). Im Vergleich zu den Befunden in der Literatur ist dieser Anteil als sehr gering einzuschätzen. In Pusch (2014) geben immerhin zwei von elf Studierenden (18 %) an, dass ihnen die mathematischen Inhalte der Übungsaufgaben Schwierigkeiten bereiten. Schwierigkeiten hält Woitkowski (2022) bzgl. fehlerhafter mathematischer Notationen bei 12 von 35 Studierenden (34 %) und bzgl. mangelnder algebraischer Fähigkeiten bei acht von 35 Studierenden (23 %) fest. Ursachen für die Unterschiede der Befunde aus der Literatur zu dem Anteil in dieser Studie können im Design des eingesetzten Fragebogens liegen. Die Studierenden in dieser Studie haben ihre Einschätzungen allgemein und nicht in Bezug auf die Bearbeitung konkreter Rechenaufgaben abgegeben. Hierdurch ist unbekannt, auf welche Erfahrungen mit welchen Rechenaufgaben sich die Studierenden beziehen. Möglicherweise werden Erfahrungen mit Schwierigkeiten anders erinnert, wenn die Studierenden sich allgemein auf das Bearbeiten von Rechenaufgaben beziehen sollen, statt auf die Bearbeitung einzelner Rechenaufgaben. Zudem ist es möglich, dass gewisse Rechenaufgaben das Auftreten von bestimmten Schwierigkeiten besonders (un)wahrscheinlich machen. Hierdurch würde die Nennung von Schwierigkeiten auch von den eingesetzten Rechenaufgaben abhängen und ein Vergleich mit von konkreten Rechenaufgaben gelösten Einschätzungen wäre kaum möglich.

Im Folgenden werden zu den einzelnen Clustern Profile bzgl. „typischer“ (Ursachen von) Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben auf Basis der Einschätzungen der Studierenden in den entsprechenden Clustern ausgearbeitet. (Ursachen von) Schwierigkeiten der Studierenden im Cluster *Typ 1* liegen nach Angaben der Studierenden weniger an fachinhaltlichen Aspekten oder dem Verstehen der Aufgabe sondern eher an mathematischen Aspekten. Für einige der Studierenden stellt das Identifizieren eines Lösungsansatzes eine Schwierigkeit dar. Studierende im Cluster *Typ 2* sehen ihre Schwierigkeiten dagegen stärker im fachinhaltlichen Verständnis sowie auch im Auswählen eines Lösungsansatzes. Das weitere rechnerische Vorgehen, nach dem Finden eines Ansatzes, stellt für einige eine Schwierigkeit dar. Den Umgang mit Gleichungen und Formeln empfinden diese Studierenden beim Bearbeiten von Rechenaufgaben eher nicht als eine Schwierigkeit. Studierende

im Cluster *Typ 3* sehen ihre Schwierigkeiten teilweise beim Verstehen physikalischer Inhalte und dem Identifizieren von Lösungsansätzen. Alle anderen möglichen (Ursachen für) Schwierigkeiten sind nach deren Angaben im Rahmen ihrer Bearbeitungen von Rechenaufgaben unproblematisch.

In Bezug auf die Ergebnisse der Clusteranalyse ist abschließend festzustellen, dass die Anzahl an Studierenden je Cluster verschieden hoch ist. Zu Cluster *Typ 2* werden fast fünf mal so viele Studierende zugewiesen wie zu Cluster *Typ 1* und fast 12 mal so viele wie zu Cluster *Typ 3*. Im Zuge weiterer Analysen, die auf der Clusterzuweisung aufbauen, kann die geringe Anzahl an Studierenden in Typ 1 ($N_{Typ\ 1} = 5$) und Typ 3 ($N_{Typ\ 3} = 2$) dazu führen, dass keine generalisierenden Schlussfolgerungen abgeleitet werden können. Dieser Umstand ist für die Interpretation von Ergebnissen in Verbindung mit der Clusterbildung zu beachten.

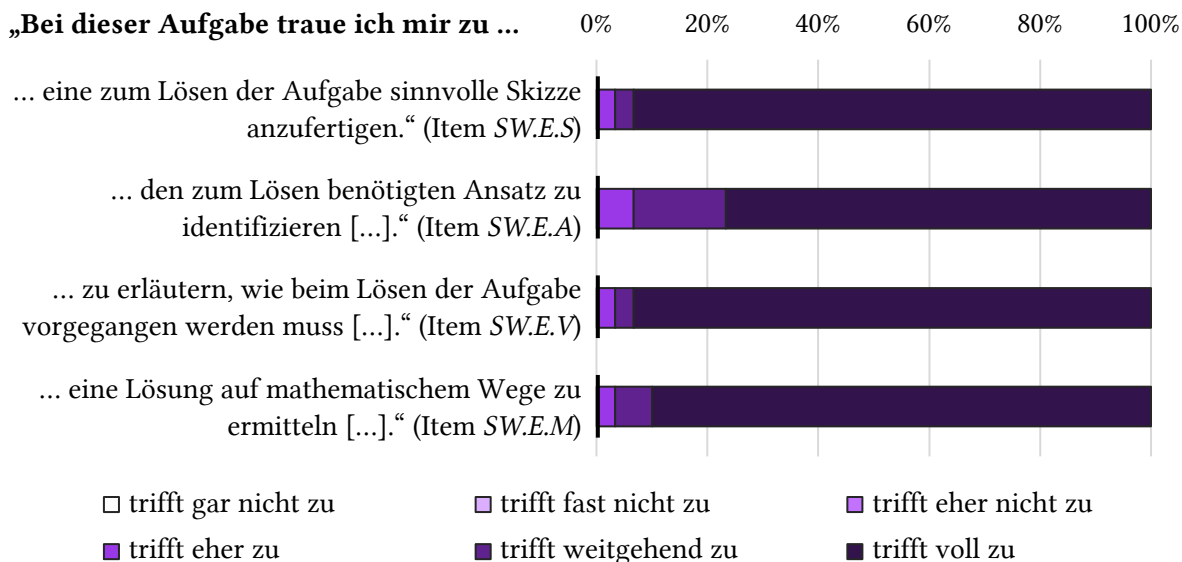
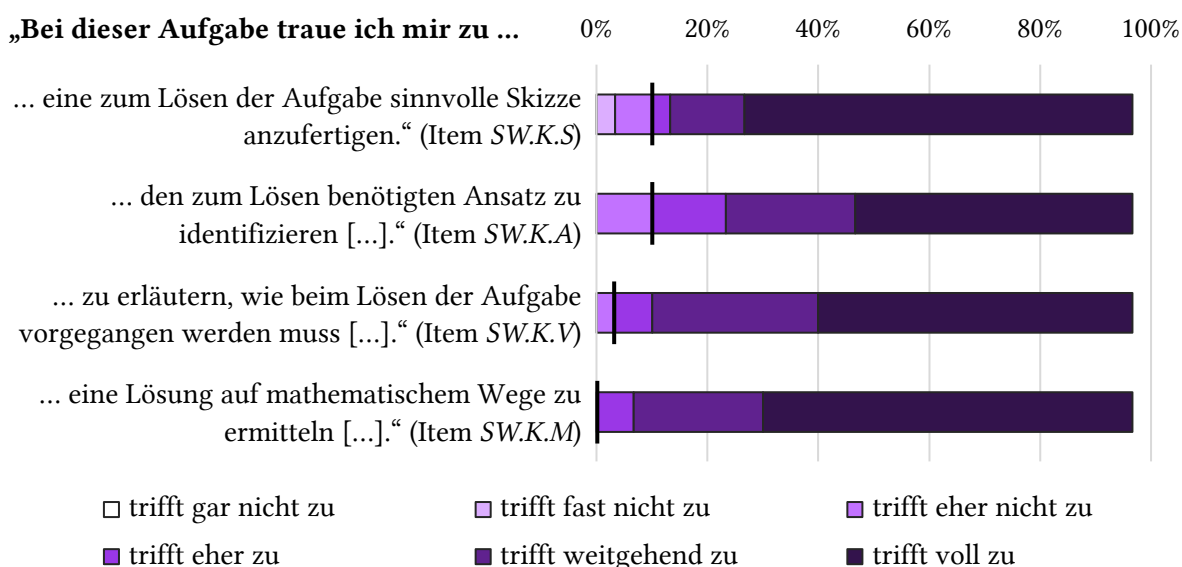
6.1.3 Ergebnisse über die Selbstwirksamkeitserwartung zum Abschließen von Lösungsschritten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben

Im Rahmen der Studie wurden die Studierenden dazu aufgefordert einzuschätzen, inwiefern sie sich bei drei Rechenaufgaben zutrauen, verschiedene Lösungsschritte (vgl. Kapitel 2.3.3) bei der Bearbeitung dieser Rechenaufgaben abzuschließen. In allen drei Rechenaufgaben wird eine beschleunigte vertikale Flug- oder Fallbewegung beschrieben, der zur Lösung jeweils anzuwendende effektivste Lösungsansatz (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz) variiert jedoch (vgl. Kapitel 4.1.1). Im Folgenden werden die präsentierten Rechenaufgaben über den zur Lösung anzuwendenden Lösungsansatz adressiert (E- vs. K- vs. B-Rechenaufgabe). So wird bspw. die hier eingesetzte Rechenaufgabe, die einen Bewegungsansatz zur Lösung erfordert, als B-Rechenaufgabe bezeichnet. Die relativen Häufigkeiten zu den Einschätzungen der Studierenden sind in Abbildung 6.5 je Rechenaufgabe und Aussage zum Lösungsschritt dargestellt. Zur E- und B-Rechenaufgabe stimmten nahezu alle Studierenden allen Aussagen über das Abschließen der Lösungsschritte mindestens mit „trifft eher zu“ zu. Eine Ablehnung ist ausschließlich mit „trifft eher nicht zu“ in 3 % der Fälle zur B-Rechenaufgabe bzgl. der Aussage „Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu, eine zum Lösen der Aufgabe sinnvolle Skizze anzufertigen“ festzustellen. Besonders häufig wählten die Studierenden bzgl. der E- und B-Rechenaufgabe zu allen Aussagen die Einschätzung „trifft voll zu“ (E: 77 % – 93 % bzw. B: 80 % – 90 %). Am seltensten wird die Einschätzung „trifft voll zu“ für die Aussage über das Identifizieren eines Lösungsansatzes getroffen (E: 77 % bzw. B: 80 %). Hier wählten die Studierenden im Vergleich anderen Aussagen häufiger die Einschätzungen „trifft eher zu“ (E: 7 % bzw. B: 13 %) und „trifft weitgehend zu“ (E: 17 % bzw. B: 7 %).

Zur K-Rechenaufgabe stimmten alle der Studierenden, die eine Einschätzung abgegeben haben, der Aussage zu, eine Lösung auf mathematischem Wege ermitteln zu können (97 %). Eine sinnvolle Skizze anzufertigen zu können (87 %), den benötigten Lösungsansatz identifizieren zu können (87 %) oder erläutern zu können, wie beim Lösen der Aufgabe vorgegangen werden muss (93 %), wurde seltener zugestimmt. Ebenfalls wurde die Einschätzung „trifft voll zu“ bzgl. der Aussagen seltener zu den beiden anderen Rechenaufgaben vertreten (50 % – 70 %). Stattdessen wurden zu den Aussagen häufiger die Einschätzungen „trifft eher zu“ (3 % – 13 %) und „trifft weitgehend zu“ (13 % – 30 %) ausgewählt. Zur K-Rechenaufgabe wurde „trifft voll zu“ bzgl. der Aussage über das Identifizieren von Lösungsansätzen im Vergleich zu den anderen Aussagen, wie auch zu den anderen Rechenaufgaben, am seltensten ausgewählt (50 %).

Abbildung 6.5

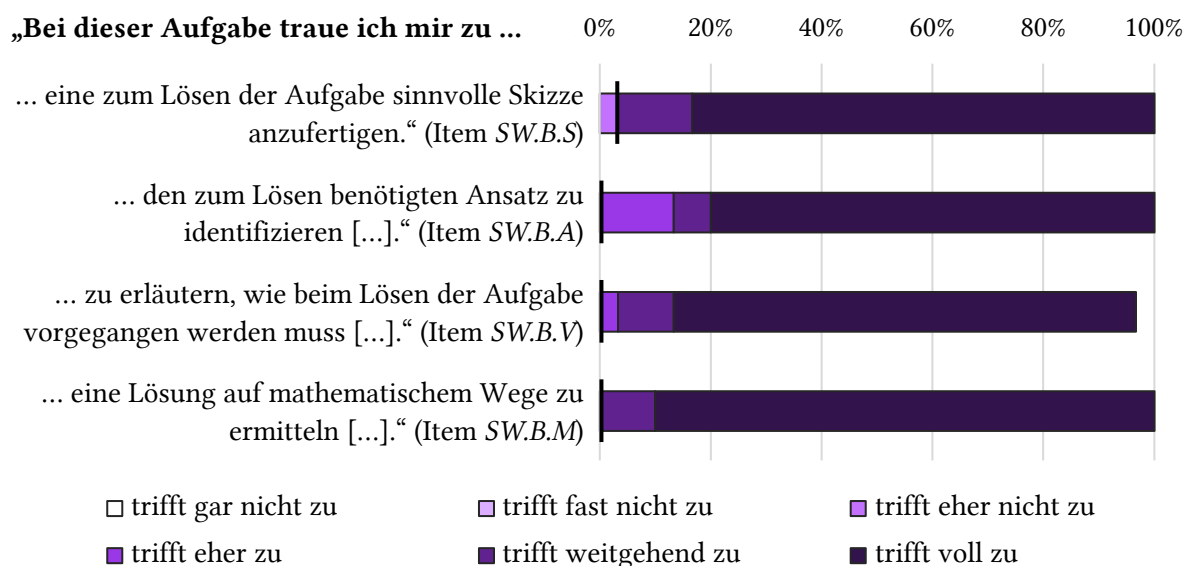
Einschätzungen der Studierenden ($N = 30$) zur Erwartung, Lösungsschritte beim Bearbeiten von drei Rechenaufgaben erfolgreich abzuschließen

(a) Einschätzungen zur E-Rechenaufgabe**(b) Einschätzungen zur K-Rechenaufgabe**

Anmerkung. Die vertikale Markierung je Balkendiagramm verdeutlicht den Wechsel von Einschätzungen mit Tendenz zur Ablehnung der Aussage zu Einschätzungen mit Tendenz zum Zuspruch zur Aussage. Wurden Einschätzungen ausgelassen (s. Teil (b) und (c)), so wird dies daran deutlich, dass die Balken die 100 %-Marke nicht erreichen. Die Abkürzungen E, K, B stehen für den zur Lösung der entsprechenden Rechenaufgabe anzuwendenden Lösungsansatz (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz).

Abbildung 6.5

Einschätzungen der Studierenden (N = 30) zur Erwartung, Lösungsschritte beim Bearbeiten von drei Rechenaufgaben erfolgreich abzuschließen (Fortsetzung)

(c) Einschätzungen zur B-Rechenaufgabe

Anmerkung. Die vertikale Markierung je Balkendiagramm verdeutlicht den Wechsel von Einschätzungen mit Tendenz zur Ablehnung der Aussage zu Einschätzungen mit Tendenz zum Zuspruch zur Aussage. Wurden Einschätzungen ausgelassen (s. Teil (b) und (c)), so wird dies daran deutlich, dass die Balken die 100%-Marke nicht erreichen. Die Abkürzungen E, K, B stehen für den zur Lösung der entsprechenden Rechenaufgabe anzuwendenden Lösungsansatz (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz).

Unter Betrachtung aller Items zur Selbstwirksamkeitserwartung ergibt sich ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .89$. Im Folgenden werden jedoch die Einschätzungen der Studierenden bzgl. ihrer Erwartung, bei den drei präsentierten Rechenaufgaben einen Lösungsansatz identifizieren zu können, fokussiert. Bzgl. der drei Items zum Identifizieren eines Lösungsansatzes (Items SW.E.A, SW.K.A, SW.B.A) ist ein niedrigeres Cronbachs Alpha von $\alpha = .76$ festzustellen.

Anhand der Kreuztabellen in Tabelle 6.2 wird deutlicher, welche Kombinationen an Einschätzungen die Studierenden bzgl. dieses Lösungsabschnittes angegeben haben. Zu beachten ist, dass ein*e Student*in die Einschätzung zum Ansatzfinden bei der K-Rechenaufgabe ausgelassen hat (vgl. Anhang D, Tab. 34) und die Einschätzungen dieser Person nur in die Kreuztabelle 6.2 (c) eingehen. Betrachtet wird zunächst die Kreuztabelle über den Vergleich der Einschätzungen der Studierenden darüber, ob sie sich bei der gegebenen E- und K-Rechenaufgabe zutrauen, einen geeigneten Lösungsansatz zu identifizieren (vgl. Tab. 6.2 (a)). Studierende, die zum Identifizieren eines Ansatzes bei der E-Rechenaufgabe eine Einschätzung von 5: „trifft voll zu“ ausgewählt haben, geben häufig zum Identifizieren eines Ansatzes bei der K-Rechenaufgabe ebenfalls eine Einschätzung von 5 an (15 mal). Auch gibt es Studierende, die zwar zum Finden eines Ansatzes bei der E-Rechenaufgabe eine

Einschätzung von 5, zur K-Rechenaufgabe jedoch eine niedrigere Einschätzung angegeben haben (Einschätzung 2–4: „trifft eher nicht zu“ – „trifft weitgehend zu“, 8 mal.) Umgekehrt gibt es keine Studierenden, die zwar zum Finden eines Ansatzes bei der K-Rechenaufgabe eine Einschätzung von 5, aber eine niedrigere Einschätzung bzgl. der E-Rechenaufgabe abgegeben haben. Insgesamt haben $15 + 3 = 18$ Studierende bzgl. des Identifizierens von Ansätzen zu der E- und K-Rechenaufgabe die gleichen Einschätzungen angegeben. $4 + 2 + 2 + 2 + 1 = 11$ Studierende haben zur E-Rechenaufgabe eine höhere Einschätzung als zur K-Rechenaufgabe gewählt. Umgekehrt hat keine*r der Studierenden eine niedrigere Einschätzung zur Ansatzfindung bei der E-Rechenaufgabe als bei der K-Rechenaufgabe angegeben. Die Abweichung von beiden Einschätzungen ist in $15 + 3 + 4 + 2 + 1 = 25$ Fällen maximal eine Stufe. Betrachtet wird nun die Kreuztabelle über den Vergleich der Einschätzungen der Studierenden darüber, ob sie sich bei der gegebenen K- und B-Rechenaufgabe zutrauen, einen geeigneten Lösungsansatz zu identifizieren (vgl. Tab. 6.2 (b)). Studierende, die zum Finden eines Ansatzes bei der K-Rechenaufgabe eine Einschätzung von 5: „trifft voll zu“ abgegeben haben, haben in allen Fällen (15 mal) auch angegeben, sich das Finden eines Ansatzes zur B-Rechenaufgabe voll zuzutrauen. Umgekehrt haben nicht alle Studierenden, die zum Identifizieren eines Lösungsansatzes bei der B-Rechenaufgabe eine Einschätzung von 5 gewählt haben, auch die höchste Einschätzung bzgl. der K-Rechenaufgabe angegeben (9 mal). Hier reichen die Einschätzungen von 2: „trifft eher nicht zu“ bis 5: „trifft voll zu“. In $15 + 2 = 17$ Fällen haben die Studierenden zur Ansatzfindung bei beiden Rechenaufgaben die gleiche Einschätzung angegeben. Die Studierenden wählten $6 + 2 + 1 + 1 + 1 = 11$ mal zur B-Rechenaufgabe eine höhere Einschätzung als zur K-Rechenaufgabe. Umgekehrt wurde 1 mal eine höhere Einschätzung zur K-Rechenaufgabe als zur B-Rechenaufgabe bzgl. des Identifizierens von Lösungsansätzen abgegeben. Die Abweichung zwischen beiden Einschätzungen beträgt in $1 + 2 + 15 + 1 + 6 = 25$ Fällen maximal eine Stufe. Betrachtet wird abschließend die Kreuztabelle über den Vergleich der Einschätzungen der Studierenden darüber, ob sie sich bei der gegebenen E- und B-Rechenaufgabe zutrauen, einen geeigneten Lösungsansatz zu identifizieren (vgl. Tab. 6.2 (c)). Die Studierenden gaben in $22 + 1 = 23$ Fällen die gleiche Einschätzung bei beiden Rechenaufgaben an. Die Abweichung in allen anderen Fällen beträgt eine Stufe. Hierbei haben $1 + 3 = 4$ Studierende zum Finden eines Ansatzes der E-Rechenaufgabe eine höhere Einschätzung als zur B-Rechenaufgabe ausgewählt. Bei $2 + 1 = 3$ Studierenden war es umgekehrt.

Der Mittelwert der Einschätzungen der Studierenden liegt, wie auch in Abbildung 6.6 dargestellt, besonders häufig bei einem Zustimmungsggrad von 5 (15 mal bzw. 50 %) und bei 4.33 bzw. 4.67 (je 4 mal bzw. 13 %). Insgesamt liegt die gemittelte Selbsteinschätzung der Studierenden zwischen 2.67 und 5.00. Die Mittelwerte der Einschätzungen von den einzelnen Studierenden können Tabelle 47 in Anhang E entnommen werden. Eine Clusteranalyse zu den Mittelwerten legt nahe, dass die Studierenden bzgl. ihrer gemittelten Einschätzung auf vier Cluster aufgeteilt werden können (schrittweise Clusterzusammenführung s. Anhang E, Tab. 48). Hierbei wurden die Studierenden dem Cluster *sehr hoch* zugeordnet, wenn deren gemittelte Einschätzung 4.67 oder 5.00 beträgt. Studierende mit einer gemittelten Einschätzung von 4.00 oder 4.33 wurden in den Cluster *hoch* eingeteilt. Studierende, deren gemittelte Einschätzung bei 3.33, 3.50 oder 3.67 liegt, wurden dem Cluster *mäßig* zugewiesen. Eine gemittelte Einschätzung von 2.67 führte zur Zuordnung in den Cluster *neutral*. Die Clusterbenennung

beschreibt dabei den mittleren Grad der Zustimmung zur Aussage, ob sich die Studierenden das Identifizieren eines Lösungsansatzes bei den drei gegebenen Rechenaufgaben zutrauen. Nach den genannten Zuweisungsregeln konnten $N_{sehr\ hoch} = 19$ Studierende dem Cluster *sehr hoch*, $N_{hoch} = 5$ Studierende dem Cluster *hoch*, $N_{mäßig} = 5$ Studierende dem Cluster *mäßig* und $N_{neutral} = 1$ Studierende*r dem Cluster *neutral* zugeteilt werden (für Zuordnung der einzelnen Studierenden s. Anhang E, Tab. 49).

Tabelle 6.2

Kreuztabellen über Einschätzungen der Studierenden ($N = 30$) zu deren Erwartung, bei je einer E-, K- und B-Rechenaufgabe einen Lösungsansatz identifizieren zu können

(a) Kombination von Einschätzungen zur E- und K-Rechenaufgabe

		Einschätzung zur K-RA						Summe
		0	1	2	3	4	5	
	Einschätzung zur E-RA							
	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	0	0	0	1
	4	0	0	0	2	3	0	5
	5	0	0	2	2	4	15	23
	Summe	0	0	3	4	7	15	29

(b) Vergleich von Einschätzungen zur K- und B-Rechenaufgabe

		Einschätzung zur B-RA						Summe
		0	1	2	3	4	5	
	Einschätzung zur K-RA							
	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	1	1	1	3
	3	0	0	0	2	0	2	4
	4	0	0	0	1	0	6	7
	5	0	0	0	0	0	15	15
	Summe	0	0	0	4	1	24	29

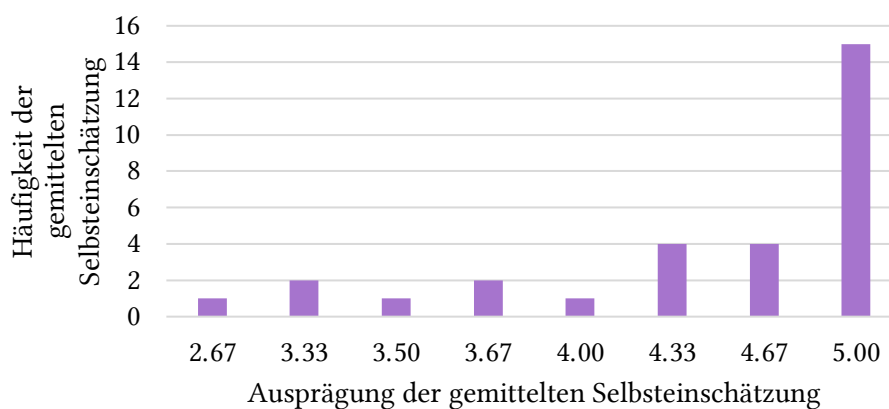
(c) Kombination von Einschätzungen zur E- und B-Rechenaufgabe

		Einschätzung zur B-RA						Summe
		0	1	2	3	4	5	
	Einschätzung zur E-RA							
	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	1	1	0	2
	4	0	0	0	3	0	2	5
	5	0	0	0	0	1	22	23
	Summe	0	0	0	4	2	24	30

Anmerkung. In den Tabellen wurde die Abkürzung „RA“ für „Rechenaufgabe“ genutzt. Die Rechenaufgaben sind bzgl. der Aufgabensituation durch vertikale Flug- oder Fallbewegungen und durch einen effizientesten Lösungsansatz (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz) charakterisiert. Die Einschätzungen von 0 bis 5 beziehen sich jeweils auf die Zustimmung zu den Items zur Selbstwirksamkeitserwartung (Items SWE.A, SW.K.A, SW.B.A).

Abbildung 6.6

Häufigkeiten von Ausprägungen der gemittelten Selbsteinschätzung zur Erwartung, zu den drei gegebenen Rechenaufgaben einen Lösungsansatz identifizieren zu können



Anmerkung. Die Rechenaufgaben sind durch Aufgabensituationen mit beschleunigten vertikalen Flug- oder Fallbewegungen und durch einen effizientesten Lösungsansatz (Energie-, Kraft- oder Bewegungsansatz) charakterisiert. Die gemittelten Einschätzungen basieren auf Einschätzungen von 0 bis 5 über die Zustimmung zu den Items zur Selbstwirksamkeitserwartung (Items SW.E.A, SW.K.A, SW.B.A).

Diskussion

Die sich in Abbildung 6.5 zeigende allgemeine hohe Zustimmung zu den Items zur Selbstwirksamkeitserwartung (SW.E.S – SW.B.M) lässt die Frage aufkommen, ob die (gedankliche) Lösung der präsentierten Rechenaufgaben für die Studierenden, anders als in Kapitel 4.1.1 angenommen, keine Hürde darstellt und den Items daher leicht zugestimmt werden kann. Die in folgenden Kapiteln (insb. Kapitel 6.2.3 und 6.2.5) dargestellte Ergebnisse zeigen, dass zumindest die Auswahl eines Lösungsansatzes bei den im zweiten Erhebungsschritt eingesetzten E-, K-, B-Rechenaufgaben mit identischen Oberflächenmerkmalen (= Rechenaufgaben in Aufgabensatz 3 des 2. Erhebungsschrittes) nicht immer gut gelingt. So ordnen die Studierenden im Mittel die entsprechenden E-Rechenaufgaben zu 26 %, K-Rechenaufgaben zu 82 % und B-Rechenaufgaben zu 59 % einem angemessenen (dem effizientesten) Lösungsansatz zu (vgl. Kapitel 6.2.3, Tab. 6.5). Es liegt somit nahe, dass die Studierenden (zumindest in Bezug auf das Identifizieren von Lösungsansätzen) die Schwierigkeit der Lösungsabschnitte tendenziell unterschätzen. Ursächlich hierfür kann die „einfache“ Einkleidung der Rechenaufgaben sein, wie auch schon von einer*m Studierenden in einer Pilotierung der Zuordnung der Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen festgestellt wurde (vgl. Kapitel 4.3). Weitere Ergebnisse über Unterschiede und Übereinstimmungen zwischen den Einschätzungen zu den Selbstwirksamkeitsitems und dem Sortieren von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen werden in den Kapiteln 6.2.3 und 6.2.5 vorgestellt.

Auffällig ist des Weiteren, dass die Einschätzungen der Studierenden zu Items der E- und B-Rechenaufgabe (insb. im Kontrast zu Items der K-Rechenaufgabe) jeweils ähnlich auszufallen scheinen. Einerseits könnten Unterschiede in der Lösung der E- und B-Rechenaufgabe nicht wahrgenommen werden, sodass es zu einer ähnlichen Einschätzung kommt. Ein Indiz hierfür stellt die häufige

Zuordnung im zweiten Erhebungsschritt von E-Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 3 zum Bewegungsansatz dar (vgl. Kapitel 6.2.4). Andererseits soll mit den Items trotz verschiedener Rechenaufgaben insgesamt die Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. des Lösen von Rechenaufgaben – also dasselbe, eindimensionale Konstrukt – erfasst werden, sodass eine Ähnlichkeit der Einschätzungen auch erwartungskonform ist. Passend dazu legt auch die hohe Ausprägung des Cronbach Alphas bzgl. aller Items zur Selbstwirksamkeitserwartung nahe, dass diese Items eine hohe interne Konsistenz aufweisen und dasselbe eindimensionale Konstrukte erfassen. Ungeachtet dessen sollte bspw. mithilfe von Interviews geprüft werden, ob Items zu E- und B-Rechenaufgaben auf unterschiedliche Nuancen der Selbstwirksamkeitserwartung abzielen oder im Verständnis der Studierenden eher Dopplungen darstellen. Würden die Items für die Studierenden eher Dopplungen darstellen, könnte dies den Wert für Cronbachs Alpha beeinflussen und dazu führen, dass eine höhere interne Konsistenz *verschieden intendierter* Items angenommen wird.

Insgesamt zeichnet sich zu allen drei Rechenaufgaben eine geringere Zustimmung zu Items über das Identifizieren des Ansatzes (*SW.E.A*, *SW.K.A* und *SW.B.A*) im Vergleich zu den anderen Items ab (vgl. Abbildung 6.5). Somit scheinen sich die Studierenden das Auswählen eines angemessenen Ansatzes weniger zuzutrauen, als bspw. das Lösen der Rechenaufgabe auf mathematischem Wege. Diese Beobachtung steht in Einklang mit Ergebnissen des vorherigen Kapitels 6.1.2, dass im Empfinden der Studierenden das Identifizieren eines Lösungsansatzes eine häufige Schwierigkeit beim Lösen von Rechenaufgaben darstellt. Ebenfalls passt diese Beobachtung zu Befunden anderer Forschungsarbeiten, die das Identifizieren eines Lösungsansatzes als ein häufig mit Schwierigkeiten und Fehlern behaftetes Element des Lösen von Rechenaufgaben hervorheben (z. B. Brandenburger, 2016, Friege, 2001, Woitkowski, 2022). Die Einschätzungen zu den drei Items über das Identifizieren des Ansatzes scheinen darüber hinaus ähnlich auszufallen, was daran deutlich wird, dass die Abweichung zwischen den Einschätzungen in 25 von 29 Fällen (vgl. Tab. 6.2 (a) und (b)) bzw. 30 von 30 Fällen (vgl. Tab. 6.2 (c)) maximal eine Stufe beträgt. Die in Kapitel 5.1.3 thematisierte Problematik zur die Aussagekraft des Mittelwertes über die Selbstwirksamkeitserwartung bei Diskrepanzen in den Einschätzungen kommt somit nur in wenigen Fällen zum Tragen. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass zum einen der Mittelwert zu den Einschätzungen eine ähnliche Aussagekraft bzgl. der Selbstwirksamkeitserwartung der Studierenden bzgl. des Identifizierens von Lösungsansätzen hat, wie die einzelnen Einschätzungen unter gemeinsamer Betrachtung. Zum Anderen ist die hohe Ähnlichkeit der einzelnen Einschätzungen zueinander sowie der hohe Wert für Cronbachs Alpha bzgl. dieser drei Items ein Indiz dafür, dass mit den drei Items jeweils dasselbe Konstrukt adressiert wird.

Für folgende Analysen ist zu beachten, dass sich die gebildeten Cluster aufgrund der insgesamt ähnlichen Einschätzungen der Studierenden nicht stark voneinander unterscheiden. Zudem bestehen drei der vier Cluster aus einer bzw. fünf Personen, sodass in folgenden Analysen (nicht) gefundene Unterschiede zwischen diesen Personengruppen stärker zufällig verursacht sein können. Es können somit nur wenig generalisierte Schlussfolgerungen in Verbindung mit den Clustern abgeleitet werden. Aus diesen Gründen wird der Cluster *neutral* ($N_{neutral} = 1$) in weitere Analysen in Zusammenhang mit der Selbstwirksamkeitserwartung nicht einbezogen, sondern als Ausreißer betrachtet. Für die

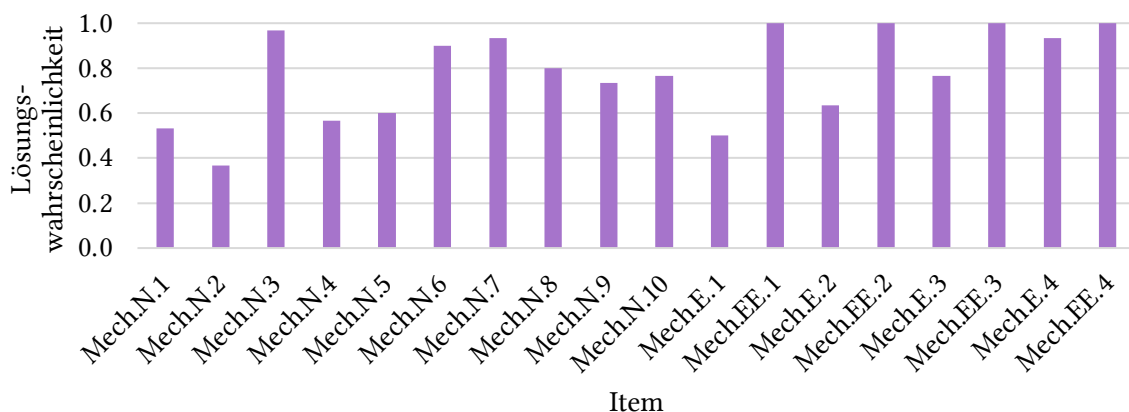
erneute Durchführung der Studie wäre ein Ausbau der Probandenzahl vorteilhaft, sodass die Anzahl an Studierenden in den hier kleineren Clustern größer wird und allgemeinere Schlussfolgerungen abgeleitet werden können.

6.1.4 Ergebnisse über die Fähigkeiten der Studierenden zu Mechanik

Die Ergebnisse der Bearbeitungen des eingesetzten Mechaniktests (s. Kapitel 4.1.1) werden im Folgenden vorgestellt. Mit Blick auf die eingesetzten Testitems zeigt sich, dass diese unterschiedlich häufig angemessen gelöst wurden (vgl. Abb. 6.7). Die Lösungswahrscheinlichkeit (= Anteil Studierender, die das jeweilige Item angemessen beantwortet haben) liegt jeweils zwischen 37 % und 100 %. Die vier Items *Mech.EE.1*, *Mech.EE.2*, *Mech.EE.3* und *Mech.EE.4* wurden von allen Studierenden angemessen beantwortet. Im Mittel beträgt die Lösungswahrscheinlichkeit 78 % (71 % ohne *Mech.EE.1-4*), der Median liegt bei 87 % (75 % ohne *Mech.EE.1-4*). Cronbachs Alpha liegt bzgl. des Zusammenschlusses der Items aus dem Mechaniktest ohne *Mech.EE.1-4* bei $\alpha = .84$. Unter Ausschluss der Items *Mech.EE.1*, *Mech.EE.2*, *Mech.EE.3* und *Mech.EE.4* (vgl. Kapitel 5.1.3) liegt der korrigierte¹ Anteil richtig beantworteter Testitems zur Mechanik bei den Studierenden zwischen 29 % und 100 % (vgl. Abb. 6.8). Im Mittel wurde ein Anteil von 71 % erreicht. Der Median liegt bei 79 %. Sechs Studierende haben alle Testitems angemessen beantwortet.

Abbildung 6.7

Lösungswahrscheinlichkeiten der Mechanikitems auf Grundlage von je $N = 30$ Bearbeitungen

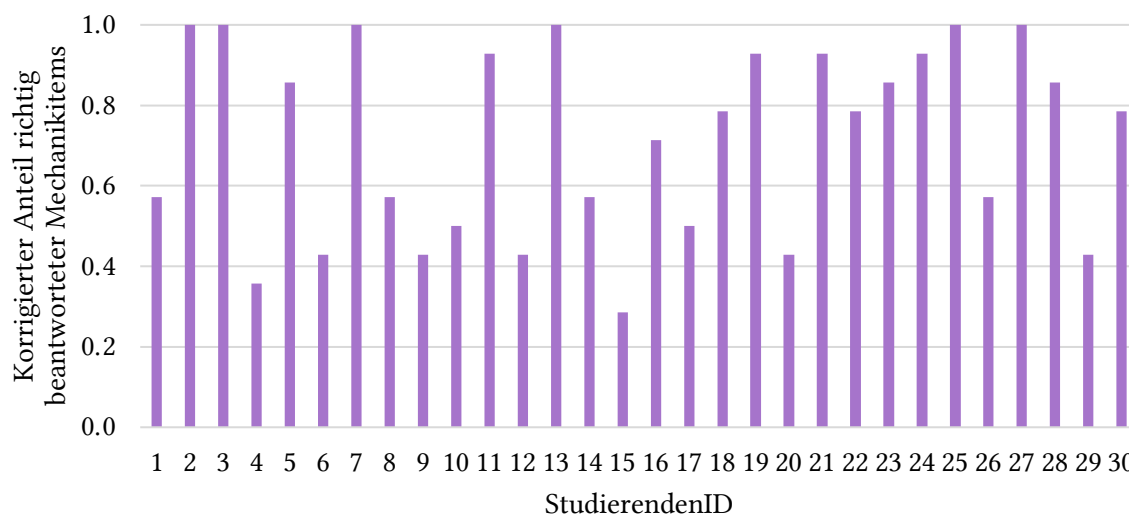


Anmerkung. Die Benennung der Items setzt sich aus der Abkürzung „Mech“ für „Mechanik“, einer themenbereichspezifischen Abkürzung „N“ für „Newton“ bzw. „E“ für „Energieumwandlung“ bzw. „EE“ für „Energieerhaltung“ und einer themenbereichspezifischen fortlaufenden Nummer zusammen.

¹ „korrigiert“: Unter Ausschluss der Items *Mech.EE.1*, *Mech.EE.2*, *Mech.EE.3* und *Mech.EE.4*

Abbildung 6.8

Korrigierte Anteile richtig beantworteter Mechanikitems der Studierenden ($N = 30$)



Anmerkung. Die StudierendenID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient.

Eine Clusteranalyse bzgl. des korrigierten Anteils angemessen beantworteter Testitems zur Mechanik legt nahe, dass die Studierenden bzgl. des korrigierten Anteils in vier Cluster eingeteilt werden können (schrittweise Clusterzusammenführung s. Anhang E, Tab. 51). Hierbei wurden die Studierenden dem Cluster *sehr hoch* zugeteilt, wenn deren erreichter, korrigierter Anteil 93 % bis 100 % beträgt. Studierende mit einem korrigierten Anteil angemessen gelöster Items von 71 % bis 86 % wurden dem Cluster *mittel – hoch* zugewiesen und Studierende mit einem korrigierten Anteil von 43 % bis 57 % dem Cluster *niedrig*. Studierende mit einem korrigierten Anteil angemessen beantworteter Testitems von 29 % bis 36 % wurden dem Cluster *sehr niedrig* zugeordnet. Nach diesen Zuweisungsregeln wurden $N_{\text{sehr hoch}} = 10$ Studierende dem Cluster sehr hoch und $N_{\text{mittel – hoch}} = 7$ dem Cluster *mittel – hoch* zugewiesen. Zudem wurden $N_{\text{niedrig}} = 11$ Studierende dem Cluster *niedrig* und $N_{\text{sehr niedrig}} = 2$ Studierende dem Cluster *sehr niedrig* zugeordnet (für Zuordnung der einzelnen Studierenden s. Anhang E, Tab. 52).

Diskussion

Die Lösungswahrscheinlichkeiten der Items sind breit gefächert, sodass davon auszugehen ist, dass mithilfe des Mechaniktests ausreichend zwischen den Studierenden bzgl. des Mechanikverständnisses differenziert werden kann. Dies wird auch an der Verteilung der korrigierten Anteile angemessen beantworteter Items der einzelnen Studierenden deutlich (vgl. Abb. 6.8): Ab der Ratewahrscheinlichkeit¹ von 25 % sind die Anteile über das gesamte Spektrum bis zur 100 %-Marke verteilt. Daran, dass sechs der 30 Studierenden alle Mechanikitems richtig beantwortet haben, ist allerdings ein Deckeneffekt naheliegend. Umgekehrt scheint ein Bodeneffekt nicht vorzuliegen, da die korrigierten Anteile angemessener Beantwortungen eher im oberen Bereich anzusiedeln sind (vgl. Mittelwert und Median) und kaum eine*r der Studierenden korrigierte Anteile in der Nähe oder unter der

¹Ermittelt aus dem Verhältnis der Anzahl richtiger Antwortmöglichkeiten zur Anzahl der Antwortmöglichkeiten (4 je Item)

25 %-Marke¹ erzielt hat. Für zukünftige Erhebungen sollten daher Items dem Erhebungsinstrument hinzugefügt werden, bei denen geringere Lösungswahrscheinlichkeiten zu erwarten sind. Ggf. kann so das Zustandekommen eines Deckeneffektes vermieden und eine genauere Differenzierung zwischen Studierenden mit hohen Anteilen richtig beantworteter Items erreicht werden. Items mit Lösungswahrscheinlichkeiten von 100 % können dagegen für vergleichbare Probandengruppen aus dem Instrument entfernt werden, da deren Auswertung nicht zur Aufklärung von Varianz beiträgt. In dieser Studie wurden Lösungswahrscheinlichkeiten von 100 % bei allen Items zur Energieerhaltung (*Mech.EE.1 – 4*) erreicht und entsprechend in der Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Da die Energieerhaltung in vielen Rechenaufgaben bei der Anwendung eines Energieansatzes ein zentrales Konzept ist und gleichzeitig die Vorstellung „Energie wird verbraucht“ eine nicht zu vernachlässigende dokumentierte Fehlvorstellung ist (z. B. Schecker & Wilhelm, 2018), sollten jedoch nicht alle vier Items aus dem Erhebungsinstrument entfernt werden. Der Wert für Cronbachs Alpha liegt in einem guten Bereich (vgl. Field, 2018), sodass von einer hohen internen Konsistenz der Items und somit einer hohen Reliabilität ausgegangen werden kann.

Analog zu den Anteilen richtig beantworteter Mechanikitems sind die gebildeten Cluster breit über das Spektrum verteilt, sodass das Bilden von Kontrasten zwischen diesen in weiteren Analysen möglich ist. Der Cluster *sehr niedrig* wurde aufgrund der geringen Clustergröße von $N_{\text{sehr niedrig}} = 2$ Studierenden für statistische Tests in weiteren Analysen ausgeschlossen.

6.1.5 Ergebnisse über die mathematischen Fähigkeiten der Studierenden

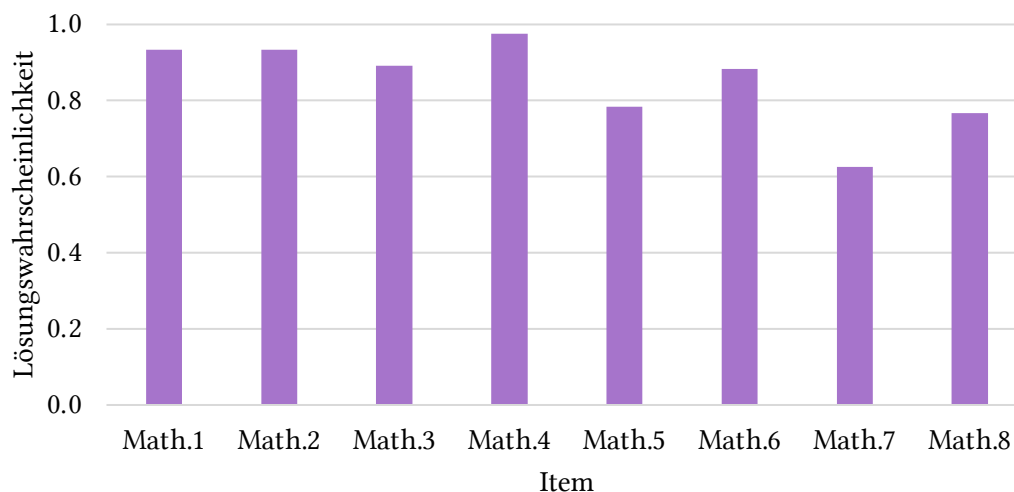
In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des eingesetzten Mathematiktests (s. Kapitel 4.1.1) vorgestellt. Mit Blick auf die Testitems zeigt sich, dass diese unterschiedlich erfolgreich bearbeitet worden sind (vgl. Abb. 6.9). Die Lösungswahrscheinlichkeit (= die im Mittel von den Studierenden erreichte Punktzahl je Item) liegt dabei zwischen 63 % und 98 %. Keines der Items wurde somit von allen Studierenden vollkommen angemessen bearbeitet. Drei Items kann eine Lösungswahrscheinlichkeit von über 90 % zugeordnet werden (Items *Math.1*, *Math.3* und *Math.4*). Der Mittelwert der Lösungswahrscheinlichkeiten beträgt 85 % und der Median 89 %. Cronbachs Alpha beträgt bzgl. aller Items des Mathematiktests $\alpha_{\text{alle Items}} = .52$ und unter Ausschluss des Items *Math.8* $\alpha_{\text{ohne Math.8}} = .63$. Die Studierenden erzielten im Mathematiktest insgesamt zwischen 50 % und 100 % der erreichbaren Punkte (vgl. Abb. 6.10). Ein*e Student*in erreichte die 100 %-Marke, 15 Studierende erzielten einen Prozentsatz von über 90 %. Der Mittelwert erreichter Prozentsätze beträgt 85 % und der Median 89 %.

Eine Clusteranalyse zu den im Mathematiktest erreichten Punkten der Studierenden im Verhältnis zu den maximal erreichbaren Punkten legt nahe, dass die Studierenden in drei Cluster geteilt werden können (schrittweise Clusterzusammenführung s. Anhang E, Tab. 54). Hierbei wurden $N_{\text{sehr hoch}} = 21$ Studierende dem Cluster *sehr hoch*, $N_{\text{mittel – hoch}} = 8$ Studierende dem Cluster *mittel – hoch* und $N_{\text{niedrig}} = 1$ Studierende*r dem Cluster *niedrig* zugeteilt. Der von den Studierenden im Cluster *sehr hoch* erreichte Anteil an möglichen Punkten beträgt 84 % bis 100 %, im Cluster *mittel – hoch* 59 % bis 78 % und im Cluster *niedrig* 50 % (für Zuordnung der einzelnen Studierenden s. Anhang E, Tab. 55).

¹entspricht Ratewahrscheinlichkeit

Abbildung 6.9

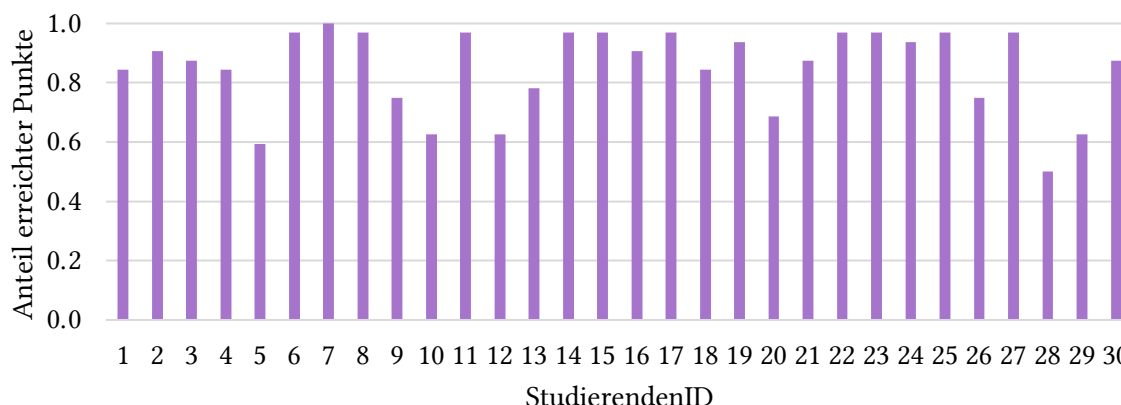
Lösungswahrscheinlichkeiten der Mathematikitems auf Grundlage von je $N = 30$ Bearbeitungen



Anmerkung. Die Benennung der Items setzt sich aus der Abkürzung „Math“ für „Mathematik“ und einer fortlaufenden Nummer zusammen.

Abbildung 6.10

Anteile erreichter Punkte der Studierenden ($N = 30$) in Relation zur maximal im Mathematiktest erreichbaren Punktzahl (8.00)



Anmerkung. Die StudierendenID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient.

Diskussion

Im Vergleich zur Lösungswahrscheinlichkeit der Mechanikitems (vgl. Kapitel 6.1.4) decken die Lösungswahrscheinlichkeiten der Mathematikitems nur die obere Hälfte des möglichen Spektrums ab. Für zukünftige Erhebungen könnten somit einige Items durch Items mit erwarteter geringerer Lösungswahrscheinlichkeit ausgetauscht werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die im Test adressierten Konzepte zum Lösen aller im Rahmen der Studie eingesetzten Rechenaufgaben genügen. Durch eine Erweiterung der im Test adressierten Konzepte würde somit die Passung der Testung von Personenmerkmalen zur Erhebung der Zuordnungen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen reduziert werden. Dies könnte Auswirkung auf die Validität von Schlussfolgerungen über mögliche

Zusammenhänge von mathematische Fähigkeiten der Studierenden und deren Fähigkeit haben, Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen zuzuordnen (vgl. Messick, 1995). Durch den Austausch von Items könnte die Reliabilität des Tests allerdings positiv beeinflusst werden. Mit $\alpha_{ohne\ Math.8} = .63$ fällt Cronbachs Alpha niedriger als der in Field (2018) als wünschenswert ausgewiesene Wertebereich von $.7 - .8$ aus. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass es sich nicht um Befragungs- sondern um Testitems handelt, sodass Flüchtigkeitsfehler auftreten und den Wert von Cronbachs Alpha beeinflussen können.

Entsprechend der mittel bis hohen Lösungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben, sind auch die erreichten Prozentsätze der Studierenden im gesamten Mathematiktest weniger variantenreich und mittel bis hoch ausgeprägt. Die Einschätzung der mathematischen Fähigkeiten der Studierenden über den jeweils erreichten Prozentsatz ist somit ebenso weniger stark gestaffelt. Die Zugehörigkeit zum Cluster *sehr hoch* kann dabei so verstanden werden, dass die Studierenden dieser Gruppe über alle oder die meisten nötigen Fähigkeiten verfügen, um die in der Studie eingesetzten Rechenaufgaben zu lösen. Die mathematischen Fähigkeiten der Studierende im Cluster *mittel – hoch* sind dagegen zum Teil ausbaufähig. Die Zugehörigkeit zum Cluster *niedrig* ist entsprechend mit erheblichen Defiziten bzgl. der mathematischen Fähigkeiten, die zum Lösen der in der Studie eingesetzten Rechenaufgaben nötig wären, verbunden. In weiteren Auswertungen wird der Fokus auf die beiden Cluster *sehr hoch* und *mittel – hoch* gelegt, da Ergebnisse (statistischer Testverfahren) in Verbindung mit dem Cluster *niedrig* wegen der geringen Studierendenzahl ($N_{niedrig} = 1$) nicht aussagekräftig sein würden. Der erreichte Anteil im Mathematiktest wird somit auf ein dichotomes Kriterium reduziert, welches Hinweise darauf gibt, ob eine Gruppe von Studierenden alle/die meisten nötigen mathematischen Fähigkeiten zum Lösen von Rechenaufgaben dieser Studie aufweisen oder nicht. Die erreichte Punktzahl der Person in der Gruppe *niedrig* kann dabei als Ausreißer interpretiert werden.

6.2 Ergebnisse zu Zuordnungen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen

Im Folgenden werden Ergebnisse mit Bezug zu den Zuordnungen Studierender von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen vorgestellt. Die Unterkapitel gliedern sich hier im Groben nach Ergebnissen aus Voranalysen und nach Ergebnissen aus Hauptanalysen:

Ergebnisse aus Voranalysen	{ 6.2.1 Ergebnisse zu fehlenden Zuordnungen 6.2.2 Ergebnisse zur Zuordnungswahrscheinlichkeit einzelner Rechenaufgaben
Ergebnisse aus Hauptanalysen	{ 6.2.3 Ergebnisse zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen 6.2.4 Ergebnisse zur Häufigkeit ausgewählter Lösungsansätze bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen 6.2.5 Ergebnisse zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz

Die Kapitel zu Ergebnissen aus den Hauptanalysen sind in Unterabschnitte strukturiert, die auf die Facetten der Hauptanalysen (Analyse(n) zu Zuordnungen, Zusammenhangsanalyse(n) - Personenmerkmale, Zusammenhangsanalyse(n)-Aufgabenmerkmale) entlang des Forschungsdreiecks bezogen sind (vgl. Abb. 5.2). An jeden Unterabschnitt zu Ergebnissen von Vor- und Hauptanalysen schließt ein Abschnitt zur Diskussion ebendieser Ergebnisse an. Hier werden mögliche Ursachen für das Zustandekommen der Ergebnisse diskutiert und, sofern möglich, Verbindungen zu Ergebnissen anderer Forschungsarbeiten hergestellt. Des Weiteren werden ggf. Folgerungen für die Interpretation der in späteren Unterkapiteln vorgestellten Ergebnisse sowie Anpassungsvorschläge bzgl. der Durchführung weiterer Erhebungen beschrieben.

6.2.1 Ergebnisse zu fehlenden Zuordnungen

Werden die exportierten Daten betrachtet, so fallen zum Teil fehlende Einträge auf (s. Anhang D, Tab. 37). Diese treten in Form zweier Systematiken auf: Einerseits können im Rahmen eines Aufgabensatzes Werte zu einzelnen Zuordnungen und andererseits Werte zu allen zu tätigen Zuordnungen fehlen. Im Folgenden wird das Vorkommen dieser Varianten hinsichtlich der Auftretenshäufigkeiten vorgestellt.

Einzelne, nicht zugeordnete Rechenaufgaben. In acht von insgesamt 806¹ möglichen Zuordnungen (1%) haben vier der 30 Studierenden einzelne Rechenaufgaben ausgelassen und diese keinem Lösungsansatz zugeordnet. Welche Studierenden dabei welche Rechenaufgaben nicht zugeordnet haben, geht aus Tabelle 6.3 hervor. Fehlende Zuordnungen sind je Student*in und Rechenaufgabe mit einem „x“ markiert. Alle der dort notierten Rechenaufgaben wurden höchstens einmal ausgelassen, nur Rechenaufgabe 3.7.B wurde von zwei Studierenden nicht zugeordnet. Die Anzahl an nicht zugewiesenen Rechenaufgaben liegt dabei pro Rechenaufgaben auslassende*n Studierende*m zwischen einer und drei Rechenaufgaben.

Tabelle 6.3

Einzelne, nicht zuordnete Rechenaufgaben der Studierenden

ID	Rechenaufgabe							Anzahl
	1.6.K	3.2.K	3.3.K	3.7.B	5.1.BK	5.4.EK	5.5.BK	
4				x				1
26		x	x					2
27					x	x	x	3
29	x			x				2
Anzahl	1	1	1	2	1	1	1	8

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Rechenaufgaben erfolgt nach dem Schema „Aufgabensatz.Aufgabennummer.Lösungsansatz“, wobei „Lösungsansatz“ den effizientesten Lösungsansatz bedeutet (E: Energieansatz, K: Kraftansatz, B: Bewegungsansatz). Fehlende Zuordnungen sind mit einem „x“ markiert.

Diskussion

Insgesamt wurden wenige einzelne Rechenaufgaben keinem Lösungsansatz zugeordnet, sodass fehlende Daten durch Auslassungen einzelner Rechenaufgaben kein Problem für weitere Auswertungen darstellten. Es wurden auch keine Studierenden aus dem Analysedatensatz entfernt, da je Student*in nur wenige fehlende Zuordnungen festgestellt werden können. Für die Einordnung weiterer Ergebnisse zu Zuordnungen von Rechenaufgaben (sowie die Überarbeitung des Instrumentes) ist jedoch die

¹Ohne Berücksichtigung von nicht eingeblendeten Rechenaufgaben (RA): 31 RA · 30 Studierende = 930 Zuordnungen.
Mit Berücksichtigung von nicht eingeblendeten RA:
930 Zuordnungen - 4 RA (Aufgabensatz 2) · 22 Studierende - 6 RA (Aufgabensatz 5) · 6 Studierende = 806 Zuordnungen.

Suche nach möglichen Gründen für die Auslassungen von Bedeutung. Eine mögliche Ursache kann in den Fähigkeiten der Studierenden liegen. Den Studierenden wurde aufgetragen, Rechenaufgaben auszulassen, wenn sie diese nicht gut den Lösungsansätzen zuordnen konnten. Es scheint daher naheliegend, dass das vereinzelte Auslassen von Zuordnungen hierauf zurückzuführen ist. Unklar ist hierbei jedoch, weswegen sich die Studierenden nicht fähig genug gefühlt haben, diese einem Lösungsansatz zuzuordnen. Hinweise hierauf sowie auf weitere mögliche Ursachen können die Angaben der Studierenden zu Schwierigkeiten während der Zuordnung liefern (vgl. Anhang D, Tab. 38 und Tab. 39). Im Folgenden werden diese Angaben der Studierenden rechenaufgabenweise betrachtet.

Rechenaufgabe 1.6.K wurde von Student*in 29 als eine Rechenaufgabe markiert, bzgl. dessen Zuordnung er*sie sich unsicher fühlte. Die Unsicherheit wurde jedoch nicht weiter begründet. Student*in 29 hat jedoch mit Bezug auf Schwierigkeiten im Allgemeinen beim Zuordnen der Rechenaufgaben angegeben, dass er*sie stets Skizzen zum Beurteilen von Ansätzen bräuchte. Ohne diese und ausreichend Zeit würde die Beurteilung schwer fallen. Im Rahmen der Rechenaufgabe wird ein „gerades Wegstück“ beschrieben, auf dem eine Person konstant beschleunigt wird. Hierbei ist „gerade“ ergänzend in einer Fußnote definiert als „nicht gebogen oder hügelig“. Möglicherweise lagen zusätzlich Verständnisschwierigkeiten bzgl. des Begriffes „gerade“ vor, da sich die Umschreibung solcher Aufgabensituationen auch in einer Pilotstudie (11/2019) als schwierig verständlich gezeigt hat (vgl. Abschnitt 4.3).

Zu Schwierigkeiten zur Zuordnung von Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 3 hat Student*in 26 angegeben, dass die Rechenaufgaben 3.2.K und 3.3.K nicht geladen worden sind. Somit lag ein technisches Problem vor. Dieses konnte durch gerät- und browserübergreifendes Testen nicht erneut herbeigeführt werden, sodass davon auszugehen ist, dass dieses Problem nur bei Student*in 26 aufgetreten ist. In diesem Fall wurden die beiden fehlenden Zuordnungen daher nicht als „falsch“, sondern nur als „fehlend“ gewertet.

Rechenaufgabe 3.7.B wurde von Student*in 29 ausgelassen und erneut als Rechenaufgabe markiert, bzgl. deren Zuordnung er*sie sich unsicher fühlte. Auch hier wurde die Unsicherheit nicht weiter erörtert. Eventuell kann auch hier die nicht vorgegebene Skizze eine Ursache für das Auslassen sein. Student*in 4 hat diese Rechenaufgabe ebenfalls keinem Lösungsansatz zugewiesen und diese (sowie alle Aufgaben aus dem Aufgabensatz) als Rechenaufgabe markiert, bzgl. deren Zuordnung er*sie sich unsicher war. Als Erläuterung für die erlebte Unsicherheit führte er*sie „wie zuvor“ an, was sich höchstwahrscheinlich auf die vorangegangene Angabe in Aufgabensatz 1 und 2 bezieht: „Ich bin mir bei allen Unsicher [sic] da ich nur grob über die Ansätze nachgedacht habe. Würde ich sie lösen wollen, würde ich zur Not einen anderen Ansatz probieren.“ Diese Aussage kann nur begrenzt auf das Auslassen von Aufgabe 3.7.B angewendet werden, da alle vorherigen Rechenaufgaben nicht ausgelassen worden sind. Möglicherweise fiel es Student*in 4 beim Zuordnen von Rechenaufgabe 3.7.B besonders schwer, einen Lösungsansatz auszumachen, ohne die Rechenaufgabe zu lösen. Wird die Rechenaufgabe 3.7.B betrachtet, so fällt die Beschreibung von vier unterschiedlichen Höhen auf, die für das Lösen der Rechenaufgabe berücksichtigt werden müssten. Es ist somit ein erhöhter Schwierigkeitsgrad bzgl. der Lösungsabschnitte zum *Verstehen der Aufgabe* (s. Kapitel 2.3.3) zu er-

warten, sodass für das Finden eines Lösungsansatzes eine größere Hürde überwunden werden muss. Dies steht zumindest mit der Angabe von Student*in 29 in Einklang.

Die Rechenaufgaben 5.1.BK, 5.4.EK und 5.5.BK wurden von Student*in 27 ausgelassen und deren Zuordnung zudem als unsicher eingeschätzt. Diese Unsicherheit wurde damit begründet, dass die in den Rechenaufgaben angegebenen Winkel nicht eindeutig auftragbar seien („In oder gegen Flugrichtung des Pfeils?“). Die fehlende Zuweisung lässt sich somit auf aus Sicht von Student*in 27 fehlende Informationen im Aufgabentext zurückführen. Da für eine Zuweisung zu einem Lösungsansatz die Auslegung der Winkel nicht von Bedeutung ist, wurde die fehlende Zuweisung dennoch als falsch gewertet. Interessant ist an dieser Stelle, dass der*die Student*in die Zuordnung scheinbar abbricht, weil im Rahmen der Lösungsabschnitte zum *Verstehen der Aufgabe* keine eindeutige Repräsentation der Aufgabensituation hergestellt werden kann. Ursächlich hierfür könnten Vorstellungen sein, wie: „Wenn keine eindeutige Repräsentation / Vorstellung der Aufgabensituation erzeugt werden kann, dann kann kein eindeutiger Lösungsansatz abgeleitet werden.“ Auch selbstregulative Prozesse oder ggf. erweiterte Schwierigkeiten durch das Identifizieren eines Lösungsansatzes, ausgehend von zwei möglichen (aber ähnlichen) Repräsentationen der Aufgabensituation, kommen als Ursachen für den Abbruch der Zuordnungen in Betracht. Für Überarbeitungen des Instruments aufgrund der zweideutigen Winkeldefinitionen ist zu beachten, dass die Lesbarkeit der Aufgabentexte durch sprachliche Beseitigung der Unklarheiten deutlich reduziert wird und diese zu einer zusätzlichen Schwierigkeit werden könnte.

Fehlende Zuweisung ganzer Aufgabensätze. Aufgabensatz 2 wurde von insgesamt 22 Studierenden und Aufgabensatz 5 von sechs der 30 Studierenden nicht bearbeitet. Alle anderen Aufgabensätze wurden von allen Studierenden bearbeitet bzw. zumindest einige Rechenaufgaben je Aufgabensatz einem Lösungsansatz / einer Lösungsansatzkonfiguration zugeordnet. Eine Auflistung der Studierenden, die in Aufgabensatz 2 und / oder Aufgabensatz 5 keine Zuordnung getätigt haben, ist Tabelle 6.4 zu entnehmen. Aus dieser Tabelle geht u. a. hervor, dass nur drei Studierende (ID: 8, 21 und 24) beide Aufgabensätze nicht bearbeitet haben.

Diskussion

Da die Bearbeitungshäufigkeit von Aufgabensatz 2 sehr gering ausfällt, wird Aufgabensatz 2 für alle inferenzstatistischen Tests ausgeschlossen. Alle Auslassungen sind darauf zurückzuführen, dass die Aufgabensätze 2 bzw. 5 nicht freigeschaltet worden sind. Dies geht aus den Einschätzungen der Studierenden zur empfundenen Schwierigkeit der vorangegangenen Aufgabensätze 1 bzw. 4 hervor (vgl. Anhang D, Tab. 38). Aufgabensatz 2 wurde zu Übungszwecken nur freigeschaltet, wenn die Zuordnung in Aufgabensatz 1 als „sehr schwer“ bis „eher schwer“ empfunden wurde. Der als schwierig erwartete Aufgabensatz 5 wurde nur für die Studierenden freigeschaltet, die die Zuordnung des vorangegangenen Aufgabensatzes 4 nicht allzu schwer, also „eher schwer“ bis „sehr leicht“, empfunden haben. Für weitere Erhebungen sollten Aufgabensatz 2 und 5 unabhängig von Einschätzungen zur Schwierigkeit der Zuordnung für alle Studierenden freigeschaltet werden, auch wenn sich dadurch die Bearbeitungszeit für die Studierenden ggf. erhöhen würde. Spannend scheint an dieser Stelle darüber hinaus zu sein, aus welchen Gründen die Studierenden die Zuordnung der Rechenaufgaben

für sehr leicht bis sehr schwierig empfunden haben. Hinweise hierauf kann die Auswertung der Interviewdaten aus dem qualitativen Zugang liefern, die aus zeitlichen Gründen aber leider nicht mehr im Rahmen dieser Arbeit erfolgt ist.

Tabelle 6.4

Nicht bearbeitete Aufgabensätze der Studierenden

ID	Aufgabensatz 2	Aufgabensatz 5	Anzahl
1	x		1
2	x		1
3	x		1
5	x		1
6		x	1
7	x		1
8	x	x	2
9		x	1
10	x		1
11	x		1
12	x		1
13	x		1
14	x		1
15	x		1
16	x		1
17	x		1
18	x		1
19	x		1
21	x	x	2
22	x		1
23	x		1
24	x	x	2
25	x		1
29	x		1
30		x	1
Anzahl	22	6	28

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Fehlende Zuordnungen von allen Rechenaufgaben eines Aufgabensatzes sind mit einem „x“ markiert.

6.2.2 Ergebnisse zur Zuordnungswahrscheinlichkeit einzelner Rechenaufgaben

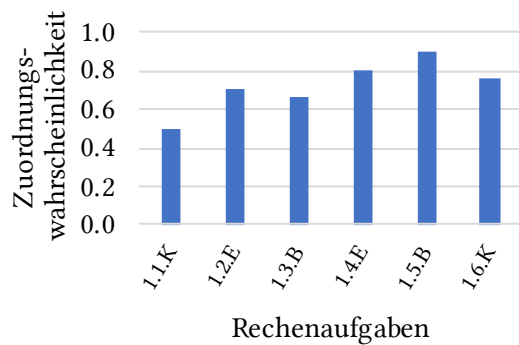
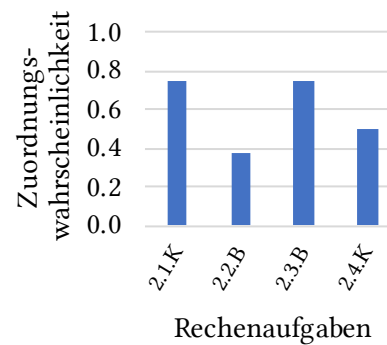
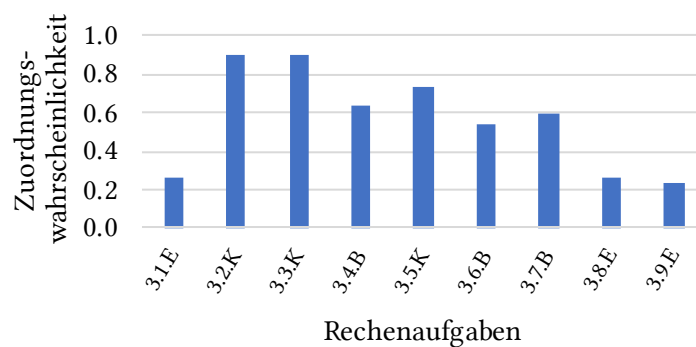
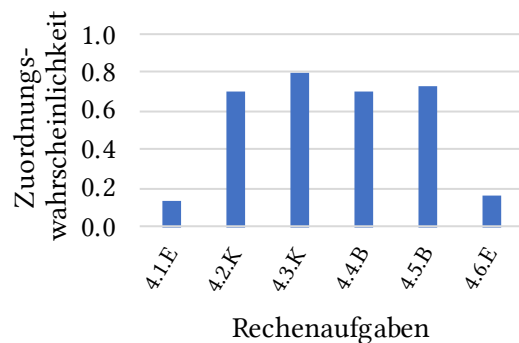
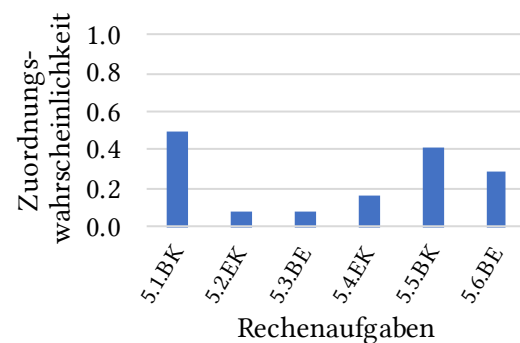
Im Folgenden werden die Zuordnungswahrscheinlichkeiten der einzelnen Rechenaufgaben genauer betrachtet. Dabei werden Entwicklungen der Zuordnungswahrscheinlichkeiten im Rahmen einzelner Aufgabensätze sowie Unterschiede der Zuordnungswahrscheinlichkeiten bei Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen in den Blick genommen.

Ergebnisse aus der Analyse zu Zuordnungen. Die Zuordnungswahrscheinlichkeit der Rechenaufgaben (in Variablen als ZW abgekürzt) liegt zwischen .08 und .90, wie auch aus Abbildung 6.11 hervorgeht. Die Werte dazwischen sind insgesamt relativ gleichmäßig verteilt. Die Ausprägungen der Zuordnungswahrscheinlichkeit zu den ersten sechs Rechenaufgaben (Aufgabensatz 1) sind mit steigender Aufgabennummer tendenziell größer (von $ZW_{1.1.K} = .50$ zu $ZW_{1.5.B} = .90$ und $ZW_{1.6.K} = .77$). Die Zuordnungswahrscheinlichkeiten zu den Rechenaufgaben 2.1.K und 2.3.B fallen höher aus als zu den Rechenaufgaben 2.2.B und 2.4.K ($ZW_{2.1.K} = ZW_{2.3.B} = .75$; $ZW_{2.2.B} = .38$; $ZW_{2.4.K} = .50$). In Aufgabensatz 3 ist die Zuordnungswahrscheinlichkeit mit steigender Aufgabennummer im Gegensatz zu Aufgabensatz 1 tendenziell geringer (von $ZW_{3.2.K} = .90$ zu $ZW_{3.9.E} = .23$). Zu Aufgabensatz 4 sind die Zuordnungswahrscheinlichkeiten im Mittel auf einem höheren Niveau ($M(ZW_{4.1.E}; \dots; ZW_{4.6.E}) = .54$). Die Zuordnungswahrscheinlichkeit zu Rechenaufgabe 4.1.E und 4.6.E ist dabei geringer als zu den anderen Rechenaufgaben des Aufgabensatzes. Die Zuordnungswahrscheinlichkeit der Rechenaufgabengruppen 5.1.BK und 5.5.BK liegen auf einem niedrigen bis mittleren Niveau ($ZW_{5.1.BK} = .50$; $ZW_{5.5.BK} = .42$). Die Zuordnungswahrscheinlichkeit der anderen Rechenaufgabengruppen aus Aufgabensatz 5 sind eher niedrig ($ZW_{5.2.EK} = ZW_{5.3.BE} = .08$ bis $ZW_{5.6.BE} = .29$).



Diskussion

Ein Lerneffekt im Rahmen der Bearbeitung von Aufgabensatz 1 scheint aufgrund der ansteigenden Zuordnungswahrscheinlichkeit zunächst naheliegend. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass dieser Effekt durch die Reihung der Rechenaufgaben verursacht wurde. Diese weisen z. T. unterschiedliche Merkmale auf (vgl. Kapitel 4.1.2). Die Reihenfolge wurde daher zufällig gewählt, jedoch nicht während der Erhebung bei verschiedenen Studierenden variiert. Es muss beachtet werden, dass die Rechenaufgaben je Aufgabensatz den Studierenden gleichzeitig präsentiert worden sind und die Bearbeitung von den Studierenden somit nicht zwingend linear durchgeführt wurde. Umgekehrt kann auch für die Verringerung der Zuordnungswahrscheinlichkeit im Rahmen von Aufgabensatz 3 nicht sicher von einer Erschöpfung ausgegangen werden, zumal die Zuordnungswahrscheinlichkeiten ab Rechenaufgabe 4.2.K wieder auf einem hohen Niveau sind. Die scheinbar systematische Erhöhung bzw. Verringerung der Zuordnungswahrscheinlichkeiten wird somit vermutlich eher zufällig bzw. aufgrund unterschiedlicher Schwierigkeit von Aufgabenmerkmalen verursacht. Zur Überprüfung könnte in Folgestudien bspw. die Reihenfolge der Rechenaufgaben innerhalb der Aufgabensätze vertauscht werden und ein Vergleich neuerer Ergebnisse mit den hier beschriebenen durchgeführt werden. Ergebnisse aus dem Vergleich der ZW von Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen finden sich im Abschnitt *Ergebnisse aus der Zusammenhangsanalyse: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale*.

Abbildung 6.11*Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben, gruppiert nach Aufgabensätzen***(a) Zu Aufgabensatz 1 ($N = 30$)****(b) Zu Aufgabensatz 2 ($N = 8$)****(c) Zu Aufgabensatz 3 ($N = 30$)****(d) Zu Aufgabensatz 4 ($N = 30$)****(e) Zu Aufgabensatz 5 ($N = 24$)**

Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgaben X.Y.Z setzt sich aus dem Aufgabensatz X, einer fortlaufenden Nummer je Aufgabensatz Y und den effizientesten Lösungsansatz Z zusammen (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz). Die Zuordnungswahrscheinlichkeit entspricht je Rechenaufgabe dem Verhältnis von Studierenden, die die Rechenaufgabe einem Lösungsansatz angemessen zugeordnet haben, zu den Studierenden, denen die Rechenaufgabe dargeboten wurde.

Ergebnisse aus der Zusammenhangsanalyse: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Bei Gruppierung der Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben nach gleichen Aufgabenmerkmalen (s. Abb. 6.12) zeigt sich, dass sich bei etwa zwei Drittel aller Rechenaufgabengruppen die Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben um weniger als $\Delta = .20$ unterscheidet. In einem Drittel aller Rechenaufgabengruppen unterscheiden sich die Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben stärker (in Abb. 6.12 mit Kästen hervorgehoben). Hiervon sind die Rechenaufgabengruppen 1K, 1B, 2K, 2B und 5BE betroffen. Die Differenzen der Zuordnungserfolge liegen dabei zwischen $\Delta_{5BE} = .21$ und $\Delta_{2B} = .38$.



Diskussion

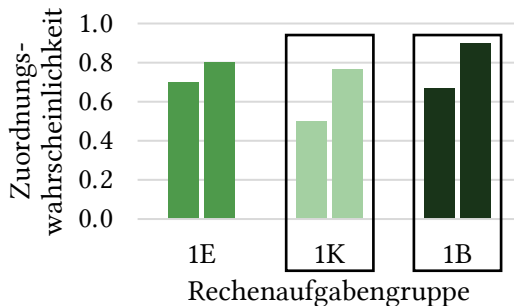
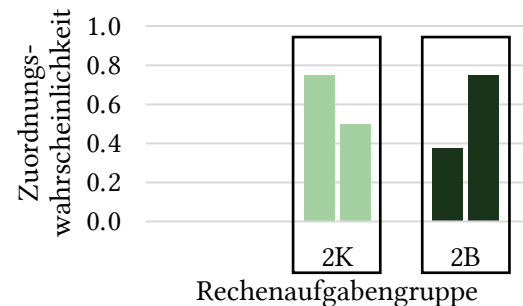
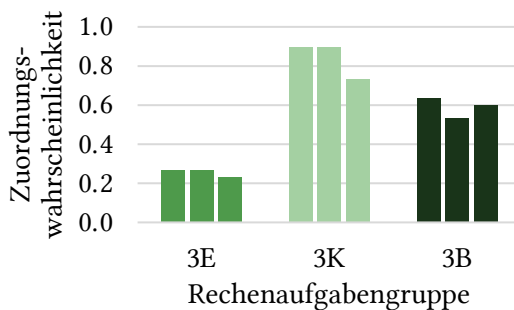
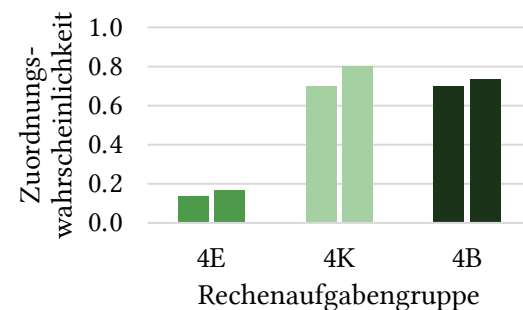
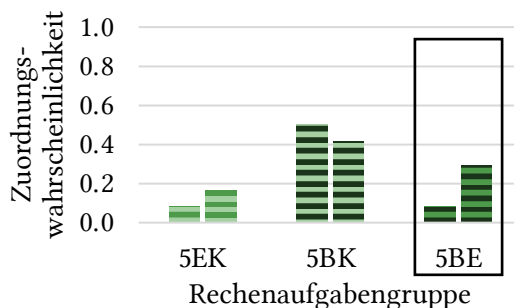
Die unterschiedliche Ausprägung der Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgaben der Rechenaufgabengruppen 1K und 1B kann jeweils dadurch verursacht worden sein, dass der Anspruch der Rechenaufgaben leicht variiert. Unter genauerer Betrachtung der Rechenaufgaben zur Rechenaufgabengruppe 1K fällt auf, dass zwar zur Lösung beider Rechenaufgaben aus einer gegebenen resultierenden Beschleunigung der Winkel der Rampe bzw. des Wegstückes bestimmt werden muss, zur Lösung von 1.1.K muss jedoch zusätzlich über trigonometrische Beziehungen die Höhe der Rampe bestimmt werden. Hieraus ergibt sich für Rechenaufgabe 1.1.K im Vergleich zu 1.6.K ein etwas höherer Anspruch aufgrund eines zusätzlichen Lösungsschrittes, sodass auch die gedankliche Prüfung der Anwendbarkeit des Lösungsansatzes bzw. die gedankliche Durchführung des Lösungsweges schwieriger durchzuführen sein könnte. Unklar ist jedoch, ob der Lösungsweg von den Studierenden zum Zuordnen der Rechenaufgaben überhaupt gedanklich ausgeführt wird. Zudem werden in der Oberflächenstruktur von Rechenaufgabe 1.1.K zwei Strecken und eine Beschleunigung thematisiert, in Rechenaufgabe 1.6.K dagegen ein Winkel und eine Beschleunigung. Achten Lernende auf Oberflächen- statt auf Tiefenstrukturmerkmale, bspw. weil sie auf keine sog. Problemschemata zurückgreifen können (Friege, 2001; vgl. Chi et al., 1982), könnte hierdurch eine weitere Fehlerquelle entstehen. Sollten sich die Studierenden stark an Oberflächenmerkmalen orientieren und gegebene / gesuchte Größen mit zu Lösungsansätzen assoziierten Formeln in Verbindung bringen, ohne deren Anwendbarkeit zu prüfen (vgl. Anfangssequenzen einer Recursive Plug-and-Chug-Strategie beim Lösen von Rechenaufgaben, Tuminaro & Redish, 2007), so könnte für Rechenaufgabe 1.1.K fälschlicherweise ein Bewegungsansatz ausgewählt worden sein. Zwei Strecken und eine Beschleunigung sind Bestandteile der Formel zum Zeit-Weg-Gesetz. Unter genauer Betrachtung der Daten scheint diese Ursache plausibel zu sein, da immerhin neun der 15 Studierenden, die die Rechenaufgabe unangemessen zugeordnet haben, einen Bewegungs- statt einem Kraftansatz sowie zwei Studierende einen Bewegungs- und Kraftansatz statt einem Kraftansatz ausgewählt haben.¹ Im Vergleich dazu haben nur vier Studierende zu Rechenaufgabe 1.6.K einen Bewegungs- und nur ein*e Studierende*r einen Bewegungs- und einen Kraftansatz statt einem Kraftansatz ausgewählt.²

¹Zur Einordnung: In allen weiteren unangemessenen Zuordnungen dieser Rechenaufgabe (Anzahl: 4) wurde jeweils ein anderer Lösungsansatz bzw. eine andere Lösungsansatzkombination gewählt, sodass die Studierenden diese Rechenaufgabe auf $2 + 4 = 6$ verschiedene Varianten unangemessen zugeordnet haben.

²Zur Einordnung: Es haben sieben Studierende diese Rechenaufgabe unangemessen zugeordnet. Hierbei gab es zwei weitere unangemessene Weisen, wie diese Rechenaufgabe zugewiesen wurde. Diese wurden jeweils einmal vertreten.

Abbildung 6.12

Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben, gruppiert nach kleinsten Rechenaufgabengruppen bzw. gleichen Aufgabenmerkmalen

(a) Zu Aufgabensatz 1 ($N = 30$)**(b) Zu Aufgabensatz 2 ($N = 8$)****(c) Zu Aufgabensatz 3 ($N = 30$)****(d) Zu Aufgabensatz 4 ($N = 30$)****(e) Zu Aufgabensatz 5 ($N = 24$)**

Anmerkung. Die unterschiedlichen Grüntöne der Säulen stehen für die in den Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansätzen (hellgrün: Kraftansatz, mittelgrün: Energieansatz, dunkelgrün: Bewegungsansatz). Zur Darstellung der erforderlichen Anwendung mehrerer Ansätze wurde für Aufgabensatz 5 eine Schraffur mit den entsprechenden Farben vorgenommen. Rechenaufgabengruppen, in denen sich die Zuordnungswahrscheinlichkeiten um mehr als .20 unterscheiden, wurden mit einem schwarzen Kasten umrahmt.

Eine ähnliche Ursache kann zur Verschiedenheit der Zuordnungswahrscheinlichkeiten der beiden Rechenaufgaben in Rechenaufgabengruppe 1B abgeleitet werden: In beiden Rechenaufgaben muss das Zeit-Weg-Gesetz angewendet werden, für Rechenaufgabe 1.3.B muss jedoch im Vergleich zu Rechenaufgabe 1.5.B zusätzlich die Länge einer Strecke für die Steigung und die Höhe des Hangs bestimmt werden. Somit würde sich auch hier ein erhöhter Anspruch bzgl. der gedanklichen Prüfung der Anwendbarkeit des Lösungsansatzes ergeben. Des Weiteren ist bzgl. der Oberflächenstruktur von Rechenaufgabe 1.3.B festzustellen, dass die Steigung in Form eines Winkels angegeben ist. Hierdurch kann es unter verstärktem Fokus auf Oberflächenmerkmale der Rechenaufgabe zu einer Assoziation mit einem Kraftansatz kommen, da die Bilanzierung von Kräften häufig in Verbindung mit der Betrachtung von Winkeln erfolgt. Auch in den Daten ist erkennbar, dass zu Rechenaufgabe 1.3.B zwei mal ein Kraftansatz- und vier mal ein Kraft- und ein Bewegungsansatz statt einem Bewegungsansatz ausgewählt wurde. Zu Rechenaufgabe 1.5.B wurde dagegen nur ein mal ein Kraftansatz und kein einziges mal ein Kraft- und ein Bewegungsansatz statt einem Bewegungsansatz ausgewählt.

Die Rechenaufgaben zu Aufgabensatz 2 weisen innerhalb der jeweiligen Rechenaufgabengruppen (2K und 2B) deutlich unterschiedliche Ausprägungen auf. Je Rechenaufgabengruppe werden zur Lösung der Rechenaufgabe für denselben Ansatz dieselben Formeln benötigt. Es unterscheidet sich lediglich die Fragerihenfolge. Für die Rechenaufgabengruppe 2K gilt beispielsweise, dass mal ein Winkel gegeben ist und eine Beschleunigung bestimmt werden muss und mal eine Beschleunigung gegeben ist und ein Winkel bestimmt werden muss. Für die Rechenaufgabengruppe 2B gilt dies analog für die Bestimmung von Winkel und Strecken. Eine mögliche Ursache könnte somit sein, dass die Fragerichtung einen Einfluss auf die Zuordnungswahrscheinlichkeit der Rechenaufgaben hat. In Just et al. (2021) wurde bspw. bereits die Relevanz der Fragerichtung für die Lösungswahrscheinlichkeit von konzeptionellen Mechanikaufgaben festgestellt. Bzgl. der Rechenaufgaben zu Aufgabensatz 2 ist jedoch zu beachten, dass die Rechenaufgaben nur von $N_2 = 8$ Studierenden bearbeitet worden sind. Die Interpretation der Unterschiede zwischen den Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben innerhalb einzelnen Rechenaufgabengruppen ist somit nur schwer möglich. Im Rahmen zukünftiger Studien könnte auf die Bearbeitung dieser Rechenaufgaben durch weitere Probanden und die zusätzliche Anreicherung an Rechenaufgaben geachtet werden.

Die Zuordnungswahrscheinlichkeit von Rechenaufgabe 3.5.K unterscheidet sich zwar nicht um mehr als .20 von den Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben 3.2.K und 3.3.K, allerdings weisen 3.2.K und 3.3.K identische Lösungswahrscheinlichkeiten ($ZW_{3.2.K} = ZW_{3.3.K} = .90$) auf, sodass die Zuordnungswahrscheinlichkeit zu Rechenaufgabe 3.5.K ($ZW_{3.5.K} = .73$) deutlich geringer auszufallen scheint. Der Vergleich der beiden Rechenaufgaben im Detail ergibt, dass der lebensweltliche Kontext „Bodyflying“ zu Rechenaufgabe 3.5.K im Vergleich zu den anderen Kontexten speziellerer Natur ist. Hierdurch müssen im Rahmen der Kräftebetrachtung Konzepte angewendet werden, die den Zusammenhang von Kraft, Windgeschwindigkeit und Fläche des Körpers beschreiben. Somit ergibt sich hier ein inhaltlich etwas anderer Anspruch. Die ansonsten sichtbare Ähnlichkeit der Ausprägungen der Zuordnungswahrscheinlichkeiten zu Rechenaufgaben innerhalb von Rechenaufgabengruppen zu Aufgabensatz 3 legt jedoch nahe, wie im Abschnitt zu Ergebnissen der Einzelanalyse vermutet, dass es im Rahmen der Bearbeitung von Aufgabensatz 3 eher nicht zu einem Erschöpfungseffekt kommt,

sondern die Lösungswahrscheinlichkeit eher aufgrund der Aufgabenverteilung abnimmt.

Zum Lösen von Rechenaufgabe 5.3.BE ergibt sich ein etwas höherer Anspruch als zum Lösen von Rechenaufgabe 5.6.BE. Das Lösen von Rechenaufgabe 5.3.BE besteht aus dem „Zurückrechnen“ von der Aufsteigezeit zur vertikalen Komponente der Startgeschwindigkeit mit einem Bewegungsansatz, dem Bestimmen der horizontalen Komponente der Startgeschwindigkeit, dem Aufstellen der Energiegleichung für Start- und Endpunkt des Wurfes bzgl. der vertikalen Bewegung mit anschließendem Umformen nach der Endgeschwindigkeit in vertikaler Richtung sowie der abschließenden Bestimmung eines Winkels über das Dreieck aus vertikaler und horizontaler Geschwindigkeitskomponente am Auftreffpunkt. Zum Lösen von Rechenaufgabe 5.6.BE muss dagegen „nur“ die vertikale Komponente der Startgeschwindigkeit bestimmt, die Energiegleichung für Startpunkt und höchsten Punkt bzgl. der vertikalen Bewegung aufgestellt, die maximale Höhe ermittelt und die Fallzeit mithilfe des Zeit-Weg-Gesetzes bestimmt werden. Durch die unterschiedlichen Anforderungen im Lösungsprozess kann es somit auch hier für Studierende unterschiedlich schwierig sein, die Wahl der Lösungsansätze zu prüfen bzw. den Lösungsweg gedanklich zu evaluieren. Die beiden Rechenaufgaben unterscheiden sich nicht bzgl. der gesuchten und gegebenen Größen.

Insgesamt sind die Lösungswahrscheinlichkeiten der Rechenaufgaben in den jeweiligen Rechenaufgabengruppen jedoch so ähnlich, dass die Zusammenfassung der Rechenaufgaben nach gleichen Aufgabenmerkmalen in Rechenaufgabengruppen legitim scheint und auch Ergebnisse über Zuordnungserfolge zu diesen Rechenaufgabengruppen (s. Kapitel 6.2.3) sinnvoll interpretiert werden können.

6.2.3 Ergebnisse zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen

In den folgenden Abschnitten werden Ergebnisse zum Zuordnungserfolg der Studierenden bezüglich Gruppen von Rechenaufgaben, deren Aufgabenmerkmale jeweils identisch sind, dargestellt. Rechenaufgaben in einer Rechenaufgabengruppe stammen somit aus demselben Aufgabensatz und werden mit demselben Lösungsansatz gelöst. Die Ergebnisse beziehen sich hier auf die Zuordnungserfolge der Studierenden an sich, auf die Variation des Zuordnungserfolges in Zusammenhang mit der Ausprägung von Personenmerkmalen und auf die Variation des Zuordnungserfolges in Zusammenhang mit Aufgabenmerkmalen der Rechenaufgabengruppen.



Ergebnisse aus Analysen zu Zuordnungen. In Ergebnissen der Analysen zur Zuordnungswahrscheinlichkeit der einzelnen Rechenaufgaben (s. Kapitel 6.2.2) zeigte sich, dass die Rechenaufgaben unterschiedlich erfolgreich Lösungsansätzen zugewiesen worden sind, diese Unterschiede mit der Variation der Aufgabenmerkmale einhergehen und Rechenaufgaben bzgl. gleicher Aufgabenmerkmale zu Rechenaufgabengruppen zusammengefasst werden können. In der Betrachtung der Zuordnungserfolge der Studierenden bzgl. dieser Rechenaufgabengruppen zeigen sich zusätzlich Unterschiede zwischen den Studierenden. Bspw. erreicht Student*in 2 zu Rechenaufgabengruppe 1K einen Zuordnungserfolg von 1.00 und Student*in 3 einen Zuordnungserfolg von .50 (s. Abb. 6.13a). Von den

insgesamt $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$ verschiedenen Möglichkeiten, Zuordnungserfolge bzgl. der Rechenaufgabengruppen zu Aufgabensatz 1 zu erreichen, decken die $N = 30$ Studierenden 13 ab. Besonders häufig wurde in den drei Rechenaufgabengruppen der maximale Zuordnungserfolg erreicht (s. Abb. 6.13a, Studierende 1, 2, 4, 7, 11, 14, 16 und 25). Zu Aufgabensatz 2 wurden zu den Kraft- und Bewegungsansatzaufgaben vier von $3 \cdot 3 = 9$ möglichen Kombinationen des Zuordnungserfolges abgedeckt (s. Abb. 6.13b). Besonders häufig treten unter den $N_2 = 8$ Studierenden hier die von den Studierenden 4, 20 und 28 sowie die von den Studierenden 6, 27 und 30 erreichten Kombinationen auf. Bei der ersten Variante werden Kraftansatzaufgaben vollständig und Bewegungsansatzaufgaben zur Hälfte angemessen zugeordnet. Bei der zweiten Variante ist es umgekehrt. Die Zuordnungserfolge der $N_3 = 30$ Studierenden zu den Rechenaufgabengruppen in Aufgabensatz 3 sind vergleichsweise besonders variantenreich. Hier treten insgesamt 19 der $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$ möglichen Kombinationen an Zuordnungserfolgen auf (s. Abb. 6.13c). Die beiden häufigsten Varianten werden von den Studierenden 2, 19, 23 und 27 bzw. von den Studierenden 15, 20, 21 und 22 vertreten. In der ersten Variante werden zu Kraft- und Bewegungsansatzaufgaben sehr hohe Zuordnungserfolge erreicht und Energieansatzaufgaben stets unangemessen zugeordnet. Die zweite Variante gleicht der ersten, außer dass stets eine Bewegungsansatzaufgabe unangemessen zugeordnet wurde. Die Verteilung der Zuordnungserfolge über die Rechenaufgabengruppen in Aufgabensatz 4 gestaltet sich ähnlich variantenreich wie zu Aufgabensatz 1. Auch hier treten 13 von insgesamt $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$ Varianten auf (s. Abb. 6.13d). Die häufigste Variante wird von zehn der $N_4 = 30$ Studierenden – und somit einem Drittel der Studierenden – vertreten (s. Studierende 2, 8, 14, 15, 18, 19, 21, 23, 24, 28). Hier werden wie zu Aufgabensatz 3 Kraft- und Bewegungsansatzaufgaben vollständig angemessen zugeordnet, jedoch keine der Energieansatzaufgaben. Zu Aufgabensatz 5 wurden 12 von $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$ möglichen Variationen des Zuordnungserfolges über die Rechenaufgabengruppen abgedeckt. Die am häufigsten von den $N_5 = 24$ Studierenden vertretene Variante ist diejenige, bei der alle Bewegungs-Kraftansatzaufgaben aber keine weiteren Rechenaufgaben angemessen zugeordnet wurden (s. Abb. 6.13e, Studierende 1, 2, 3, 10, 23).

Eine weniger individuelle Betrachtung der Daten mithilfe von Boxplots liefert einen groben Überblick über die Verteilung der Daten (s. Abb. 6.14). Auffällig ist zunächst, dass die Spannweiten zu allen Rechenaufgabengruppen 1.00 betragen, außer zur Rechenaufgabengruppe 5EK. Hier beträgt die Spannweite .50. Die Mediane der Zuordnungserfolge zu den kleinsten Rechenaufgabengruppen liegen zwischen .00 und 1.00. So beträgt der Median zu Rechenaufgabengruppe 3E $Md_{3E} = .00$ und zu Rechenaufgabengruppe 1E $Md_{1E} = 1.00$. Es werden jedoch auch Werte dazwischen angenommen, z. B. beträgt der Median zu Rechenaufgabengruppe 3B $Md_{3B} = .67$. Zu Rechenaufgabengruppe 3K sind Ausreißer und zu Gruppe 4E extreme Ausreißer festzustellen. Extreme Ausreißer stellen hier alle Werte dar, die nicht dem Median ($= .00$) entsprechen. Einige der Boxen, wie z. B. zu den Gruppen 1E, 1K, 1B, 2K, 4K und 4B, sind zueinander ähnlich gelagert. Hier variiert der Median nur leicht. Bzgl. der anderen Boxen fallen jedoch einige Unterschiede auf. So ist bspw. die Box zu 3E im Vergleich zu den Boxen zu 3K und 3B bzgl. des Zuordnungserfolges weiter unten angesiedelt. Das untere Quartil zu Box 3K entspricht dem Median zu Box 3B. Zudem reicht die untere Antenne von 3K gerade bis zu dem unteren Quartil von 3B, sodass die Box inkl. der Antennen zu 3K kleiner als die Box inkl.

Antennen zu 3B ist. Die Box zu Aufgabensatz 4 beinhaltet nur den Median und ist damit ebenfalls weiter unten angesiedelt als die Rechenaufgabengruppen 4K und 4B desselben Aufgabensatzes. Die Box zu Rechenaufgabengruppe 5BK erstreckt sich im Vergleich zu den beiden Boxen zu Rechenaufgabengruppen desselben Aufgabensatzes über den gesamten Wertebereich von .00 bis 1.00. Dagegen reicht die Box zur Gruppe 5BE bzw. die obere Antenne zur Gruppe 5EK gerade bis zum Median der Gruppe 5BK (= .50).

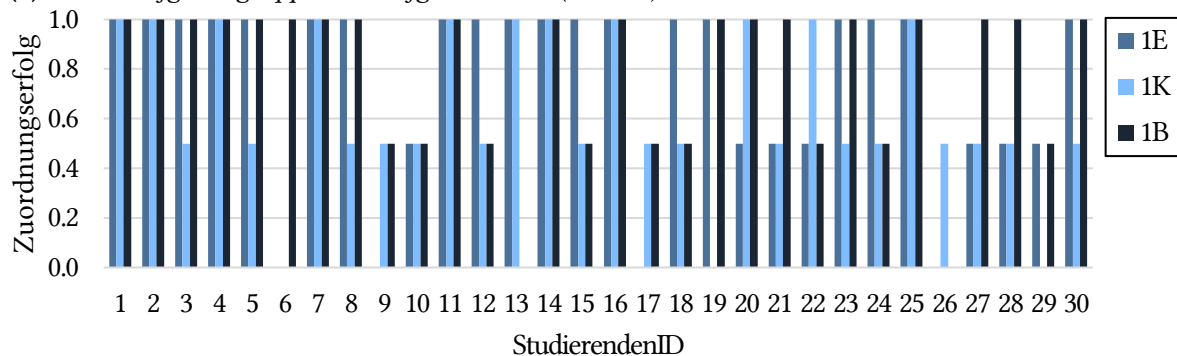
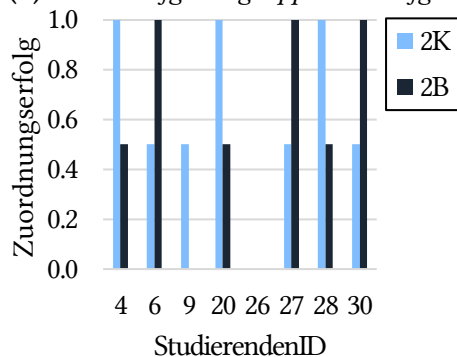
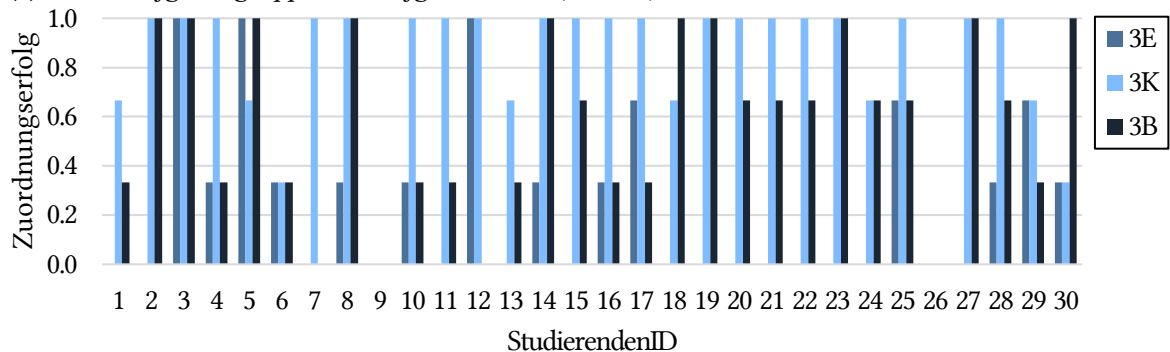
Unter Betrachtung der Mittelwerte von Zuordnungserfolgen zu den Rechenaufgabengruppen zeigt sich, dass diese zwischen $M_{5EK} = .13$ und $M_{3K} = .82$ liegen. Diese und weitere Mediane sowie Mittelwerte zu den Rechenaufgabengruppen können Tabelle 6.5 entnommen werden. Die Überschneidungsfreiheit mancher Boxen in den Boxplots (s. Abb. 6.14) legt nahe, dass sich die Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen unterscheiden könnten (vgl. Rivera, 2020). Bei der Betrachtung der Zuordnungserfolge der Studierenden, nun gruppiert nach den Rechenaufgabengruppen (vgl. Abb. 6.15), zeigt sich ein ähnliches Bild. Hierbei fällt auf, dass der Median der Zuordnungserfolge teilweise häufig erreicht wird. Bspw. wird der Median zu Rechenaufgabengruppe 4E ($Md_{4E} = .00$) von 77 % der Studierenden erreicht. Ähnlich häufig wird auch der Median zu Rechenaufgabengruppe 5EK ($Md_{5EK} = .00$, entspricht 75 %) und der Median zu Rechenaufgabengruppe 5BE ($Md_{5BE} = .00$, entspricht 71 %) erreicht. Im Mittel wird jedoch nur von etwa 56 % der Studierenden, die die entsprechende Rechenaufgabengruppe auch bearbeitet haben, ein Zuordnungserfolg entsprechend des Medians zugewiesen. Besonders selten wird der Median in den Rechenaufgabengruppen 3B ($Md_{3B} = .67$, entspricht 23 %) und 5BK ($Md_{5BK} = .50$, entspricht 25 %) von den Studierenden erreicht.

Diskussion

Es ist festzustellen, dass den Studierenden das Identifizieren von Lösungsansätzen unterschiedlich gut gelingt. Dies deckt sich mit Befunden anderer Studie zum Problemlösen (z. B. Woitkowski, 2022, Brandenburger, 2016). Unterschiede lassen sich nicht nur zwischen den Studierenden erkennen, wie bspw. aus den Säulendiagrammen über die Zuordnungserfolge der Studierenden je Rechenaufgabengruppe, gruppiert nach Studierenden (Abb. 6.13) oder der Breite der Boxen in den Boxplots (Abb. 6.14) hervorgeht. Auch scheinen die Zuordnungserfolge zwischen den Rechenaufgabengruppen verschieden zu sein. Dies wird durch die nicht vorhandenen Überschneidungen einiger Boxen in den Boxplots (siehe Abb. 6.14) sowie durch die Säulendiagramme über die Zuordnungserfolge der Studierenden je Rechenaufgabengruppe, gruppiert nach den Rechenaufgaben (Abb. 6.15) (siehe Abb. 6.15), nahegelegt. Somit ergibt sich eine Übereinstimmung mit den in Kapitel 6.2.2 beobachteten Unterschieden zwischen den Rechenaufgabengruppen. Die Zuordnungserfolge scheinen somit mit Blick auf die Studierenden sowie mit Blick auf die verschiedenen Rechenaufgabengruppen variantenreich zu sein, auch wenn teilweise eine Häufung des Medians je Rechenaufgabengruppe zu verzeichnen ist. Die Durchführung von Zusammenhangsanalysen zu Personenmerkmalen und Aufgabenmerkmalen scheint prinzipiell sinnvoll möglich zu sein.

Abbildung 6.13

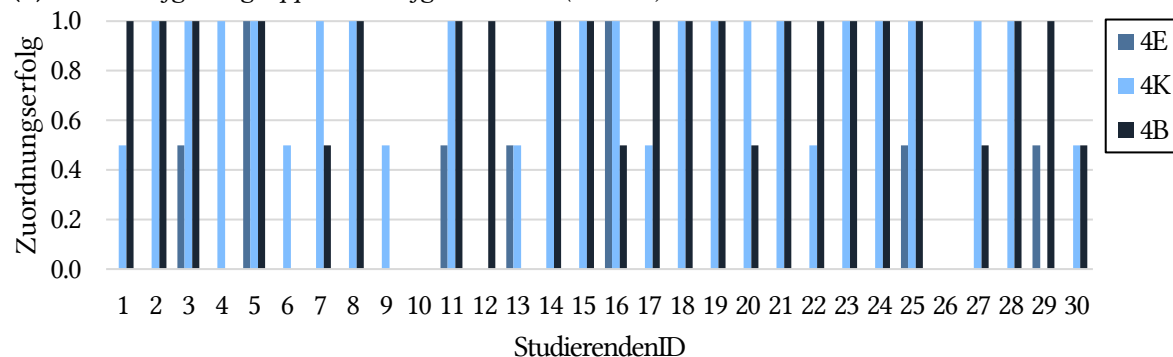
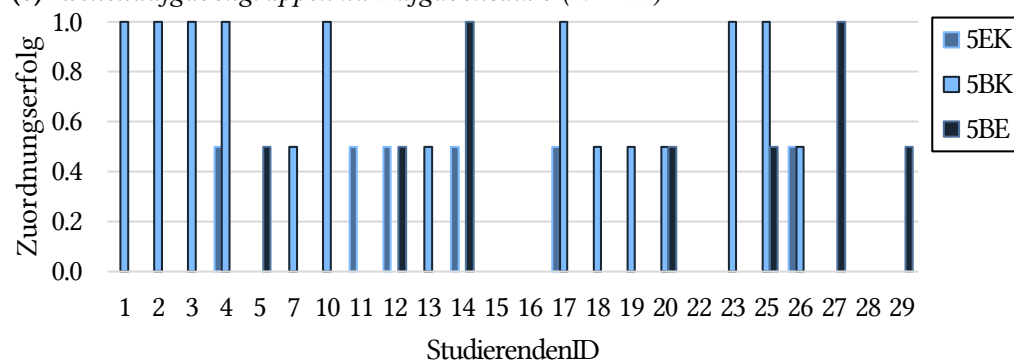
Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert nach Studierenden

(a) Rechenaufgabengruppen zu Aufgabensatz 1 ($N = 30$)**(b) Rechenaufgabengruppen zu Aufgabensatz 2 ($N = 8$)****(c) Rechenaufgabengruppen zu Aufgabensatz 3 ($N = 30$)**

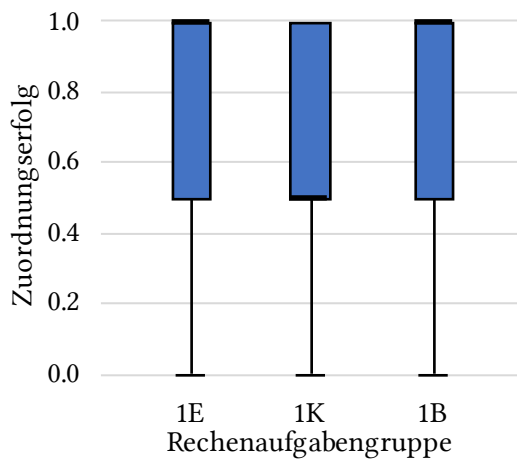
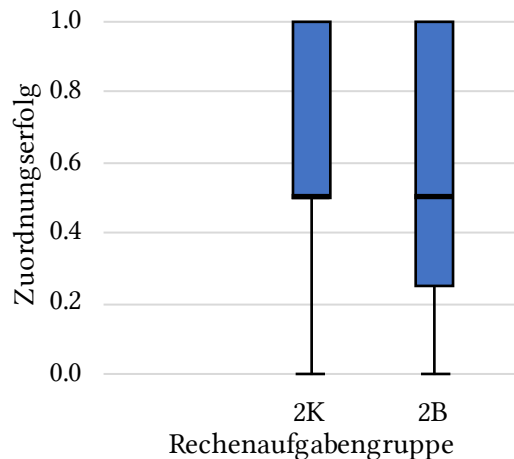
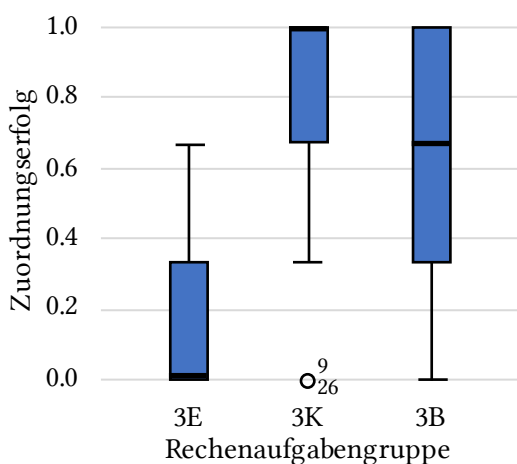
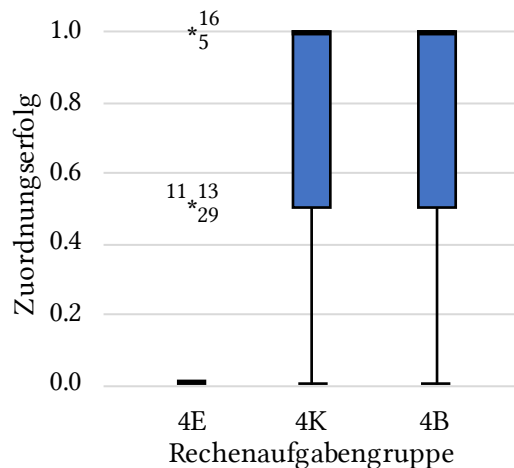
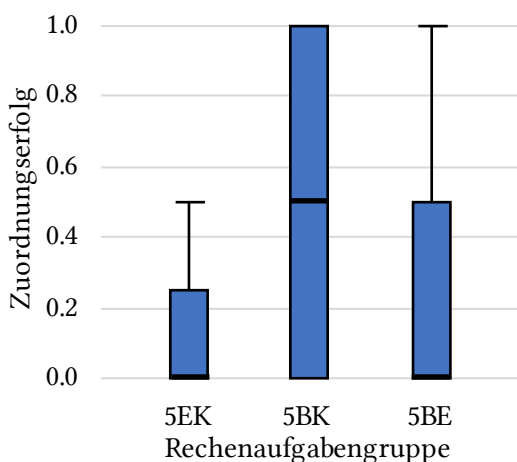
Anmerkung. Die unterschiedlichen Blautöne der Säulen stehen für die in den Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansätzen (hellblau: Kraftansatz, mittelblau: Energieansatz, dunkelblau: Bewegungsansatz). Zur Darstellung der erforderlichen Anwendung mehrerer Ansätze wurde für Aufgabensatz 5 zusätzlich zur Füllung eine Rahmung mit den entsprechenden Farben vorgenommen. N_i gibt die Anzahl der Studierenden an, die in Aufgabensatz i Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen zugewiesen haben. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes (1, 2, ..., 5) und der zur Lösung anzuwendenden Lösungsansätze (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz) zusammen. Zu beachten ist darüber hinaus, dass in Aufgabensatz 1, 2, 4 und 5 jede Rechenaufgabengruppe aus je zwei Rechenaufgaben besteht. Somit können Zuordnungserfolge in der Höhe von .00, .50 und 1.00 erreicht werden. In Aufgabensatz 3 setzt sich jede Rechenaufgabengruppe aus drei Rechenaufgaben zusammen. Somit können für diese Rechenaufgabengruppen Zuordnungserfolge in der Höhe von .00, .33, .67 und 1.00 erreicht werden.

Abbildung 6.13

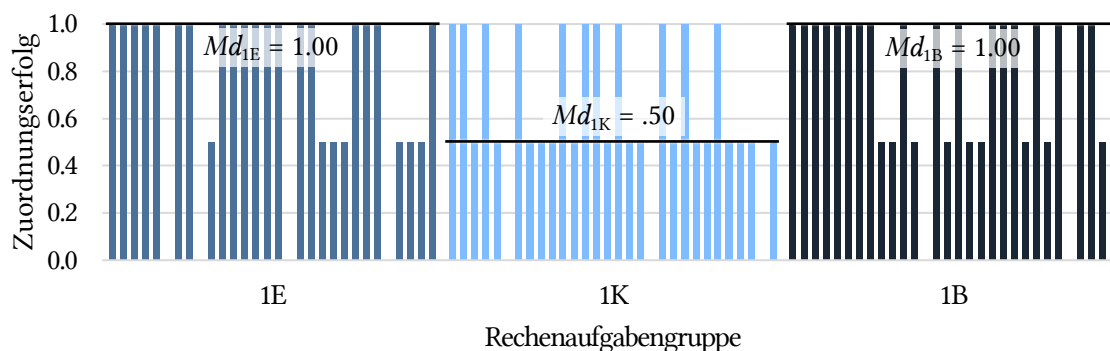
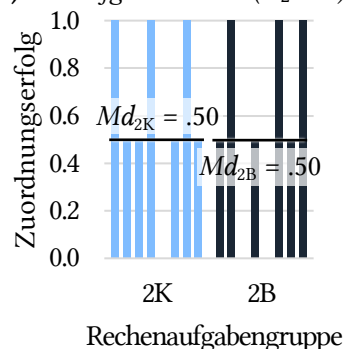
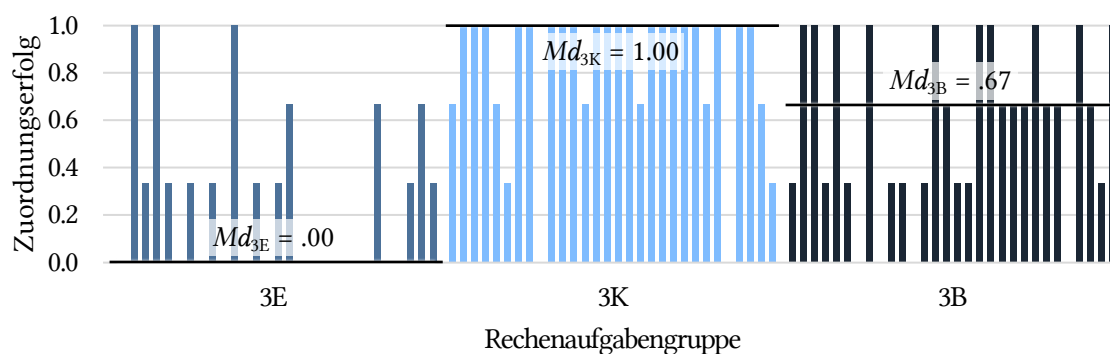
Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert nach Studierenden (Fortsetzung)

(d) Rechenaufgabengruppen zu Aufgabensatz 4 ($N = 30$)**(e) Rechenaufgabengruppen zu Aufgabensatz 5 ($N = 24$)**

Anmerkung. Die unterschiedlichen Blautöne der Säulen stehen für die in den Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansätze (hellblau: Kraftansatz, mittelblau: Energieansatz, dunkelblau: Bewegungsansatz). Zur Darstellung der erforderlichen Anwendung mehrerer Ansätze wurde für Aufgabensatz 5 zusätzlich zur Füllung eine Rahmung mit den entsprechenden Farben vorgenommen. N_i gibt die Anzahl der Studierenden an, die in Aufgabensatz i Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen zugewiesen haben. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes (1, 2, ..., 5) und der zur Lösung anzuwendenden Lösungsansätze (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz) zusammen. Zu beachten ist darüber hinaus, dass in Aufgabensatz 1, 2, 4 und 5 jede Rechenaufgabengruppe aus je zwei Rechenaufgaben besteht. Somit können Zuordnungserfolge in der Höhe von .00, .50 und 1.00 erreicht werden. In Aufgabensatz 3 setzt sich jede Rechenaufgabengruppe aus drei Rechenaufgaben zusammen. Somit können für diese Rechenaufgabengruppen Zuordnungserfolge in der Höhe von .00, .33, .67 und 1.00 erreicht werden.

Abbildung 6.14*Boxplots der Zuordnungswahrscheinlichkeiten in den Rechenaufgabengruppen***(a) Zu Aufgabensatz 1 ($N_1 = 30$)****(b) Zu Aufgabensatz 2 ($N_2 = 8$)****(c) Zu Aufgabensatz 3 ($N_3 = 30$)****(d) Zu Aufgabensatz 4 ($N_4 = 30$)****(e) Zu Aufgabensatz 5 ($N_5 = 24$)**

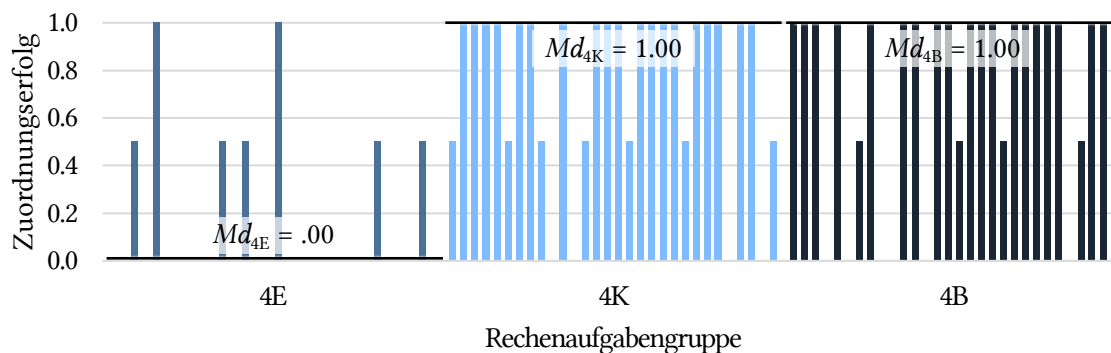
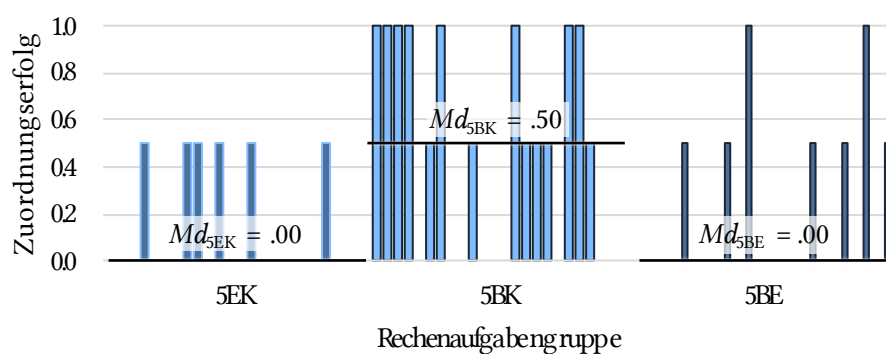
Anmerkung. N_i gibt die Anzahl der Studierenden an, die in Aufgabensatz i Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen zugewiesen haben. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes (1, 2, ..., 5) und der zur Lösung anzuwendenden Lösungsansätze (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz) zusammen.

Abbildung 6.15*Zuordnungserfolge der Studierenden, gruppiert nach Rechenaufgabengruppen***(a) Zu Aufgabensatz 1 ($N_1 = 30$)****(b) Zu Aufgabensatz 2 ($N_2 = 8$)****(c) Zu Aufgabensatz 3 ($N_3 = 30$)**

Anmerkung. Die unterschiedlichen Blautöne der Säulen stehen für die in den Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansätze (hellblau: Kraftansatz, mittelblau: Energieansatz, dunkelblau: Bewegungsansatz). Zur Darstellung der erforderlichen Anwendung mehrerer Ansätze wurde für Aufgabensatz 5 zusätzlich zur Füllung eine Rahmung mit den entsprechenden Farben vorgenommen. N_i gibt die Anzahl der Studierenden an, die in Aufgabensatz i Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen zugewiesen haben. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes (1, 2, ..., 5) und der zur Lösung anzuwendenden Lösungsansätze (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz) zusammen. Zu beachten ist darüber hinaus, dass in Aufgabensatz 1, 2, 4 und 5 jede Rechenaufgabengruppe aus je zwei Rechenaufgaben besteht. Somit können Zuordnungserfolge in der Höhe von .00, .50 und 1.00 erreicht werden. In Aufgabensatz 3 setzt sich jede Rechenaufgabengruppe aus drei Rechenaufgaben zusammen. Somit können für diese Rechenaufgabengruppen Zuordnungserfolge in der Höhe von .00, .33, .67 und 1.00 erreicht werden.

Abbildung 6.15

Zuordnungserfolge der Studierenden, gruppiert nach Rechenaufgabengruppen (Fortsetzung)

(d) Zu Aufgabensatz 4 ($N_4 = 30$)**(e) Zu Aufgabensatz 5 ($N_5 = 24$)**

Anmerkung. Die unterschiedlichen Blautöne der Säulen stehen für die in den Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansätzen (hellblau: Kraftansatz, mittelblau: Energieansatz, dunkelblau: Bewegungsansatz). Zur Darstellung der erforderlichen Anwendung mehrerer Ansätze wurde für Aufgabensatz 5 zusätzlich zur Füllung eine Rahmung mit den entsprechenden Farben vorgenommen. N_i gibt die Anzahl der Studierenden an, die in Aufgabensatz i Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen zugewiesen haben. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes (1, 2, ..., 5) und der zur Lösung anzuwendenden Lösungsansätze (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz) zusammen. Zu beachten ist darüber hinaus, dass in Aufgabensatz 1, 2, 4 und 5 jede Rechenaufgabengruppe aus je zwei Rechenaufgaben besteht. Somit können Zuordnungserfolge in der Höhe von .00, .50 und 1.00 erreicht werden. In Aufgabensatz 3 setzt sich jede Rechenaufgabengruppe aus drei Rechenaufgaben zusammen. Somit können für diese Rechenaufgabengruppen Zuordnungserfolge in der Höhe von .00, .33, .67 und 1.00 erreicht werden.

Tabelle 6.5

Zusammenfassung über die Anzahl an Studierenden N_x , die die Rechenaufgabengruppe x zugeordnet haben, die Anzahl an Rechenaufgaben n_x innerhalb der Rechenaufgabengruppe x , Mittelwert M_x und Median Md_x der Zuordnungserfolge zu Rechenaufgabengruppe x

Rechenaufgabengruppe x	N_x	n_x	M_x	Md_x
1E	30	2	.75	1.00
1K	30	2	.63	.50
1B	30	2	.78	1.00
2K	8	2	.63	.50
2B	8	2	.56	.50
3E	30	3	.26	.00
3K	30	3	.82	1.00
3B	30	3	.59	.67
4E	30	2	.15	.00
4K	30	2	.75	1.00
4B	30	2	.72	1.00
5EK	24	2	.13	.00
5BK	24	2	.46	.50
5BE	24	2	.19	.00

Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppe setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz).



Ergebnisse aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Personenmerkmale. Im Folgenden werden Ergebnisse von Analysen vorgestellt, die Hinweise auf mögliche Zusammenhänge von Personenmerkmalen (Selbstkonzept zum Lösen von Rechenaufgaben, Schwierigkeiten und Selbstwirksamkeitserwartung beim Lösen von Rechenaufgaben, Mechanikverständnis und mathematische Fähigkeiten der Studierenden) und Erfolg beim Identifizieren von Lösungsansätzen geben.



Ergebnisse aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Physikalisches Selbstkonzept. Zunächst werden die gebildeten Cluster *hoch* und *sehr hoch* zur Einschätzung der Studierenden zum Item über das physikalische Selbstkonzept herangezogen und in Bezug zu den jeweils erreichten Zuordnungserfolgen der Studierenden gesetzt. Im Fokus stehen dabei die Rechenaufgabengruppen 1E, 1K, 1B, 3E, 3K, 3B, 5EK, 5BK und 5BE. Die Cluster *mittel – niedrig* und *mittel – hoch* werden aufgrund der geringen Clustergrößen in der Beobachtungsbeschreibung und der anschließenden Diskussion nicht weiter fokussiert. Ebenfalls werden die Rechenaufgabengruppen 2K und 2B aufgrund der geringen Größen aller Cluster nicht weiter betrachtet. Boxplots, die je Cluster und Rechenaufgabengruppe Auskunft über die Verteilung der Zuordnungserfolge liefern, können Abbildung 6.16 entnommen werden.

Die Boxen zu den Clustern *hoch* und *sehr hoch* zum Zuordnungserfolg bei den Rechenaufgabengruppen 1E und 4E umfassen Werte zwischen .50 und 1.00. Die Zuordnungserfolge weisen jeweils

eine Spannweite von $SP_{1E, hoch} = SP_{1E, sehr hoch} = SP_{1E, hoch} = SP_{1E, sehr hoch} = 1.00$ auf. Der Median beträgt jeweils $Md_{1E, hoch} = Md_{1E, sehr hoch} = Md_{4E, hoch} = Md_{4E, sehr hoch} = 1.00$. Zu den Rechenaufgabengruppen 1K, 1B und 4K beinhalten die Boxen der Boxplots Werte zwischen .50 und 1.00. Die Spannweiten betragen für den Cluster *hoch* jeweils $SP_{1K, hoch} = SP_{1B, hoch} = SP_{4K, hoch} = 1.00$ und für den Cluster *sehr hoch* $SP_{1K, sehr hoch} = SP_{1B, sehr hoch} = SP_{4K, sehr hoch} = .50$. Der Median der Zuordnungserfolge in den beiden Clustern zu den Rechenaufgabengruppen 1B und 4K liegt bei $Md_{1B, hoch} = Md_{1B, sehr hoch} = Md_{4K, hoch} = Md_{1B, sehr hoch} = 1.00$ und zur Rechenaufgabengruppe 1K bei $Md_{1K, hoch} = Md_{1K, sehr hoch} = .50$. Zur Rechenaufgabengruppe 4K beträgt der Zuordnungserfolg im Median in beiden Clustern $Md_{4K, hoch} = Md_{4K, sehr hoch} = 1.00$. Die Boxen umfassen jeweils die Werte .67 – 1.00. Die Spannweite der Zuordnungserfolge im Cluster *hoch* ist $SP_{4K, hoch} = 1.00$ und im Cluster *sehr hoch* $SP_{4K, sehr hoch} = .33$. Im Cluster *hoch* stellt der Zuordnungserfolg (= .00) von Student*in 26 einen Ausreißer dar. Die untere Antenne zur Box im Cluster *hoch* reicht bis zum Wert .33. Die Boxen zu den Clustern *hoch* und *sehr hoch* zum Zuordnungserfolg bei Rechenaufgabengruppe 3B reichen von .33 bis 1.00. Die Spannweite der Zuordnungserfolge beträgt jeweils $SP_{3B, hoch} = Md_{3B, sehr hoch} = 1.00$. Der Median der Zuordnungserfolge im Cluster *hoch* liegt bei $Md_{3B, hoch} = .67$ und im Cluster *sehr hoch* bei $Md_{3B, sehr hoch} = 1.00$. Zur Rechenaufgabengruppe 5BK liegen beinhalten die Boxen in beiden Clustern alle Werte zwischen .00 und 1.00, sodass die Spannweite der Zuordnungserfolge in beiden Clustern $SP_{5BK, hoch} = SP_{5BK, sehr hoch} = 1.00$ beträgt. Der Median der Zuordnungserfolge ist in Cluster *hoch* $Md_{5BK, hoch} = .50$ und in Cluster *sehr hoch* $Md_{5BK, sehr hoch} = .00$. Der Median der Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 4E, 5EK und 5BE beträgt in den beiden Clustern *hoch* und *sehr hoch* $Md_{4E, hoch} = Md_{4E, sehr hoch} = Md_{5EK, hoch} = Md_{5EK, sehr hoch} = Md_{5BE, hoch} = Md_{5BE, sehr hoch} = .00$. Zu Rechenaufgabengruppe 4E umfasst die Box zu Cluster *hoch* Werte zwischen .00 und .25, die Box zu Cluster *sehr hoch* Werte zwischen .00 und 1.00. Im Cluster *hoch* beträgt die Spannweite der Zuordnungserfolge $SP_{4E, hoch} = .50$ und im Cluster *sehr hoch* $SP_{4E, sehr hoch} = 1.00$. Zu Rechenaufgabengruppe 5EK beinhaltet die Box zu Cluster *hoch* Werte zwischen .00 und .50. Die Spannweite der Zuordnungserfolge beträgt $SP_{5EK, hoch} = .50$. In Cluster *sehr hoch* haben alle Studierenden Zuordnungserfolge entsprechend des Medians (= .00) erreicht. Zu Rechenaufgabengruppe 5BE umfasst die Box zu Cluster *hoch* Werte zwischen .00 und .50, die Box zu Cluster *sehr hoch* Werte zwischen .00 und .25. Im Cluster *hoch* beträgt die Spannweite der Zuordnungserfolge $SP_{5BE, hoch} = 1.00$ und im Cluster *sehr hoch* $SP_{5BE, sehr hoch} = .50$. Die Boxen zu dem Cluster *hoch* zum Zuordnungserfolg bei Rechenaufgabengruppe 3E reichen von .00 bis .33, bei Cluster *sehr hoch* von .00 bis 1.00. Der Median der Zuordnungserfolge liegt hier in Cluster *hoch* bei $Md_{3E, hoch} = .00$ und in Cluster *sehr hoch* bei $Md_{3E, sehr hoch} = .33$. Die Spannweite der Zuordnungserfolge beträgt im Cluster *hoch* $SP_{3E, hoch} = .67$ und im Cluster *sehr hoch* $Md_{3E, sehr hoch} = 1.00$.

Bzgl. aller oben näher betrachteter Rechenaufgabengruppen ist festzustellen: Die Zuordnungserfolge der Studierenden mit hoher Zustimmung zum Item über das physikalische Selbstkonzept (Cluster *hoch*) unterscheiden sich nicht signifikant von den Zuordnungserfolgen der Studierenden mit sehr hoher Zustimmung zum Item über das physikalische Selbstkonzept (Cluster *sehr hoch*). Ergebnisse der Mann-Whitney-Tests sind je Rechenaufgabengruppe in Tabelle 6.6 aufgelistet.

Diskussion

Aus der qualitativen Betrachtung der Boxplots in Abbildung 6.16 geht hervor, dass Studierende in den Clustern *hoch* und *sehr hoch* tendenziell ähnliche bis sehr ähnliche Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 1E, 1K, 1B, 3K, 3B, 4K, 4B und 5BK erreichen. Zu den Rechenaufgabengruppen 3E, 4E, 5EK und 5BE können auf den ersten Blick Unterschiede zwischen den beiden Clustern erkannt werden. Diese Unterschiede sind zwar nicht signifikant, jedoch sind die p -Werte aus Ergebnissen der Mann-Whitney-Tests im Vergleich zu den anderen Rechenaufgabengruppen niedriger (ausgenommen 5BE; $p_{3E} = .318$, $p_{4E} = .349$, $p_{5EK} = .391$, $p_{5BE} = .754$, s. Tab. 6.6). Des Weiteren sind die zugehörigen Effektstärken, zumindest zu den Rechenaufgabengruppen 3E, 4E und 5EK nach (Field, 2018) fast schon mittelgroß (mittlerer Effekt nach Field, 2018: ab $r = .30$; $r_{3E} = .23$, $r_{4E} = .25$, $r_{5EK} = -.27$, $r_{5BE} = -.10$, s. Tab. 6.6). Auffällig ist hierbei, dass diese Rechenaufgabengruppen stets Rechenaufgaben beinhalten, zu deren Lösung ein Energieansatz angewendet werden muss. Eine erneute Untersuchung dieses Zusammenhangs mit mehr Proband*innen und zusätzlichen Items zum physikalischen Selbstkonzept könnte somit lohnenswert sein, zumal auch Brandenburger (2016) einen *positiven* Einfluss des Selbstkonzeptes auf den Erfolg im Problemlösetest beobachtet hat. Die Richtungen der in dieser Arbeit bestimmten Effekte ist ebenfalls interessant zu betrachten. Zu den Rechenaufgabengruppen 3E und 4E ist der Effekt positiv gerichtet. Je höher somit die Selbsteinschätzung zum Item über das physikalische Selbstkonzept ist, desto höher ist tendentiell auch der mittlere Zuordnungserfolg zur Rechenaufgabengruppe. Unter der Annahme, dass die Selbsteinschätzung der Studierenden deren tatsächlichen Fähigkeiten zur Mechanik beschreibt (die Studierenden sich also nicht über- oder unterschätzen), wäre eine positive Richtung plausibel. Auch passt die positive Richtung der Effekte zu den Ergebnissen von Brandenburger (2016). Zu den Rechenaufgabengruppen 5EK und 5BE kann im Gegensatz ein negativer Effekt bestimmt werden. Ursachen hierfür können verschiedene sein. Denkbar ist bspw. eine Überschätzung der Studierenden im Cluster *sehr hoch* bzgl. ihrer Fähigkeiten oder die Stabilisierung von bestimmten Vorstellungen dazu, welche Arten von Rechenaufgaben (nicht) mit einem Energieansatz gelöst werden können.

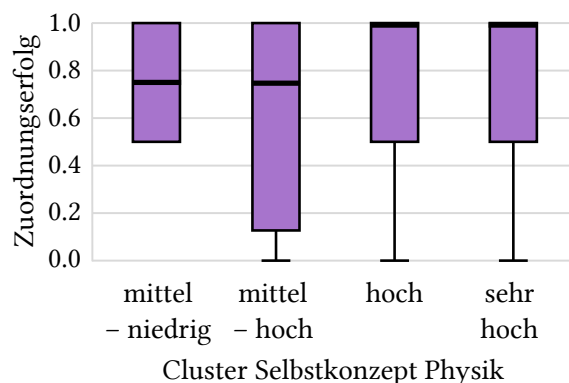
Einschränkend ist zu beachten, dass sich Ergebnisse auf die Einschätzung der Studierenden zu einem einzigen Item beziehen, das zusätzlich relativ allgemein beschrieben ist. Die Studierenden könnten somit verschiedene Aspekte unter dem Verständnis der Inhalte zur Mechanik im Physikstudium subsumieren. Eine kognitive Validierung und / oder die Hinzunahme weiterer Items zum physikalischen Selbstkonzept in dem Fragebogen zum ersten Erhebungsschritt können hier aufschlussreich sein. Zudem basieren die Cluster auf den Einschätzungen entlang der Likert-Skala zum Item und unterscheiden sich dabei nur um eine Stufe auf der Likert-Skala. Die Auswahl der höchsten Stufe, was die Einordnung in den Cluster *sehr hoch* zur Folge hatte, kann mit dem Überwinden einer höheren Hürde verbunden sein, da die sich einschätzende Person der Aussage „*Ich habe alles verstanden. Es gibt somit nichts, das ich nicht verstanden habe.*“ gleichzeitig zustimmen müsste. So wie es daher „vorsichtigere“ Einschätzungen von Studierenden gibt, gibt es jedoch auch mit großer Wahrscheinlichkeit Studierende mit einer Tendenz zur Überschätzung der eigenen Fähigkeiten. Die Interpretation der Unterschiede auf Grundlage der Einteilung der Studierenden nach ihrer Einschätzung zum physikalischen Selbstkonzept ist hier somit mit einigen Schwierigkeiten verbunden.

Abbildung 6.16

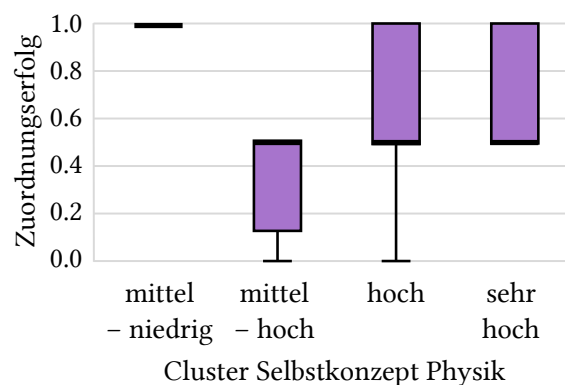
Boxplots über Zuordnungserfolge der N_x Studierenden je Cluster x bzgl. des physikalischen Selbstkonzepts und je Rechenaufgabengruppe

(a) Zu Rechenaufgabengruppe 1E

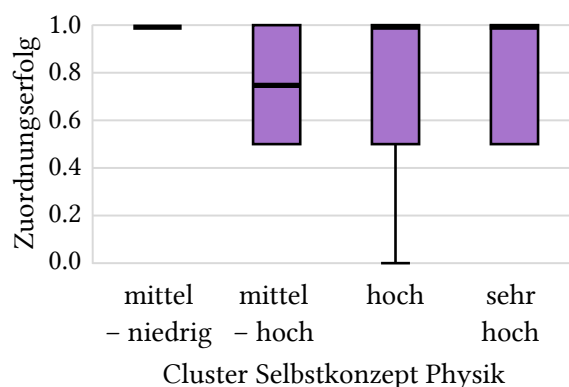
($N_{\text{mittel} - \text{niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel} - \text{hoch}} = 4$;
 $N_{\text{hoch}} = 17$; $N_{\text{sehr hoch}} = 7$)

**(b) Zu Rechenaufgabengruppe 1K**

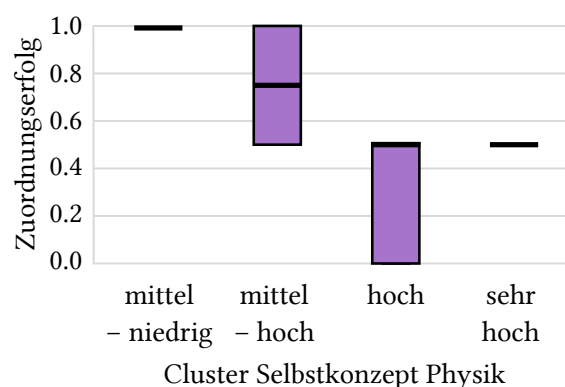
($N_{\text{mittel} - \text{niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel} - \text{hoch}} = 4$;
 $N_{\text{hoch}} = 17$; $N_{\text{sehr hoch}} = 7$)

**(c) Zu Rechenaufgabengruppe 1B**

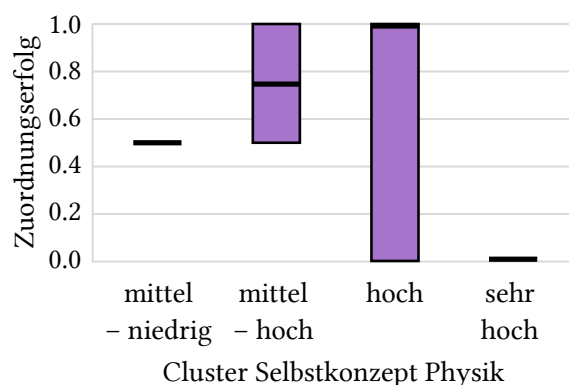
($N_{\text{mittel} - \text{niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel} - \text{hoch}} = 4$;
 $N_{\text{hoch}} = 17$; $N_{\text{sehr hoch}} = 7$)

**(d) Zu Rechenaufgabengruppe 2K**

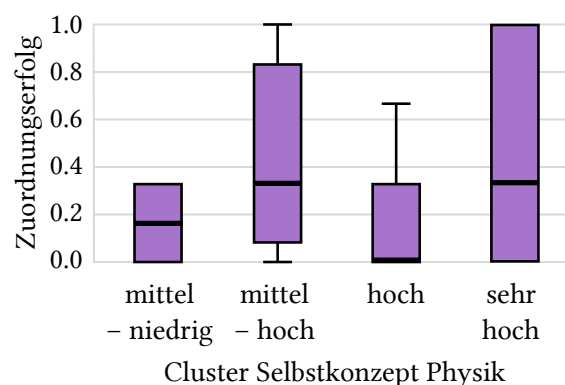
($N_{\text{mittel} - \text{niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel} - \text{hoch}} = 2$;
 $N_{\text{hoch}} = 3$; $N_{\text{sehr hoch}} = 1$)

**(e) Zu Rechenaufgabengruppe 2B**

($N_{\text{mittel} - \text{niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel} - \text{hoch}} = 2$;
 $N_{\text{hoch}} = 3$; $N_{\text{sehr hoch}} = 1$)

**(f) Zu Rechenaufgabengruppe 3E**

($N_{\text{mittel} - \text{niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel} - \text{hoch}} = 4$;
 $N_{\text{hoch}} = 17$; $N_{\text{sehr hoch}} = 7$)



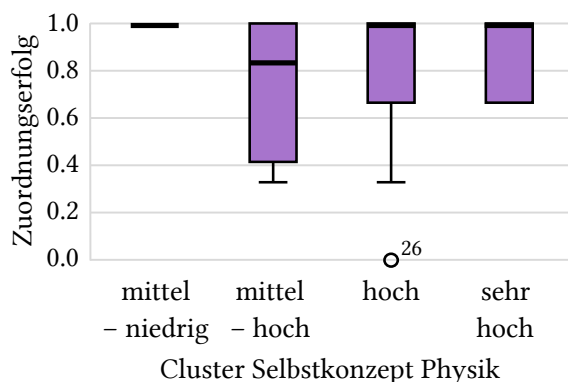
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz).

Abbildung 6.16

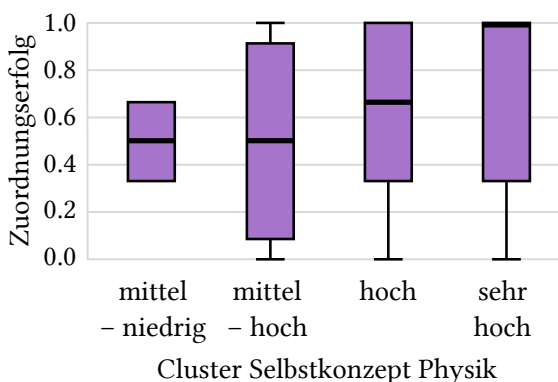
Boxplots über Zuordnungserfolge der N_x Studierenden je Cluster x bzgl. des physikalischen Selbstkonzepts und je Rechenaufgabengruppe (Fortsetzung)

(g) Zu Rechenaufgabengruppe 3K

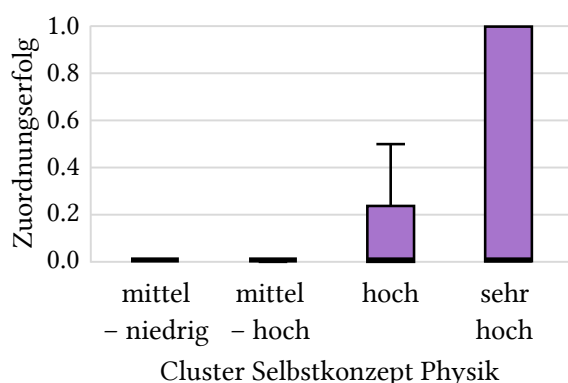
($N_{\text{mittel-niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 4$;
 $N_{\text{hoch}} = 17$; $N_{\text{sehr hoch}} = 7$)

**(h) Zu Rechenaufgabengruppe 3B**

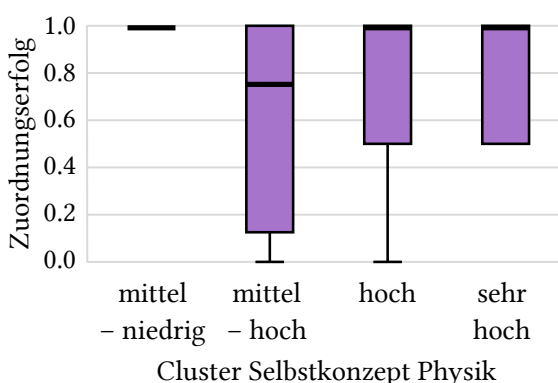
($N_{\text{mittel-niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 4$;
 $N_{\text{hoch}} = 17$; $N_{\text{sehr hoch}} = 7$)

**(i) Zu Rechenaufgabengruppe 4E**

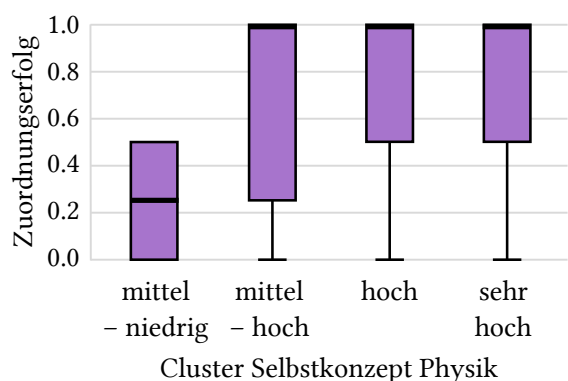
($N_{\text{mittel-niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 4$;
 $N_{\text{hoch}} = 17$; $N_{\text{sehr hoch}} = 7$)

**(j) Zu Rechenaufgabengruppe 4K**

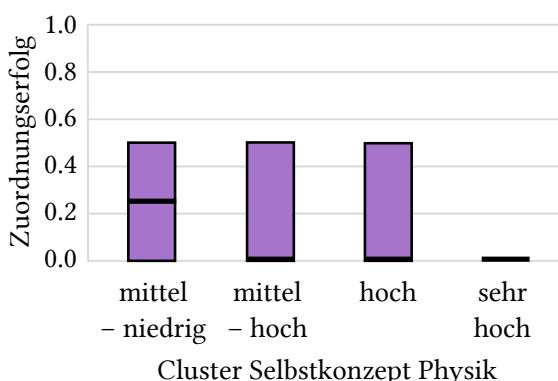
($N_{\text{mittel-niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 4$;
 $N_{\text{hoch}} = 17$; $N_{\text{sehr hoch}} = 7$)

**(k) Zu Rechenaufgabengruppe 4B**

($N_{\text{mittel-niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 4$;
 $N_{\text{hoch}} = 17$; $N_{\text{sehr hoch}} = 7$)

**(l) Zu Rechenaufgabengruppe 5EK**

($N_{\text{mittel-niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 3$;
 $N_{\text{hoch}} = 14$; $N_{\text{sehr hoch}} = 5$)



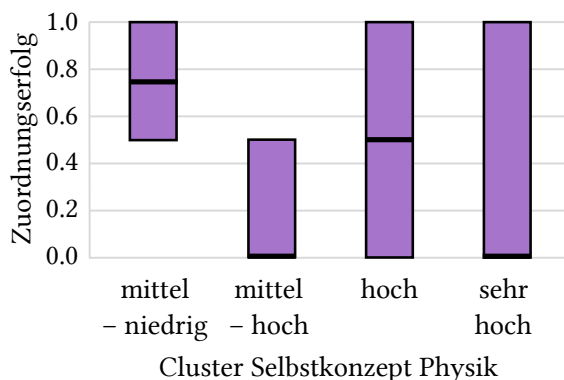
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz).

Abbildung 6.16

Boxplots über Zuordnungserfolge der N_x Studierenden je Cluster x bzgl. des physikalischen Selbstkonzeptes und je Rechenaufgabengruppe (Fortsetzung)

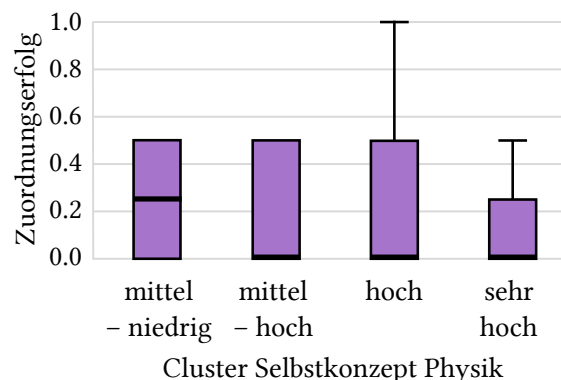
(m) Zu Rechenaufgabengruppe 5BK

($N_{\text{mittel} - \text{niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel} - \text{hoch}} = 3$;
 $N_{\text{hoch}} = 14$; $N_{\text{sehr hoch}} = 5$)



(n) Zu Rechenaufgabengruppe 5BE

($N_{\text{mittel} - \text{niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel} - \text{hoch}} = 3$;
 $N_{\text{hoch}} = 14$; $N_{\text{sehr hoch}} = 5$)



Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz).

Tabelle 6.6

Ergebnisse von Mann-Whitney-Tests zu Zuordnungserfolgen der N_x Studierenden je Cluster x bzgl. des physikalischen Selbstkonzeptes und je Rechenaufgabengruppe

RAG	Md_{hoch}	$Md_{\text{sehr hoch}}$	N_{hoch}	$N_{\text{sehr hoch}}$	U	z	p	r
1E	1.00	1.00	17	7	62.50	.229	.852	.05
1K	.50	.50	17	7	68.00	.608	.619	.12
1B	1.00	1.00	17	7	69.00	.705	.576	.14
3E	.00	.33	17	7	75.50	1.142	.318	.23
3K	1.00	1.00	17	7	62.00	.190	.901	.04
3B	.67	1.00	17	7	74.00	.964	.383	.20
4E	.00	.00	17	7	75.00	1.234	.349	.25
4K	1.00	1.00	17	7	70.00	.775	.534	.16
4B	1.00	1.00	17	7	63.50	.305	.804	.06
5EK	.00	.00	7	5	25.00	-1.309	.391	-.27
5BK	.50	.00	7	5	30.50	-.447	.687	-.09
5BE	.00	.00	7	5	31.00	-.479	.754	-.10

Anmerkung. In der Tabelle wurde die Abkürzung „RAG“ für „Rechenaufgabengruppe“ genutzt. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppe setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu Md_{hoch} und $Md_{\text{sehr hoch}}$ geben den Median der Zuordnungserfolge je Cluster an.



Ergebnisse aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Mathematisches Selbstkonzept.

Im Folgenden werden die Cluster *hoch* und *sehr hoch* zu der Einschätzung der Studierenden zum Items über das mathematische Selbstkonzept in Bezug auf die Zuordnungserfolge der Studierenden zu den Rechenaufgabengruppen 1E, 1K, 1B, 3E, 3K, 3B, 5EK, 5BK und 5BE betrachtet. Der Cluster *mittel – niedrig* wird aufgrund der geringen Clustergröße in der Beobachtungsbeschreibung und der anschließenden Diskussion nicht weiter berücksichtigt. Ebenfalls werden die Rechenaufgabengruppen 2K und 2B aufgrund der geringen Größen aller Cluster nicht weiter thematisiert. Boxplots, die je Cluster und Rechenaufgabengruppe Auskunft über die Verteilung der Zuordnungserfolge liefern, können Abbildung 6.17 entnommen werden.

Die Boxen zu den Rechenaufgabengruppen 1K, 1B und 4K umfassen zu beiden Clustern *hoch* und *sehr hoch* die Werte .50 bis 1.00. Der Median der Zuordnungserfolge liegt für beide Cluster zu den Rechenaufgabengruppen 1B und 4K bei $Md_{1B, hoch} = Md_{1B, sehr hoch} = Md_{4K, hoch} = Md_{4K, sehr hoch} = 1.00$ und zur Rechenaufgabengruppe 1K jeweils bei $Md_{1K, hoch} = Md_{1K, sehr hoch} = .50$. Die Spannweite der Zuordnungserfolge der Studierenden im Cluster *hoch* liegen zu den Rechenaufgabengruppen 1K und 1B bei $SP_{1K, hoch} = SP_{1B, hoch} = .50$. Zur Rechenaufgabengruppe 4K sowie die Spannweiten der Zuordnungserfolge der Studierenden im Cluster *sehr hoch* zu den Rechenaufgabengruppen 1K, 1B und 4K betragen $SP_{4K, hoch} = SP_{4K, sehr hoch} = SP_{1K, sehr hoch} = SP_{1B, sehr hoch} = 1.00$. Zur Rechenaufgabengruppe 3K umfassen die Boxen zu den Clustern *hoch* und *sehr hoch* Zuordnungserfolge zwischen .67 und 1.00. Der Median ist jeweils $Md_{3K, hoch} = Md_{3K, sehr hoch} = 1.00$. Der Zuordnungserfolg von Student*in 9 (= .00) in Cluster *hoch* kann als Ausreißer gewertet werden. Die Spannweite der Zuordnungserfolge in Cluster *hoch* beträgt, inkl. des Ausreißers, $SP_{3K, hoch} = 1.00$ und in Cluster *sehr hoch* $SP_{3K, sehr hoch} = .67$. Zur Rechenaufgabengruppe 5BK weisen die Zuordnungserfolge der Studierenden in beiden Clustern eine Spannweite von $SP_{5BK, hoch} = SP_{5BK, sehr hoch} = 1.00$ auf. Die Boxen erstrecken sich jeweils von .00 bis 1.00 und der Median beträgt jeweils $Md_{5BK, hoch} = Md_{5BK, sehr hoch} = .50$. Die Boxen zur Rechenaufgabengruppe 5BE beinhalten Zuordnungserfolge von .00 bis .50. Der Median beträgt je Cluster $Md_{5BE, hoch} = Md_{5BE, sehr hoch} = .00$. Die Zuordnungserfolge weisen jeweils eine Spannweite von $SP_{5BE, hoch} = SP_{5BE, sehr hoch} = 1.00$ auf. Die Boxen der Cluster *hoch* und *sehr hoch* erstrecken sich zur Rechenaufgabengruppe 3B von .33 bis 1.00. Der Median der Zuordnungserfolge in Cluster *hoch* beträgt $Md_{3B, hoch} = .50$ und in Cluster *sehr hoch* $Md_{3B, sehr hoch} = .67$. Die Spannweite der Zuordnungserfolge liegt jeweils bei $SP_{3B, hoch} = SP_{3B, sehr hoch} = 1.00$. Die Mediane der Zuordnungserfolge der Studierenden entsprechen in beiden Clustern zu den Rechenaufgabengruppen 1E und 4B $Md_{1E, hoch} = Md_{1E, sehr hoch} = Md_{4B, hoch} = Md_{4B, sehr hoch} = 1.00$. Zur Rechenaufgabengruppe 1E umfasst die Box zu Cluster *hoch* die Zuordnungserfolge .63 bis 1.00 und zu Cluster *sehr hoch* .50 bis 1.00. Die Spannweiten betragen $SP_{1E, hoch} = .50$ und $SP_{1E, sehr hoch} = 1.00$. Zur Rechenaufgabengruppe 4B beinhaltet die Box zu Cluster *hoch* die Zuordnungserfolge .50 bis 1.00 und zu Cluster *sehr hoch* .25 bis 1.00. Die Spannweiten betragen $SP_{4B, hoch} = SP_{4B, sehr hoch} = 1.00$. Die Mediane der Zuordnungserfolge von Studierenden in beiden Clustern zu den Rechenaufgabengruppen 4E und 5EK entsprechen $Md_{4E, hoch} = Md_{4E, sehr hoch} = Md_{5EK, hoch} = Md_{5EK, sehr hoch} = .00$. Zur Rechenaufgabengruppe 4E beinhaltet die Box zu Cluster *hoch* die Zuordnungserfolge .00 bis .38 und zu Cluster *sehr hoch* .00 bis .25. In Cluster *hoch* kann der Zuordnungserfolg von Student*in 5 (= 1.00) als Ausreißer gewertet werden. Die

Spannweite beträgt hier $SP_{4E, hoch} = 1.00$, wobei die obere Antenne bis an .50 reicht. Die Spannweite der Zuordnungserfolge in Cluster *sehr hoch* liegt bei $SP_{4E, sehr hoch} = .50$. Zur Rechenaufgabengruppe 5EK umfasst die Box zu Cluster *hoch* die Zuordnungserfolge .00 bis .50 und zu Cluster *sehr hoch* .00 bis .13. Die Spannweiten betragen jeweils $SP_{5EK, hoch} = SP_{5EK, sehr hoch} = .50$, wobei die Zuordnungserfolge der Studierenden 4, 17 und 26 von .50 in Cluster *sehr hoch* als Ausreißer zu werten sind. Die Boxen der Zuordnungserfolge zu Rechenaufgabengruppe 3E erstrecken sich bei Cluster *hoch* von .00 bis .33 und bei Cluster *sehr hoch* von .00 bis .50. Der Median der Zuordnungserfolge in Cluster *hoch* liegt bei $Md_{3E, hoch} = .17$ und in Cluster *sehr hoch* bei $Md_{3E, sehr hoch} = .00$. In Cluster *hoch* kann der Zuordnungserfolg von Student*in 12 (=1.00) als Ausreißer gewertet werden. Insgesamt beträgt die Spannweite der Zuordnungserfolge in beiden Clustern $SP_{3E, hoch} = SP_{3E, sehr hoch} = 1.00$. Die Antenne zum Plot von Cluster *hoch* reicht dabei bis zu einem Zuordnungserfolg von .67.

Bzgl. aller oben näher betrachteter Rechenaufgabengruppen ist analog zu Analysen zum physikalischen Selbstkonzept festzustellen: Die Zuordnungserfolge der Studierenden mit hoher Zustimmung zum Item über das mathematische Selbstkonzept (Cluster *hoch*) unterscheiden sich nicht signifikant von den Zuordnungserfolgen der Studierenden mit sehr hoher Zustimmung zum Item über das physikalische Selbstkonzept (Cluster *sehr hoch*). Ergebnisse der Mann-Whitney-Tests sind je Rechenaufgabengruppe in Tabelle 6.7 aufgelistet.

Diskussion

Im Vergleich zu Ergebnissen über den Zusammenhang zwischen dem Zuordnungserfolg und der Einschätzung zum Item zum physikalischen Selbstkonzept werden in der qualitativen Analyse der Boxplots hier kaum identifizierbare Unterschiede zwischen den Clustern je Rechenaufgabengruppe erkennbar. Gleiches wird auch mit Blick auf die p -Werte aus den Mann-Whitney-Tests deutlich, welche mit $p \geq .444$ ausnahmslos größer sind als zum Vergleich der Einschätzungen zum physikalischen Selbstkonzept (vgl. Tab. 6.6 und 6.7). Der von Brandenburger (2016) bemerkte positive Effekt des Selbstkonzeptes auf Erfolge im Problemlösetest kann somit hier, zumindest mit Blick auf eine mathematische Komponente des Selbstkonzeptes, nicht analog beobachtet werden. Zu beachten ist jedoch, dass auch hier Zuordnungserfolge zu zwei Clustern verglichen wurden, die aus Einschätzungen zu zwei benachbarten Stufen einer Likert-Skala gebildet worden sind. Wie bereits zum physikalischen Selbstkonzept beschrieben, könnte die Auswahl der höchsten Stufe der Likert-Skala auf der einen Seite, die zur Einstufung im Cluster *sehr hoch* führte, das Überwinden einer größeren Hürde erfordern, da die Studierenden hierbei theoretisch auch gleichzeitig der Aussage zustimmen müssten, dass es keine Kombination aus Aufgabensituation und anzuwendenden mathematischen Operationen gibt, die sie nicht meistern könnten. Daher ist es möglich, dass Studierende einerseits ihre Fähigkeiten zurückhaltender einschätzen. Auf der anderen Seite sind Überschätzungen der eigenen Fähigkeiten allgemein nicht unüblich (vgl. Kruger & Dunning, 2000). Die Durchführung einer kognitiven Validierung zum Item über das mathematische Selbstkonzept kann hier Aufschluss darüber geben, wie sich Studierende der Einschätzung nähern. Des Weiteren kann eine kognitive Validierung auch Hinweise liefern, über welche Aspekte im Besonderen die Studierenden bei der Einschätzung des Items nachdenken. Ergebnisse könnten dabei bspw. nahelegen, ob das eine eingesetzte und allgemein formulierte Item für weitere Erhebungen in mehrere Items, die jeweils Aspekte des zuvor eingesetzten

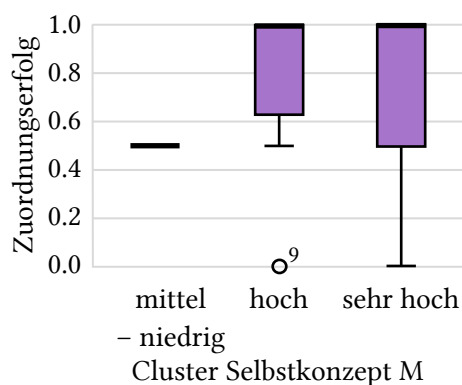
Items adressieren, zerlegt werden sollte.

Abbildung 6.17

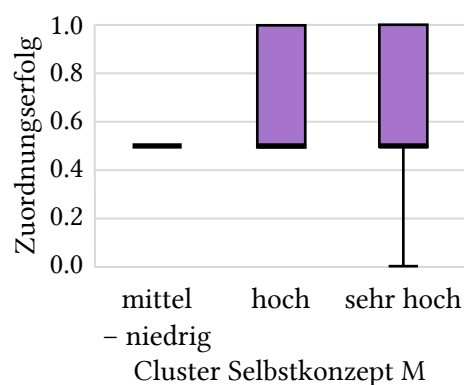
Boxplots über Zuordnungserfolge der N_x Studierenden je Cluster x bzgl. des mathematischen Selbstkonzepts und je Rechenaufgabengruppe

(a) Zu Rechenaufgabengruppe 1E

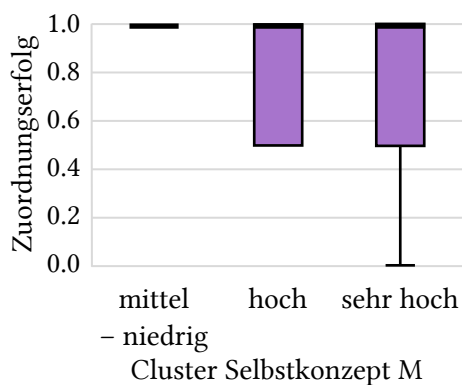
($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 12$; $N_{\text{sehr hoch}} = 17$)

**(b) Zu Rechenaufgabengruppe 1K**

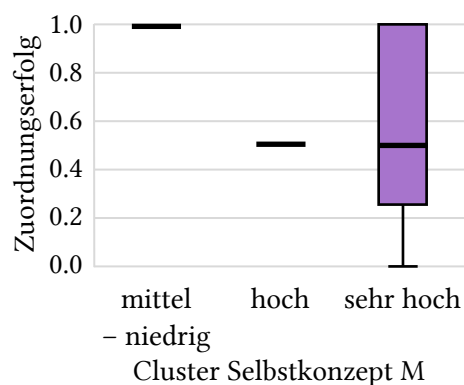
($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 12$; $N_{\text{sehr hoch}} = 17$)

**(c) Zu Rechenaufgabengruppe 1B**

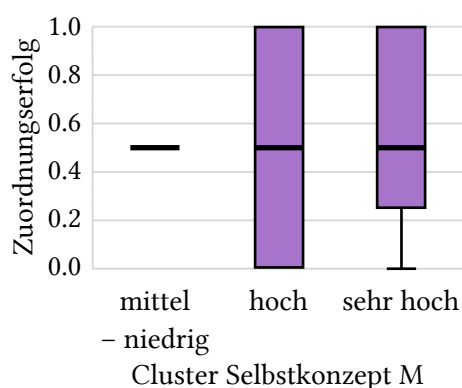
($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 12$; $N_{\text{sehr hoch}} = 17$)

**(d) Zu Rechenaufgabengruppe 2K**

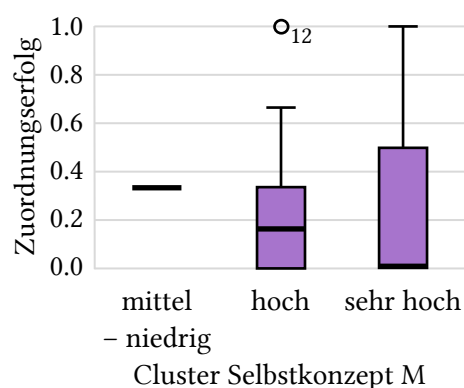
($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 2$; $N_{\text{sehr hoch}} = 5$)

**(e) Zu Rechenaufgabengruppe 2B**

($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 2$; $N_{\text{sehr hoch}} = 5$)

**(f) Zu Rechenaufgabengruppe 3E**

($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 12$; $N_{\text{sehr hoch}} = 17$)



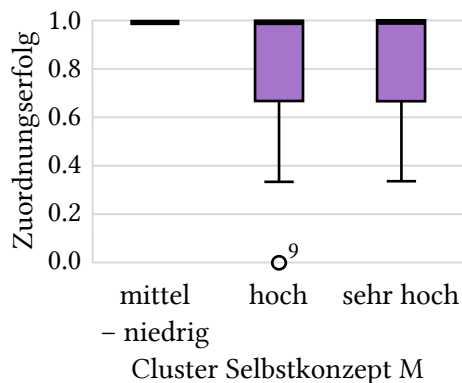
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz).

Abbildung 6.17

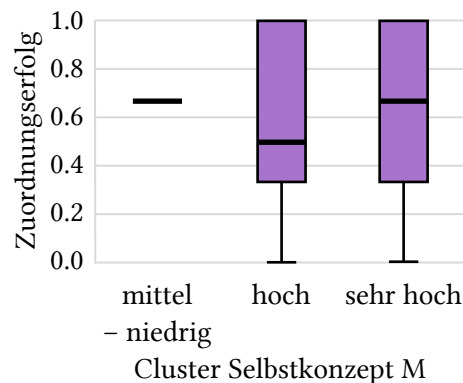
Boxplots über Zuordnungserfolge der N_x Studierenden je Cluster x bzgl. des mathematischen Selbstkonzepts und je Rechenaufgabengruppe (Fortsetzung)

(g) Zu Rechenaufgabengruppe 3K

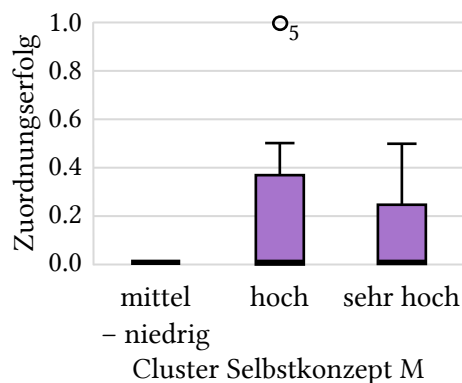
($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 12$; $N_{\text{sehr hoch}} = 17$)

**(h) Zu Rechenaufgabengruppe 3B**

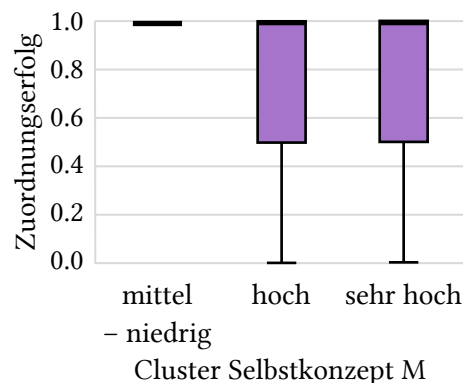
($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 12$; $N_{\text{sehr hoch}} = 17$)

**(i) Zu Rechenaufgabengruppe 4E**

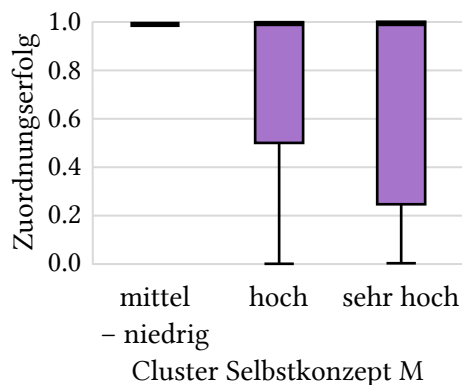
($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 12$; $N_{\text{sehr hoch}} = 17$)

**(j) Zu Rechenaufgabengruppe 4K**

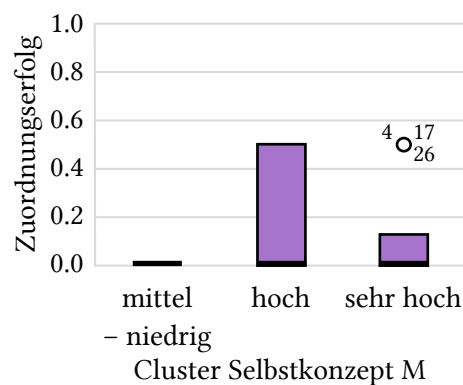
($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 12$; $N_{\text{sehr hoch}} = 17$)

**(k) Zu Rechenaufgabengruppe 4B**

($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 12$; $N_{\text{sehr hoch}} = 17$)

**(l) Zu Rechenaufgabengruppe 5EK**

($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 9$; $N_{\text{sehr hoch}} = 14$)



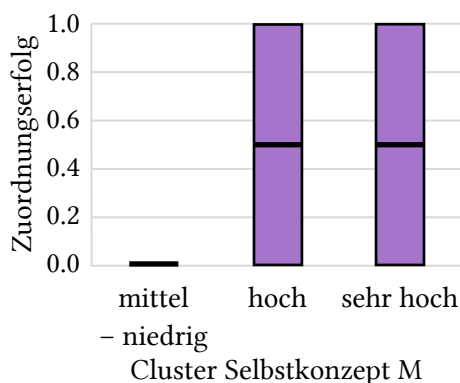
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz).

Abbildung 6.17

Boxplots über Zuordnungserfolge der N_x Studierenden je Cluster x bzgl. des mathematischen Selbstkonzepts und je Rechenaufgabengruppe (Fortsetzung)

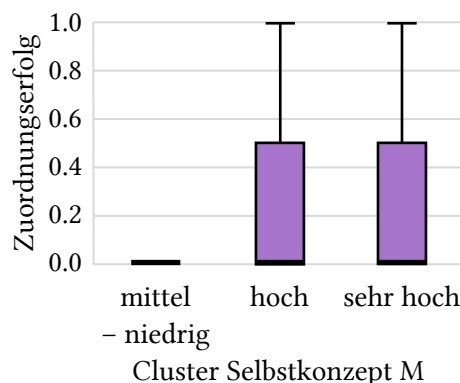
(m) Zu Rechenaufgabengruppe 5BK

($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 9$; $N_{\text{sehr hoch}} = 14$)



(n) Zu Rechenaufgabengruppe 5BE

($N_{\text{mittel}} = 1$; $N_{\text{hoch}} = 9$; $N_{\text{sehr hoch}} = 14$)



Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz).

Tabelle 6.7

Ergebnisse von Mann-Whitney-Tests zu Zuordnungserfolgen der N_x Studierenden je Cluster x bzgl. des mathematischen Selbstkonzepts und je Rechenaufgabengruppe

RAG	Md_{hoch}	$Md_{\text{sehr hoch}}$	N_{hoch}	$N_{\text{sehr hoch}}$	U	z	p	r
1E	1.00	1.00	12	17	84.50	-.921	.444	-.17
1K	.50	.50	12	17	85.00	-.838	.471	-.16
1B	.50	.50	12	17	90.00	-.621	.616	-.12
3E	.17	.00	12	17	98.00	-.196	.879	-.04
3K	1.00	1.00	12	17	102.00	.000	1.000	.00
3B	.50	.67	12	17	110.00	.370	.744	.07
4E	.00	.00	12	17	100.00	-.118	.948	-.02
4K	1.00	1.00	12	12	109.50	.385	.744	.07
4B	1.00	1.00	12	17	93.00	-.461	.711	-.09
5EK	.00	.00	9	14	55.50	-.621	.643	-.13
5BK	.50	.50	9	14	60.50	-.168	.877	-.04
5BE	.00	.00	9	14	59.50	-.273	.829	-.06

Anmerkung. In der Tabelle wurde die Abkürzung „RAG“ für „Rechenaufgabengruppe“ genutzt. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppe setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu Md_{hoch} und $Md_{\text{sehr hoch}}$ geben den Median der Zuordnungserfolge der Studierenden im Cluster *hoch* und *sehr hoch* bzgl. des Selbstkonzeptes an.



Ergebnisse aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Schwierigkeitstyp. Im Folgenden werden die Zuordnungserfolge der Studierenden in Abhängigkeit vom in Kapitel 6.1.2 vorgestellten Schwierigkeitstyp betrachtet. Der Cluster zum Schwierigkeitstyp 3 wird in Boxplots (vgl. Abb. 6.18) zwar dargestellt, aufgrund der geringen Clustergröße in Beobachtungsbeschreibungen und der anschließenden Diskussion nicht weiter fokussiert. Ebenfalls werden die Rechenaufgabengruppen 2K, 2B, 5EK, 5BK und 5BE aufgrund der geringen Clustergrößen zu den Schwierigkeitstypen 1 und 3 in Beschreibungen und Diskussion nicht weiter betrachtet. Somit werden lediglich die Cluster zu den Schwierigkeitstypen 1 und 2 bzgl. der Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 1E, 1K, 1B, 3E, 3K, 3B, 4E, 4K und 4B miteinander verglichen.

Die Betrachtung der Boxplots in Abbildung 6.18 zeigt, dass die Boxen zu den Zuordnungserfolgen von Studierenden im Cluster zu Schwierigkeitstyp 1 und 2 je Rechenaufgabengruppe entweder identisch (mit gleichem oder verschiedenem Median) sind oder zumindest bei identischem Median überlappen. Die Boxen zum Zuordnungserfolg bei Rechenaufgabengruppe 1K (s. Abb. 6.18 (b)) sind gleich gelagert und reichen von .50 bis 1.00. Auch die entsprechenden Mediane sind bei beiden Cluster identisch und betragen $Md_{1K,1} = Md_{1K,2} = .50$. Die Spannweite der Daten zum Zuordnungserfolg der Studierenden aus dem Cluster zu Schwierigkeitstyp 2 ist im Vergleich zu Schwierigkeitstyp 1 größer ($SP_{1K,2} = 1.00$ statt $SP_{1K,1} = .50$). Die Boxen zum Zuordnungserfolg bei Rechenaufgabengruppe 1E (s. Abb. 6.18 (a)) sind ebenfalls gleich gelagert und reichen, wie zu 1K von .50 bis 1.00. Hier sind die Mediane $Md_{1E,1} = .50$ und $Md_{1E,2} = 1.00$ verschieden. Auch unterscheidet sich die Spannweite der Zuordnungserfolge. So beträgt die Spannweite bei Studierenden im Cluster zu Schwierigkeitstyp 1 $SP_{1E,1} = .50$ und zu Schwierigkeitstyp 2 $SP_{1E,2} = 1.00$. Zu den anderen Rechenaufgabengruppen 1B, 3E, 3K, 3B, 4E, 4K und 4B liegen die Boxplots über den Zuordnungserfolg bei den Studierenden in den Clustern zu den Schwierigkeitstypen 1 und 2 jeweils verschieden, die Mediane sind je Rechenaufgabengruppe identisch. Zu Rechenaufgabengruppe 1B (s. Abb. 6.18 (c)) beträgt der Median in beiden Clustern $Md_{1B,1} = Md_{1B,2} = 1.00$. Studierende im Cluster des Schwierigkeitstyps 1 haben Zuordnungserfolge entsprechend des Medians erreicht, sodass die zugehörige Box nur den Median beinhaltet. Die Box zum Cluster des Schwierigkeitstyps 2 umfasst Werte von .50 bis 1.00 und die Spannweite der Zuordnungserfolge beträgt hier $SP_{1B,2} = 1.00$. Die Mediane zum Zuordnungserfolg bei Rechenaufgabengruppe 3E (s. Abb. 6.18 (f)) betragen bzgl. der beiden Cluster $Md_{3E,1} = Md_{3E,2} = .00$. Die Box zum Cluster des Schwierigkeitstyps 1 umfasst Werte zwischen .00 und .17, die Box zum Cluster des Schwierigkeitstyps 2 Werte zwischen .00 und .67. Die Spannweiten der Zuordnungserfolge betragen $SP_{3E,1} = .33$ für den Cluster zum Schwierigkeitstyp 1 und $SP_{3E,2} = 1.00$ für den Cluster zum Schwierigkeitstyp 2. Die Mediane zu den Zuordnungserfolgen zu Rechenaufgabengruppe 3K der Cluster zum Schwierigkeitstyp 1 und 2 liegen bei $Md_{3K,1} = Md_{3K,2} = 1.00$. Die Boxen (s. Abb. 6.18 (g)) beinhalten Werte zwischen .83 und 1.00 zu Schwierigkeitstyp 1 und Werte zwischen .67 und 1.00 zu Schwierigkeitstyp 2. Die Spannweite der Zuordnungserfolge beträgt zu Schwierigkeitstyp 1 $SP_{3K,1} = .33$ und zu Schwierigkeitstyp 2 aufgrund von Ausreißern (Student*in 9 und 26 mit Zuordnungserfolgen von .00) $SP_{3K,2} = 1.00$. Die untere Antenne der Box zu Schwierigkeitstyp 2 reicht bis zum Wert .33 nach unten. Zu Rechenaufgabengruppe 3B (s. Abb. 6.18 (h)) beträgt der Median in beiden Clustern $Md_{3B,1} = Md_{3B,2} = .67$. Die Box zum Cluster des Schwierigkeitstyps 1

schließt Werte von .50 bis .83 ein und die Spannweite der Zuordnungserfolge beträgt $SP_{3B,1} = .67$. Zu Schwierigkeitstyp 2 beinhaltet die Box Werte zwischen .33 und 1.00. Die Spannweite der Daten beträgt hier $SP_{3B,2} = 1.00$. Zu Rechenaufgabengruppe 4E (s. Abb. 6.18 (i)) liegt der Median in beiden Clustern bei $Md_{4E,1} = Md_{4E,2} = .00$. Alle Studierende im Cluster zu Schwierigkeitstyp 1 haben einen Zuordnungserfolg von .00 erreicht, sodass der Boxplot hier nur Werte entsprechend des Medians beinhaltet. Zum Cluster des Schwierigkeitstyps 2 schließt die Box Werte von .00 bis .50 ein und die Spannweite der Zuordnungserfolge beträgt $SP_{4E,2} = 1.00$. Die Mediane zu den Zuordnungserfolgen zu Rechenaufgabengruppe 4K und 4B der Cluster zum Schwierigkeitstyp 1 und 2 liegen bei $Md_{4K,1} = Md_{4K,2} = Md_{4B,1} = Md_{4B,2} = 1.00$. Die Boxen (s. Abb. 6.18 (j) und (k)) beinhalten zu Schwierigkeitstyp 1 Werte zwischen .75 und 1.00. Zu Schwierigkeitstyp 2 umfassen die Boxen zu Rechenaufgabengruppe 4K Werte zwischen .50 und 1.00 und zu Rechenaufgabengruppe 4B Werte zwischen .00 und 1.00. Die Spannweiten zu Schwierigkeitstyp 1 betragen jeweils .50 und zu Schwierigkeitstyp 2 jeweils 1.00.

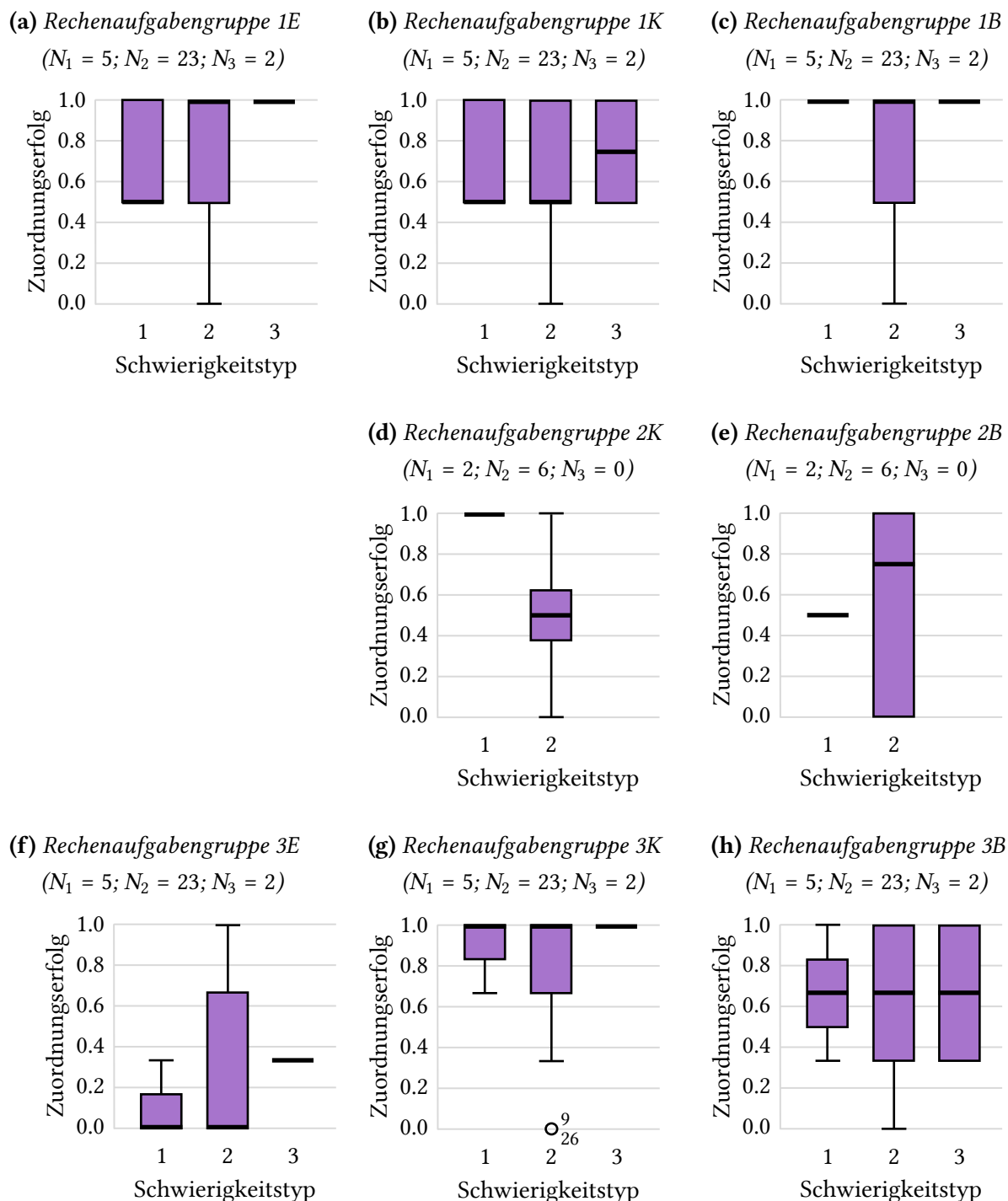
Zwischen den Zuordnungserfolgen der Studierenden in den Clustern zum Schwierigkeitstyp 1 und 2 sind zu keiner der betrachteten Rechenaufgabengruppen signifikante Unterschiede festzustellen. Werte aus den durchgeführten Mann-Whitney-Tests, wie Teststatistiken und p -Werte, können Tabelle 6.8 entnommen werden.

Diskussion

Die qualitative Betrachtung der Boxplots in Abbildung 6.18 legt zu einigen Rechenaufgabengruppen nahe, dass Unterschiede zwischen den Clustern zu den Schwierigkeitstypen 1 und 2 bestehen können. Unterschiede sind insb. zu den Rechenaufgabengruppen 1B, 3E, 3K, 4E, 4K und 4B erkennbar. Diese zeigen sich dadurch, dass die Boxen inkl. Antennen zu Schwierigkeitstyp 1 schmaler erscheinen. In Ergebnissen von Mann-Whitney-Tests (vgl. Tab. 6.8) sind die p -Werte zu diesen Gruppen mit $p_{1B} = .107$ bis $p_{3K} = .447$ zwar im Vergleich zu den Werten anderer Rechenaufgabengruppen kleiner, implizieren aber keine statistisch signifikanten Unterschiede. Aufgrund der geringen Anzahl Studierender im Cluster zu Schwierigkeitstyp 1 ist die Identifizierung bedeutsamer Unterschiede jedoch grundsätzlich kaum möglich. Eine Analyse mit einer größeren Gruppe an Proband*innen kann hier sinnvoll sein.

Abbildung 6.18

Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. Schwierigkeitstypen

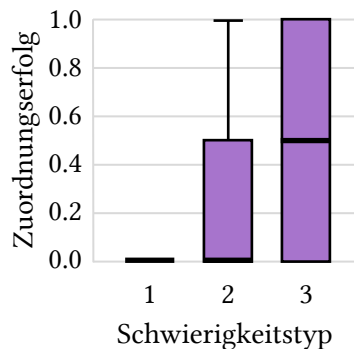


Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu N_1 , N_2 , N_3 geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *Schwierigkeitstyp* 1, 2, 3 an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

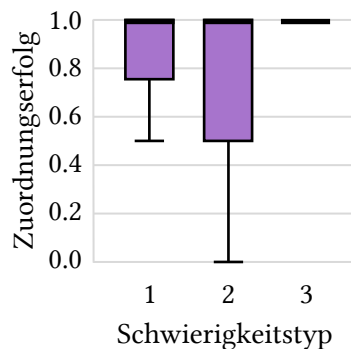
Abbildung 6.18

Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. Schwierigkeitstypen (Fortsetzung)

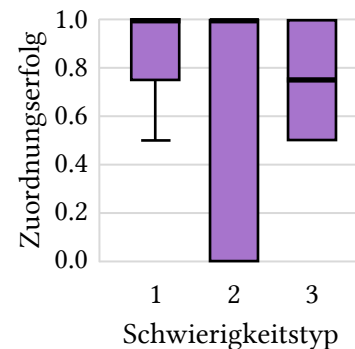
(i) Rechenaufgabengruppe 4E
($N_1 = 5$; $N_2 = 23$; $N_3 = 2$)



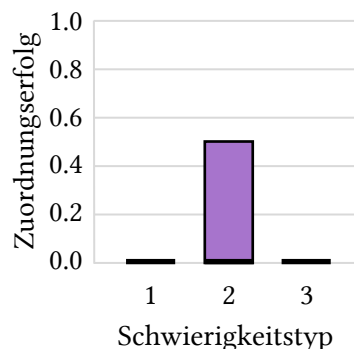
(j) Rechenaufgabengruppe 4K
($N_1 = 5$; $N_2 = 23$; $N_3 = 2$)



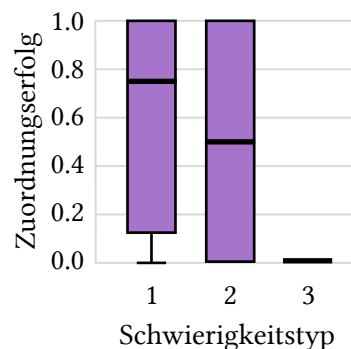
(k) Rechenaufgabengruppe 4B
($N_1 = 5$; $N_2 = 23$; $N_3 = 2$)



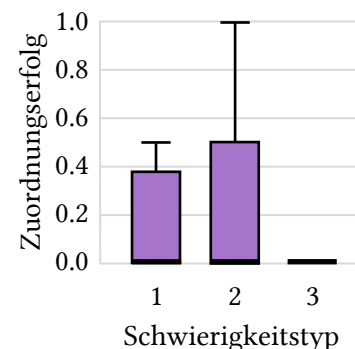
(l) Rechenaufgabengruppe 5EK
($N_1 = 4$; $N_2 = 19$; $N_3 = 1$)



(m) Rechenaufgabengruppe 5BK
($N_1 = 4$; $N_2 = 19$; $N_3 = 1$)



(n) Rechenaufgabengruppe 5BE
($N_1 = 4$; $N_2 = 19$; $N_3 = 1$)



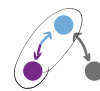
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu N_1 , N_2 , N_3 geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *Schwierigkeitstyp* 1, 2, 3 an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

Tabelle 6.8

Ergebnisse von Mann-Whitney-Tests zu Zuordnungserfolgen der Studierenden in den Clustern Schwierigkeitstyp 1 und Schwierigkeitstyp 2 bzgl. Schwierigkeiten beim Lösen von Rechenaufgaben

RAG	Md_1	Md_2	N_1	N_2	U	z	p	r
1E	.50	1.00	5	23	66.00	.558	.641	.12
1K	.50	.50	5	23	50.00	-.503	.684	-.10
1B	1.00	1.00	5	23	30.00	-1.913	.107	-.36
3E	.00	.00	5	23	76.50	1.273	.264	.24
3K	1.00	1.00	5	23	44.50	-.916	.447	-.17
3B	.67	.67	5	23	49.50	-.499	.641	-.09
4E	.00	.00	5	23	72.50	1.260	.380	.24
4K	1.00	1.00	5	23	42.00	-1.067	.380	-.20
4B	1.00	1.00	5	23	43.50	-.988	.413	-.19

Anmerkung. In der Tabelle wurde die Abkürzung „RAG“ für „Rechenaufgabengruppe“ genutzt. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppe setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu Md_1 und Md_2 geben den Median der Zuordnungserfolge je Rechenaufgabengruppe und N_1 und N_2 die Anzahl der Studierenden im Cluster zum Schwierigkeitstyp 1 bzw. 2 an, die die entsprechende Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.



Ergebnisse aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Schwierigkeitseinschätzung zur Identifikation von Lösungsansätzen.

An dieser Stelle werden die Zuordnungserfolge der Studierenden mit Blick auf Zusammenhänge zur Zustimmung oder Ablehnung der Aussage „Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass mir der passende Ansatz nicht einfällt.“ untersucht. Betrachtet werden zunächst die Boxplots in Abbildung 6.19. Die Boxen der Zuordnungserfolge zu Rechenaufgabengruppe 1K, 1B und 4K umfassen in beiden Clustern (Z: Zustimmung vs. A: Ablehnung der Aussage) Zuordnungserfolge von .50 bis 1.00. Die Zuordnungserfolge weisen in beiden Clustern zu den drei Rechenaufgabengruppen eine Spannweite von $SP_{1K, Z} = SP_{1K, A} = SP_{1B, Z} = SP_{1B, A} = SP_{4K, Z} = SP_{4K, A} = 1.00$ auf. Der Median der Zuordnungserfolge zur Rechenaufgabengruppe 1K und 4K beträgt jeweils $Md_{1K, Z} = Md_{1K, A} = Md_{4K, Z} = Md_{4K, A} = .50$ und zur Rechenaufgabengruppe 1B jeweils $Md_{1B, Z} = Md_{1B, A} = 1.00$. Zur Rechenaufgabengruppe 3K beträgt der Median zu beiden Clustern $Md_{3K, Z} = Md_{3K, A} = 1.00$. Die Boxen umfassen jeweils Zuordnungserfolge von .67 bis 1.00. Die Spannweite der Zuordnungserfolge ist im Cluster *Ablehnung* $SP_{3K, Z} = .33$. Im Cluster *Zustimmung* beträgt diese $SP_{3K, A} = 1.00$. Hier können die Zuordnungserfolge der Studierenden 9 und 26 (= .00) als Ausreißer gewertet werden. Die untere Antenne zum Cluster *Ablehnung* reicht bis .33. Die Boxen der Zuordnungserfolge zu Rechenaufgabengruppe 1E beinhalten Zuordnungserfolge zwischen .50 und 1.00. Der Median beträgt für Cluster *Ablehnung* $Md_{1E, A} = .50$ und für Cluster *Zustimmung* $Md_{1E, Z} = 1.00$. Die Spannweite der Zuordnungserfolge ist jeweils $SP_{1E, Z} = SP_{1E, A} = 1.00$. Die Boxen der Zuordnungserfolge zu Rechenaufgabengruppe 5BK beinhalten Zuordnungserfolge zwischen .00 und 1.00. Der Median beträgt für Cluster *Ablehnung* $Md_{1E, A} = .25$ und für Cluster *Zustimmung* $Md_{1E, Z} = .50$. Der Median der Zuordnungserfolge zu Rechenaufgabengruppe 4E beträgt für beide Cluster $Md_{4E, Z} = Md_{4E, A} = .00$. Die Box zu Cluster *Ablehnung* umfasst Zuordnungserfolge von .00 bis .50. In Cluster *Zustimmung* haben alle Studierenden einen Zuordnungserfolg von .00, entsprechend des Medians, erreicht. Die Spannweite beträgt in beiden Clustern $SP_{1E, Z} = SP_{1E, A} = 1.00$. In Cluster *Zustimmung* werden die Zuordnungserfolge der Studierenden 3, 5, 11, 13 und 25 mit Zuordnungserfolgen von .50 und 1.00 als Ausreißer gewertet. Zur Rechenaufgabengruppe 4B liegt der Median der Zuordnungserfolge für beide Cluster bei $Md_{4B, Z} = Md_{4B, A} = 1.00$. Die Boxen beinhalten für Cluster *Ablehnung* die Zuordnungserfolge .50 bis 1.00 und für Cluster *Zustimmung* die Zuordnungserfolge .00 bis 1.00. Die Spannweiten der Zuordnungserfolge beträgt für Cluster *Ablehnung* $SP_{4B, A} = .50$ und für Cluster *Zustimmung* $SP_{4B, Z} = 1.00$. Der Median der Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 5EK und 5BE beträgt für beide Cluster jeweils $Md_{5EK, Z} = Md_{5EK, A} = Md_{5BE, Z} = Md_{5BE, A} = .00$. Die Boxen zum Cluster *Ablehnung* umfassen jeweils Zuordnungserfolge zwischen .00 und .13 und zum Cluster *Zustimmung* Zuordnungserfolge von .00 bis .50. Zur Rechenaufgabengruppe 5EK beträgt die Spannweite zu beiden Clustern $SP_{5EK, Z} = SP_{5EK, A} = .50$, wobei der Zuordnungserfolg von Student*in 17 (= .50) im Cluster *Ablehnung* als Ausreißer gewertet wird. Zur Rechenaufgabengruppe 5BE beträgt die Spannweite zum Cluster *Ablehnung* $SP_{5BE, A} = .50$, wobei der Zuordnungserfolg von Student*in 29 (= .50) als Ausreißer gewertet wird. Die Spannweite zum Cluster *Zustimmung* ist $SP_{5BE, Z} = 1.00$. Zur Rechenaufgabengruppe 3E beinhaltet die Box zum Cluster *Ablehnung* Zuordnungserfolge zwischen .00 und .67, zum Cluster *Zustimmung* Zuordnungserfolge zwischen .00 und .33. Der Median der Zuordnungserfolge liegt im Cluster *Ablehnung* bei $Md_{3E, A} = .33$ und im Cluster *Zustimmung* bei $Md_{3E, Z} = .00$. Die Spannweite

beträgt im Cluster *Ablehnung* $SP_{3E, A} = .67$ und im Cluster *Zustimmung* $SP_{3E, Z} = 1.00$. Die Zuordnungserfolge ($=.00$) der Studierenden 3, 5 und 12 können als Ausreißer gewertet werden. Die obere Antenne reicht hier bis $.67$. Zur Rechenaufgabengruppe 3B umfasst die Box zum Cluster *Ablehnung* Zuordnungserfolge zwischen $.33$ und $.67$, zum Cluster *Zustimmung* Zuordnungserfolge zwischen $.33$ und 1.00 . Der Median der Zuordnungserfolge beträgt im Cluster *Ablehnung* $Md_{3B, A} = .33$ und im Cluster *Zustimmung* $Md_{3B, Z} = .67$. Die Spannweite beträgt im Cluster *Ablehnung* $SP_{3E, A} = .67$ und im Cluster *Zustimmung* $SP_{3E, Z} = 1.00$.

Zum Zuordnungserfolg der näher betrachteten Rechenaufgabengruppen ist festzustellen: Die Zuordnungserfolge der Studierenden, die zum Item „*Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass mir der passende Ansatz nicht einfällt.*“ zustimmen unterscheiden sich nicht signifikant von den Zuordnungserfolgen der Studierenden, die nicht zum Item zustimmen. Ergebnisse der Mann-Whitney-Tests sind je Rechenaufgabengruppe in Tabelle 6.9 aufgelistet.

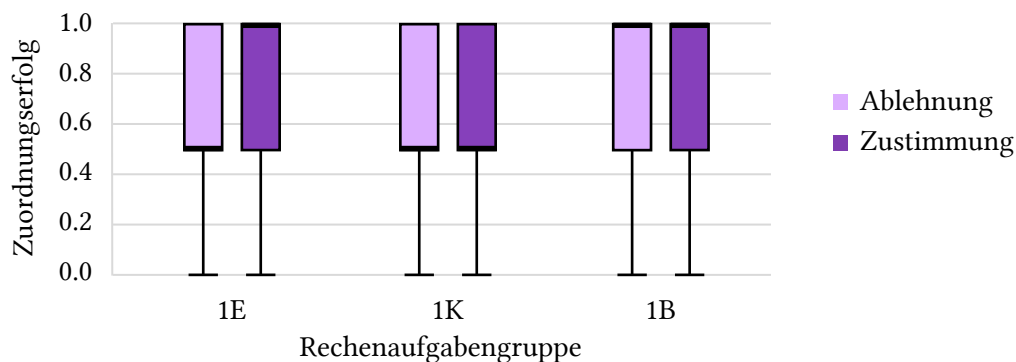
Diskussion

Aus der qualitativen Analyse der Boxplots in Abbildung 6.15 sowie Ergebnissen der Mann-Whitney-Tests gehen keine deutlichen bzw. statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Zuordnungserfolgen der Studierenden, die das Identifizieren von Lösungsansätzen als eine ihrer Schwierigkeiten beim Lösen von Rechenaufgaben identifizieren, und den Studierenden, die dies nicht tun, hervor. Die qualitative Analyse der Boxplots in Abbildung 6.15 und die Ergebnisse der Mann-Whitney-Tests (s. Tab. 6.9) zeigen erkennbare bzw. statistisch signifikante Unterschiede im Zuordnungserfolg zwischen Studierenden, die das Identifizieren von Lösungsansätzen als Schwierigkeit beim Lösen von Rechenaufgaben angeben, und denen, die das nicht tun. Einzig die p -Werte zu den Rechenaufgabengruppen 1E ($p_{1E} = .360$) und 3B ($p_{3B} = .077$) weisen darauf hin, dass eine Analyse mit einer größeren Probandengruppe ggf. signifikante Unterschiede aufdecken könnte. Die Betrachtung der Boxplots zu den Rechenaufgaben zeigt, dass Studierende, die das Finden eines Lösungsansatzes als eine Schwierigkeit beim Lösen von Rechenaufgaben sehen, in Teilen höhere Zuordnungserfolge erzielen könnten. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass Studierende mit einem höheren Expertisegrad einerseits höhere Zuordnungserfolge erzielen können. Andererseits könnten diese Studierenden auf Grundlage ihres Expertisegrades auch ggf. besser einschätzen, welche Aspekte beim Lösen von Rechenaufgaben bei ihnen potenziell zu Schwierigkeiten führen, und deshalb das Finden eines Lösungsansatzes als eine häufige Hürde / Schwierigkeit angeben. Diese Vermutung ist auf Grundlage der vorliegenden Daten jedoch nicht sinnvoll überprüfbar.

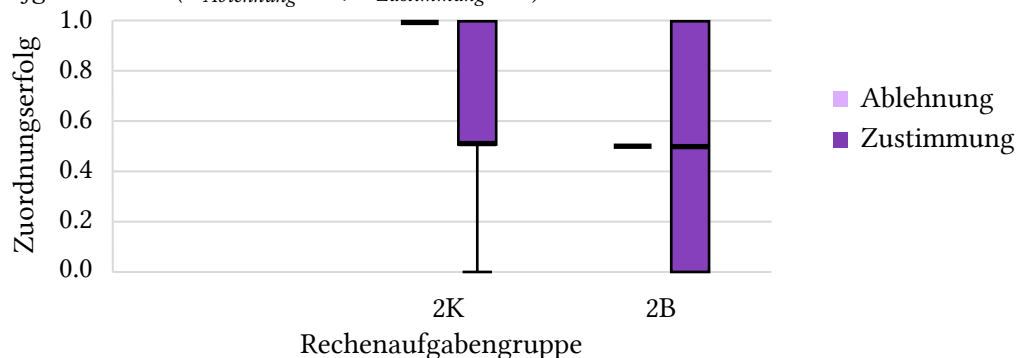
Abbildung 6.19

Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Studierenden, gruppiert nach Zustimmung / Ablehnung der Aussage „Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass mir der passende Ansatz nicht einfällt.“

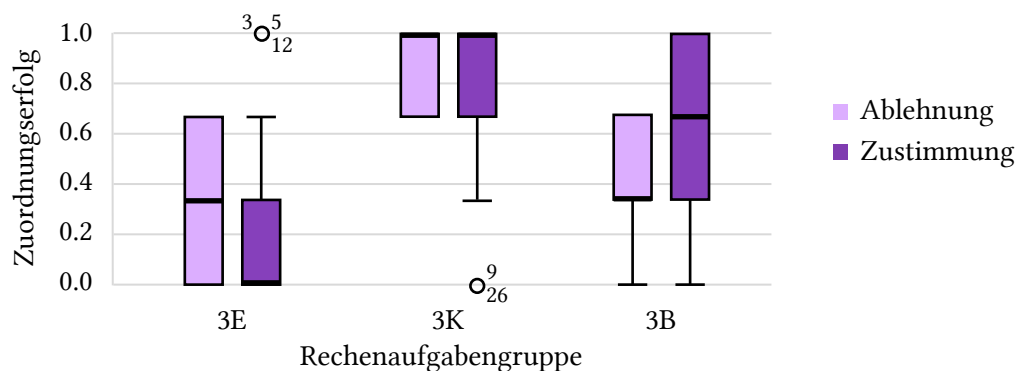
(a) Zu Aufgabensatz 1 ($N_{\text{Ablehnung}} = 7$; $N_{\text{Zustimmung}} = 23$)



(b) Zu Aufgabensatz 2 ($N_{\text{Ablehnung}} = 1$; $N_{\text{Zustimmung}} = 7$)



(c) Zu Aufgabensatz 3 ($N_{\text{Ablehnung}} = 7$; $N_{\text{Zustimmung}} = 23$)

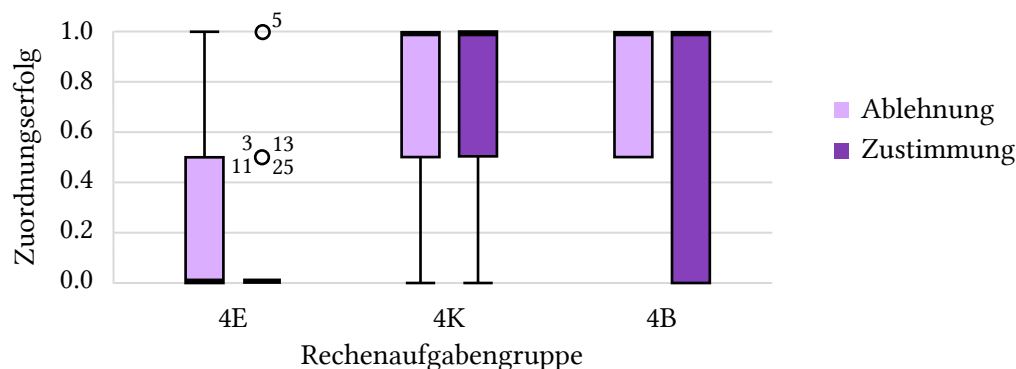


Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{\text{Ablehnung}}$, $N_{\text{Zustimmung}}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *Ablehnung*, *Zustimmung* bzgl. der oben genannten Aussage an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

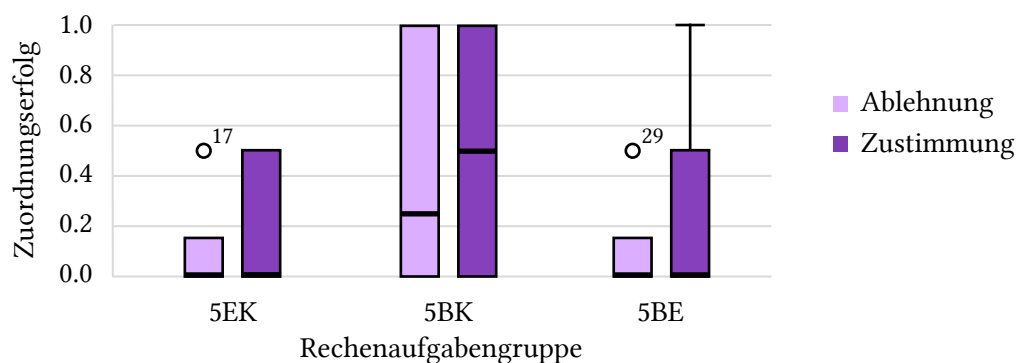
Abbildung 6.15

Zuordnungswahrscheinlichkeiten der Studierenden, gruppiert nach Zustimmung / Ablehnung der Aussage „Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass mir der passende Ansatz nicht einfällt.“ (Fortsetzung)

(d) Zu Aufgabensatz 4 ($N_{\text{Ablehnung}} = 7$; $N_{\text{Zustimmung}} = 23$)



(e) Zu Aufgabensatz 5 ($N_{\text{Ablehnung}} = 6$; $N_{\text{Zustimmung}} = 18$)



Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{\text{Ablehnung}}$, $N_{\text{Zustimmung}}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *Ablehnung*, *Zustimmung* bzgl. der oben genannten Aussage an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

Tabelle 6.9

Ergebnisse von Mann-Whitney-Tests zu Zuordnungserfolgen der Studierenden in unterschiedlichen Clustern bzgl. Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen

RAG	$Md_{Zustimmung}$	$Md_{Ablehnung}$	$N_{Zustimmung}$	$N_{Ablehnung}$	U	z	p	r
1E	.50	1.00	7	23	99.50	1.089	.360	.20
1K	.50	.50	7	23	77.50	-.165	.886	-.03
1B	1.00	1.00	7	23	70.00	-.607	.631	-.11
3E	.33	.00	7	23	70.50	-.539	.631	-.10
3K	1.00	1.00	7	23	71.50	-.529	.666	-.10
3B	.33	.67	7	23	116.50	1.838	.077	.34
4E	.00	.00	7	23	73.50	-.465	.737	-.08
4K	1.00	1.00	7	23	86.50	.344	.774	.06
4B	1.00	1.00	7	23	66.00	-.830	.501	-.15
5EK	.00	.00	6	18	60.00	.533	.721	.11
5BK	.25	.50	6	18	58.00	.285	.820	.06
5BE	.00	.00	6	18	64.00	.836	.537	.17

Anmerkung. In der Tabelle wurde die Abkürzung „RAG“ für „Rechenaufgabengruppe“ genutzt. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppe setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $Md_{Zustimmung}$ und $Md_{Ablehnung}$ geben den Median der Zuordnungserfolge und $N_{Zustimmung}$ und $N_{Ablehnung}$ die Anzahl der Studierenden je Rechenaufgabengruppe an, die die entsprechende Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben und der Aussage über Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen zustimmen bzw. ablehnen.

Ergebnisse aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Selbstwirksamkeitserwartung.

Im Folgenden werden die Zuordnungserfolge der Studierenden mit Blick auf Zusammenhänge zur Zustimmung zu den Selbstwirksamkeitsitems über das Identifizieren von Lösungsansätzen analysiert. Betrachtet werden zunächst die Boxplots in Abbildung 6.20. Auf eine vollständige Beschreibung der Lage der Boxen / Mediane / ... wird im aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Hierbei wird insb. auf die Beschreibung der Verteilungen zu Clustern mit einer Größe < 5 Studierenden verzichtet. Bei der Analyse der Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 1E, 1B, 4E, 5EK und 5BK fällt auf, dass die Mediane je Rechenaufgabengruppe für die Cluster (1E, 1B, 4E: *mäßig*, *hoch* und *sehr hoch*; 5EK, 5BK: *hoch* und *sehr hoch*) identisch sind. Zu Rechenaufgabengruppe 1E überlappen sich die Boxen über die Zuordnungserfolge der Cluster über mindestens .25 der Skala zum Zuordnungserfolg, zur Rechenaufgabengruppe 1B zu mindestens .50. Zu Rechenaufgabengruppe 4E überlappen die Boxen zu den Clustern *hoch* und *sehr hoch* ebenfalls zu .50 der Skala zum Zuordnungserfolg. Die Studierenden in Cluster *mäßig* haben ausschließlich Zuordnungserfolge entsprechend des Medians erreicht ($Md_{4E, \text{mäßig}} = .00$). In Cluster *sehr hoch* haben Studierende zu Rechenaufgabengruppe 5EK Zuordnungserfolge entsprechend des Medians ($Md_{5EK, \text{sehr hoch}} = .00$) oder eines höheren Wertes (.50) erreicht, welche als Ausreißer gewertet werden. Zu Rechenaufgabengruppe 5BK überlappen die Boxen zu den Clustern *hoch* und *sehr hoch* zu .75 der Skala zum Zuordnungserfolg. Der Median der



Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 1K, 3E, 3B, 4K und 5BE unterscheidet sich in den Clustern um maximal den Anteil einer zusätzlich angemessen zugeordneten Rechenaufgabe (Unterschied in 1K, 4K, 5BE: 50 % bzw. .50; 3E, 3B: 33 % bzw. .33). Die Boxen der Cluster über die Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 1K, 3B und 4K überlappen mindestens über .50 der Skala zum Zuordnungserfolg, zur Rechenaufgabengruppe 3E zu mindestens .25. Zu Rechenaufgabengruppe 5BE erreichen Studierende im Cluster *sehr hoch* ausschließlich Zuordnungserfolge entsprechend des Medians ($Md_{5BE, \text{sehr hoch}} = .00$) oder höhere Werte (.50 und 1.00), welche als Ausreißer gewertet werden. Der Median der Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 3K und 4B unterscheidet sich in den Clustern teilweise um mehr als den Anteil einer zusätzlich angemessen zugeordneten Rechenaufgabe (Unterschied in 3K: 67 % bzw. .67; 4B: 100 % bzw. 1.00). Zu Rechenaufgabengruppe 3K überlappen die Boxen zu den Zuordnungserfolgen von Studierenden in Cluster *mäßig* und *hoch* über .33 der Skala zum Zuordnungserfolg. Studierende im Cluster *sehr hoch* haben ausschließlich Zuordnungserfolge entsprechend des Medians ($Md_{3K, \text{sehr hoch}} = 1.00$) oder niedrigere Werte (.33 und .67), welche als Ausreißer gewertet werden, erreicht. Zu Rechenaufgabengruppe 4B überlappen die Boxen zu den Zuordnungserfolgen von Studierenden in Cluster *mäßig* und *hoch* über .50 der Skala zum Zuordnungserfolg. Studierende im Cluster *sehr hoch* haben ausschließlich Zuordnungserfolge entsprechend des Medians ($Md_{4B, \text{sehr hoch}} = 1.00$) oder niedrigere Werte (.00 und .50), welche als Ausreißer gewertet werden, erreicht.

Zum Zuordnungserfolg der detailliert betrachteten Rechenaufgabengruppen ist festzustellen, dass die Zuordnungserfolge der Studierenden sich nicht je nach Cluster zur Zustimmung zu den Selbstwirksamkeitserwartungssitems signifikant unterscheiden. Ergebnisse der Kruskal-Wallis-Tests sind je Rechenaufgabengruppe in Tabelle 6.10 aufgelistet.

Diskussion

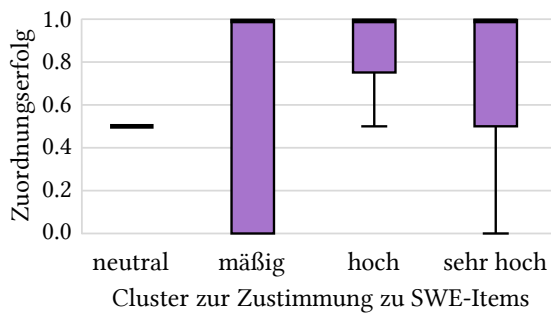
In drei der vier Cluster (*neutral*, *mäßig* und *hoch*) ist die Anzahl der Probanden sehr gering, was die Erkennung kleinerer, nicht zufällig auftretender Unterschiede zwischen diesen Gruppen erschwert. Größere Unterschiede sind auch qualitativ sowie auf statistischem Weg nicht beobachtbar. Eine Vergrößerung der Anzahl an Proband*innen und damit die Erhöhung der Anzahl je Cluster und / oder das Hinzufügen weiterer Hürden in der Formulierung von Items zur Selbstwirksamkeitserwartung und der damit ggf. eintretenden Umverteilung der Studierenden kann zum Aufdecken kleinerer Unterschiede beitragen, sofern die Selbstwirksamkeitserwartung zum Identifizieren von Lösungsansätzen in Zusammenhang mit dem Erfolg beim Identifizieren von Lösungsansätzen in Zusammenhang steht.

Abbildung 6.20

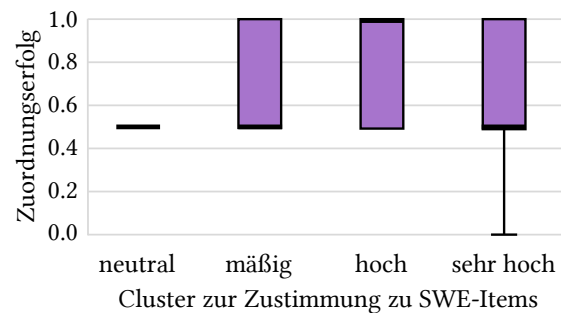
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. der Zustimmung zu den Selbstwirksamkeitserwartungs-Items

(a) Zu Rechenaufgabengruppe 1E

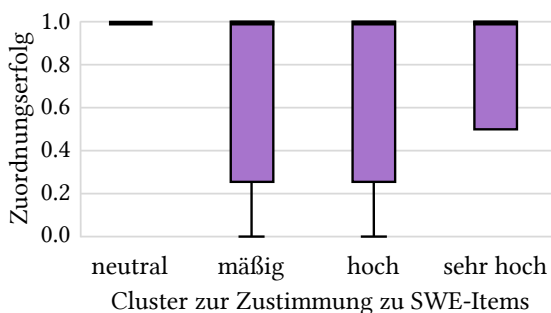
($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 5$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr\ hoch} = 19$)

**(b) Zu Rechenaufgabengruppe 1K**

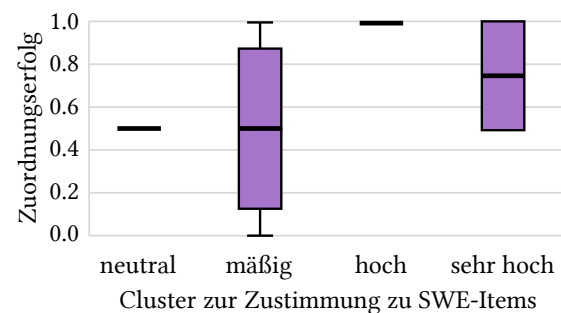
($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 5$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr\ hoch} = 19$)

**(c) Zu Rechenaufgabengruppe 1B**

($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 5$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr\ hoch} = 19$)

**(d) Zu Rechenaufgabengruppe 2K**

($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 4$; $N_{hoch} = 1$;
 $N_{sehr\ hoch} = 2$)



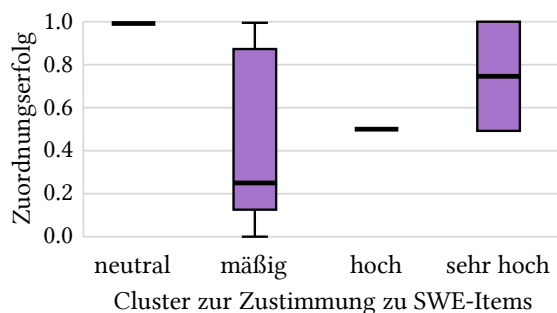
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{neutral}$, $N_{mäßig}$, N_{hoch} , $N_{sehr\ hoch}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *neutral*, *mäßig*, *hoch*, *sehr hoch* bzgl. der Zustimmung zum Selbstwirksamkeitserwartungs-Item an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben. Die Abkürzung SWE steht für Selbstwirksamkeitserwartung.

Abbildung 6.20

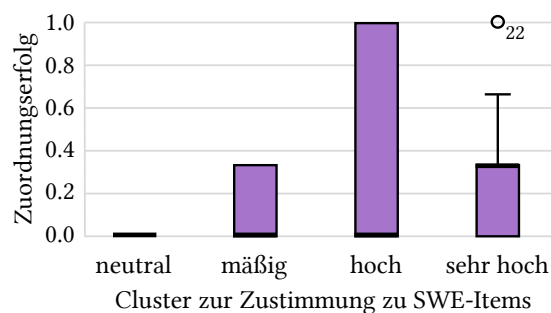
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. der Zustimmung zu den Selbstwirksamkeiterwartungs-Items (Fortsetzung)

(e) Zu Rechenaufgabengruppe 2B

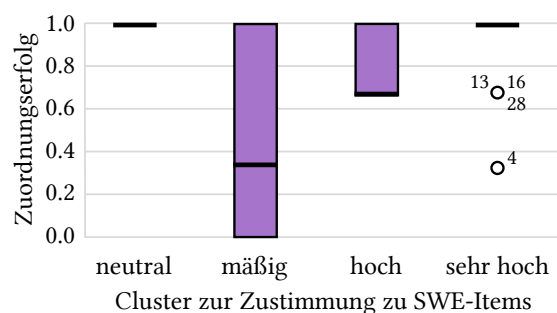
($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 4$; $N_{hoch} = 1$;
 $N_{sehr hoch} = 2$)

**(f) Zu Rechenaufgabengruppe 3E**

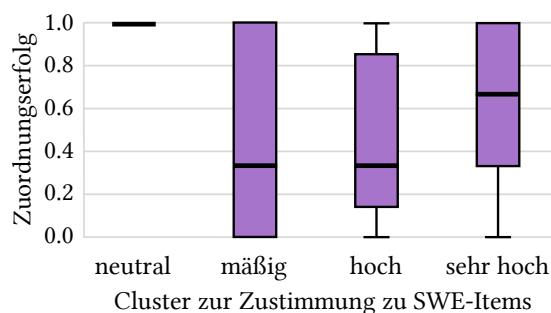
($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 5$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr hoch} = 19$)

**(g) Zu Rechenaufgabengruppe 3K**

($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 5$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr hoch} = 19$)

**(h) Zu Rechenaufgabengruppe 3B**

($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 5$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr hoch} = 19$)



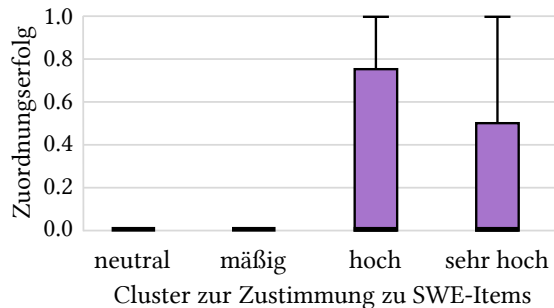
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{neutral}$, $N_{mäßig}$, N_{hoch} , $N_{sehr hoch}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *neutral*, *mäßig*, *hoch*, *sehr hoch* bzgl. der Zustimmung zum Selbstwirksamkeiterwartungs-Item an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben. Die Abkürzung SWE steht für Selbstwirksamkeitserwartung.

Abbildung 6.20

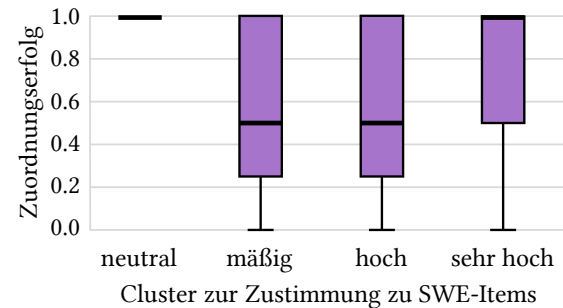
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. der Zustimmung zu den Selbstwirksamkeitserwartungs-Items (Fortsetzung)

(i) Zu Rechenaufgabengruppe 4E

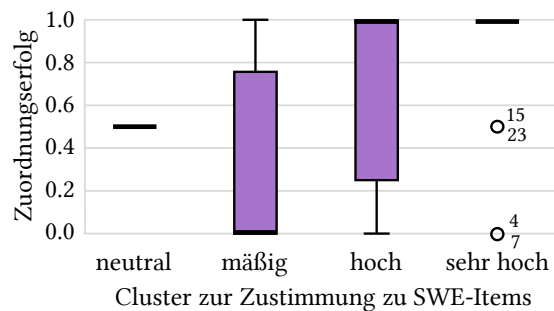
($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 5$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr\ hoch} = 19$)

**(j) Zu Rechenaufgabengruppe 4K**

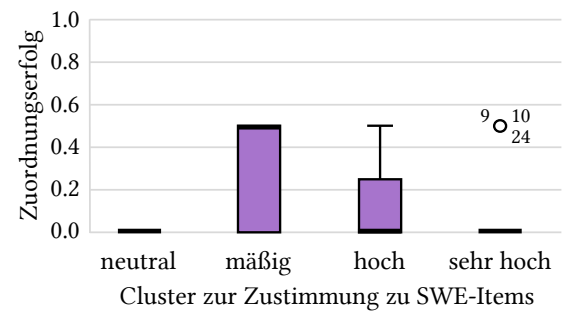
($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 5$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr\ hoch} = 19$)

**(k) Zu Rechenaufgabengruppe 4B**

($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 5$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr\ hoch} = 19$)

**(l) Zu Rechenaufgabengruppe 5EK**

($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 3$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr\ hoch} = 15$)



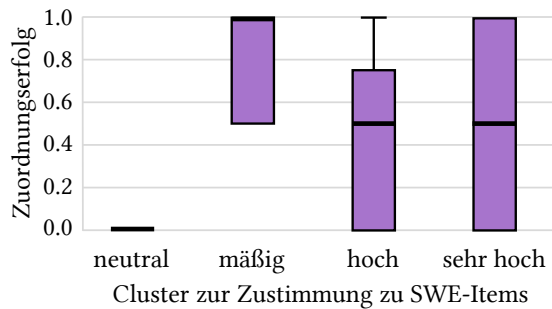
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{neutral}$, $N_{mäßig}$, N_{hoch} , $N_{sehr\ hoch}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *neutral*, *mäßig*, *hoch*, *sehr hoch* bzgl. der Zustimmung zum Selbstwirksamkeitserwartungs-Item an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben. Die Abkürzung SWE steht für Selbstwirksamkeitserwartung.

Abbildung 6.20

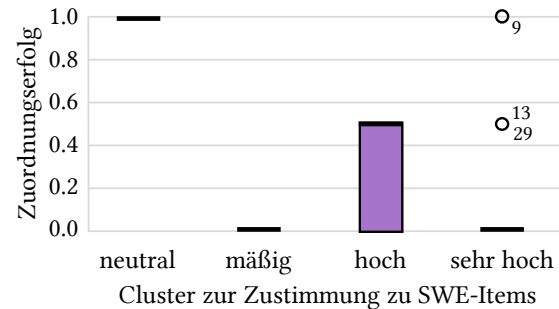
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. der Zustimmung zu den Selbstwirksamkeiterwartungs-Items (Fortsetzung)

(m) Zu Rechenaufgabengruppe 5BK

($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 3$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr hoch} = 15$)

**(n) Zu Rechenaufgabengruppe 5BE**

($N_{neutral} = 1$; $N_{mäßig} = 3$; $N_{hoch} = 5$;
 $N_{sehr hoch} = 15$)



Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{neutral}$, $N_{mäßig}$, N_{hoch} , $N_{sehr hoch}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *neutral*, *mäßig*, *hoch*, *sehr hoch* bzgl. der Zustimmung zum Selbstwirksamkeiterwartungs-Item an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben. Die Abkürzung SWE steht für Selbstwirksamkeitserwartung.

Tabelle 6.10

Ergebnisse von Kruskal-Wallis-Tests zu Zuordnungserfolgen der Studierenden in unterschiedlichen Clustern bzgl. der Selbstwirksamkeitserwartung zum Identifizieren von Lösungsansätzen

RAG	$Md_{\text{mäßig}}$	Md_{hoch}	$Md_{\text{sehr hoch}}$	$N_{\text{mäßig}}$	N_{hoch}	$N_{\text{sehr hoch}}$	$H(2)$	p
1E	.50	1.00	1.00	5	5	19	4.46	.216
1K	.50	1.00	.50	5	5	19	1.80	.614
1B	.50	1.00	.50	5	5	19	5.95	.114
3E	.33	.33	.00	5	5	19	3.39	.335
3K	1.00	1.00	1.00	5	5	19	5.14	.162
3B	.33	1.00	.67	5	5	19	4.74	.192
4E	.00	.50	.00	5	5	19	4.60	.204
4K	.50	1.00	1.00	5	5	19	4.69	.196
4B	1.00	1.00	1.00	5	5	19	3.75	.290
5EK	.00	.25	.00	3	5	15	1.85	.396
5BK	.50	.50	.50	3	5	15	.08	.963
5BE	.50	.25	.00	3	5	15	3.40	.182

Anmerkung. In der Tabelle wurde die Abkürzung „RAG“ für „Rechenaufgabengruppe“ genutzt. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppe setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $Md_{\text{Zustimmung}}$ und $Md_{\text{Ablehnung}}$ geben den Median der Zuordnungserfolge und $N_{\text{Zustimmung}}$ und $N_{\text{Ablehnung}}$ die Anzahl der Studierenden je Rechenaufgabengruppe an, die die entsprechende Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben und der Aussage über Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen zustimmen bzw. ablehnen.

Ergebnisse aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Fähigkeiten zur Mechanik. Im Folgenden werden die Zuordnungserfolge der Studierenden mit Blick auf Zusammenhänge zur Zugehörigkeit der Studierenden zu Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest untersucht. Betrachtet werden zunächst die Boxplots in Abbildung 6.21. Aufgrund der geringen Anzahl an Studierenden im Cluster *sehr niedrig* (1 – 2 Studierende je nach Rechenaufgabengruppe) wird dieser Cluster nicht weiter betrachtet. Zudem werden die Zuordnungserfolge der Studierenden zu den Rechenaufgabengruppen 2K und 2B aufgrund geringer Clustergrößen zu allen Clustern nicht in Vergleichen berücksichtigt. Auf eine vollständige Beschreibung der Boxplots wird hier verzichtet, da die Beschreibung von $12 \cdot 3 = 36$ Verteilungen zu einer zu großen Unübersichtlichkeit führen würde. Stattdessen werden nur Verteilungen von Zuordnungserfolgen zu Rechenaufgabengruppen beschrieben, in denen Boxen nicht oder nur wenig (< 20 % der Boxen) überlappen.



Zu Rechenaufgabengruppe 1E beinhalten die Boxen zu Cluster *niedrig* Zuordnungserfolge von .00 bis 1.00, zu Cluster *mittel-hoch* Zuordnungserfolge von .50 bis 1.00 und zu Cluster *sehr hoch* Zuordnungserfolge von .88 bis 1.00. Der Median der Zuordnungserfolge in Cluster *niedrig* beträgt $Md_{1E, \text{niedrig}} = .50$, in *mittel - hoch* sowie *sehr hoch* $Md_{1E, \text{mittel - hoch}} = Md_{1E, \text{sehr hoch}} = 1.00$. Die Spannweiten der Zuordnungserfolge betragen in Cluster *niedrig* $SP_{1E, \text{niedrig}} = 1.00$ und in Cluster *mittel - hoch* sowie *sehr hoch* $SP_{1E, \text{mittel - hoch}} = SP_{1E, \text{sehr hoch}} = .50$. Die Zuordnungserfolge von Student*in

21 und 27 (.50) in Cluster *sehr hoch* können als Ausreißer interpretiert werden. Die Boxen zu Rechenaufgabengruppe 3K umfassen zu Cluster *niedrig* Zuordnungserfolge von .33 bis 1.00, zu Cluster *mittel-hoch* Zuordnungserfolge von .67 bis 1.00 und zu Cluster *sehr hoch* Zuordnungserfolge von .92 bis 1.00. Der Median der Zuordnungserfolge in Cluster *niedrig*, *mittel - hoch* sowie *sehr hoch* beträgt $Md_{3K, \text{niedrig}} = Md_{3K, \text{mittel - hoch}} = Md_{3K, \text{sehr hoch}} = 1.00$. Die Spannweiten der Zuordnungserfolge betragen in Cluster *niedrig* $SP_{3K, \text{niedrig}} = .67$ und in Cluster *mittel - hoch* sowie *sehr hoch* $SP_{3K, \text{mittel - hoch}} = SP_{3K, \text{sehr hoch}} = .33$. Die Zuordnungserfolge von Student*in 13 und 24 (.67) in Cluster *sehr hoch* können als Ausreißer interpretiert werden. Zu Rechenaufgabengruppe 3B beinhalten die Boxen zu Cluster *niedrig* Zuordnungserfolge von .00 bis .67, zu Cluster *mittel-hoch* Zuordnungserfolge von .67 bis 1.00 und zu Cluster *sehr hoch* Zuordnungserfolge von .33 bis 1.00. Der Median der Zuordnungserfolge in Cluster *niedrig* beträgt $Md_{3B, \text{niedrig}} = .33$, in *mittel - hoch* $Md_{3B, \text{mittel - hoch}} = 1.00$ und in *sehr hoch* $Md_{3B, \text{sehr hoch}} = .67$. Die Spannweiten der Zuordnungserfolge betragen in Cluster *niedrig* und *sehr hoch* $SP_{3B, \text{niedrig}} = SP_{3B, \text{sehr hoch}} = 1.00$ und in Cluster *mittel - hoch* $SP_{3B, \text{mittel - hoch}} = .67$. Die Boxen zu Rechenaufgabengruppe 4E beinhalten zu Cluster *mittel - hoch* Zuordnungserfolge von .00 bis 1.00 und zu Cluster *sehr hoch* Zuordnungserfolge von .00 bis .50. In Cluster *niedrig* haben alle Studierende, außer Student*in 29 (Zuordnungserfolg: .50), einen Zuordnungserfolg von .00 erreicht. Der Zuordnungserfolg von Student*in 29 kann als Ausreißer gewertet werden. Der Median der Zuordnungserfolge liegt in allen Clustern bei $Md_{4E, \text{niedrig}} = Md_{4E, \text{mittel - hoch}} = Md_{4E, \text{sehr hoch}} = .00$. Die Spannweiten der Zuordnungserfolge betragen in Cluster *niedrig* und *sehr hoch* $SP_{4E, \text{niedrig}} = SP_{4E, \text{sehr hoch}} = .50$ und in Cluster *mittel - hoch* $SP_{4E, \text{mittel - hoch}} = 1.00$. Die Boxen zu Rechenaufgabengruppe 4K beinhalten zu Cluster *niedrig* Zuordnungserfolge von .00 bis 1.00 und zu Cluster *mittel - hoch* Zuordnungserfolge von .50 bis 1.00. In Cluster *sehr hoch* haben alle Studierende, außer Student*in 13 (Zuordnungserfolg: .50), einen Zuordnungserfolg von 1.00 erreicht. Der Zuordnungserfolg von Student*in 13 kann als Ausreißer gewertet werden. Der Median der Zuordnungserfolge ist in Cluster *niedrig* $Md_{4K, \text{niedrig}} = .50$ und in den beiden anderen Clustern $Md_{4K, \text{mittel - hoch}} = Md_{4K, \text{sehr hoch}} = 1.00$. Die Spannweite der Zuordnungserfolge liegt in Cluster *niedrig* bei $SP_{4K, \text{niedrig}} = 1.00$ und den Clustern *mittel - hoch* und *sehr hoch* bei $SP_{4K, \text{mittel - hoch}} = SP_{4K, \text{sehr hoch}} = .50$. Zu Rechenaufgabengruppe 5EK umfasst die Box zu Cluster *niedrig* Zuordnungserfolge von .00 bis .50. In Cluster *mittel-hoch* und *sehr hoch* erreichen alle Studierenden, außer Student*in 11 in Cluster *sehr hoch* (Zuordnungserfolg: .50), einen Zuordnungserfolg von .50. Der Zuordnungserfolg von Student*in 11 kann als Ausreißer gewertet werden. Der Median der Zuordnungserfolge in Cluster *niedrig* beträgt $Md_{5EK, \text{niedrig}} = .25$, in den Clustern *mittel - hoch* und *sehr hoch* ist der Median $Md_{5EK, \text{mittel - hoch}} = Md_{5EK, \text{sehr hoch}} = .00$. Die Spannweiten der Zuordnungserfolge betragen in Cluster *niedrig* und *sehr hoch* $SP_{5EK, \text{niedrig}} = SP_{5EK, \text{sehr hoch}} = .50$ und in Cluster *mittel - hoch* $SP_{5EK, \text{mittel - hoch}} = .00$.

Der Vergleich der Zuordnungserfolge der Studierenden zwischen den Clustern zum Score im Mechaniktest zeugt zu den Rechenaufgabengruppen 1E, 3B, 4K und 5EK signifikante oder nahezu signifikante Unterschiede (Teststatistiken der Kruskal-Wallis-Tests in Tab. 6.11). In paarweisen Vergleichen der Cluster sind zu Rechenaufgabengruppe 1E Unterschiede zwischen den Clustern *niedrig* und *sehr hoch* fast signifikant ($p_{1E, \text{niedrig vs. sehr hoch}} = .062$, $r_{1E, \text{niedrig vs. sehr hoch}} = .44$). Zu Rechenaufgabengruppe 3B sind Unterschiede zwischen den Clustern *niedrig* und *mittel - hoch* ebenfalls fast

signifikant ($p_{3B, \text{niedrig vs. mittel-hoch}} = .061$, $r_{3B, \text{niedrig vs. mittel-hoch}} = .44$). Unterschiede zwischen den Clustern *niedrig* und *sehr hoch* sind zu Rechenaufgabengruppe 4K signifikant ($p_{4K, \text{niedrig vs. sehr hoch}} = .007$, $r_{4K, \text{niedrig vs. sehr hoch}} = .58$). Zu Rechenaufgabengruppe 5EK sind Unterschiede zwischen den Clustern *niedrig* und *mittel-hoch* ebenfalls nahezu signifikant ($p_{5EK, \text{niedrig vs. mittel-hoch}} = .093$, $r_{5EK, \text{niedrig vs. mittel-hoch}} = -.46$).

Diskussion

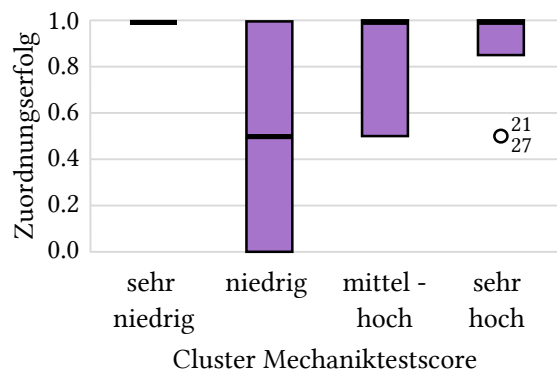
Aus Ergebnissen von Brandenburger (2016), Friege (2001) und Friege und Lind (2004) geht hervor, dass das physikalische Fachwissen von Studierenden positiv mit dem Erfolg beim Lösen von Rechenaufgaben korreliert. Es ist somit erwartbar, dass zum Identifizieren von Lösungsansätzen als Lösungsabschnitt zum Lösen von Rechenaufgaben ebenso positiv mit dem Verständnis von Konzepten der Mechanik in Zusammenhang steht. Auf einen solchen positiv gerichteten Zusammenhang weisen hier Ergebnisse zu den Rechenaufgabengruppen 1E, 1B, 3K und 4K hin. Zu diesen Rechenaufgabengruppen kann beobachtet werden: Je höher der Mechaniktestscore ist, den die Cluster beschreiben, desto eher beinhalten die Boxen im Boxplot nur hohe Zuordnungserfolge. Konträr zur Hypothese des positiv gerichteten Zusammenhangs steht die Position der Boxen zu den Rechenaufgabengruppen 3E und 5EK sowie in Teilen zu 3B, 4E und 5BE. Die Boxen zu 3E und 5EK beinhalten zu Clustern zu höheren Mechanikverständnissen verstärkter niedrige Zuordnungserfolge. Zu den Rechenaufgabengruppen 3B und 4E kann dies im Vergleich der Cluster *mittel-hoch* und *sehr hoch* sowie zu 5BE im Vergleich der Cluster *niedrig* und *mittel-hoch* beobachtet werden. Diese Unterschiede sind zum Teil statistisch signifikant (vgl. Tab. 6.11 und 6.12). Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung ist, dass parallel zum Zunehmen der fachinhaltlichen Expertise Erfahrungen beim Bearbeiten von Rechenaufgaben gemacht werden. Somit könnten Erfahrungen bei Studierenden mit höherer fachlicher Expertise einen stärkeren Einfluss auf den Prozess des Identifizierens von Lösungsansätzen haben. Zu erfahrungskonformen Rechenaufgaben könnte so effizienter ein Lösungsansatz gefunden werden. Bei nicht erwartungskonformen Rechenaufgaben könnte der Einfluss von Erfahrungen dagegen zu unangemessenen Entscheidungen bzgl. des Lösungsansatzes führen. Hinweise bzgl. der Tragbarkeit dieser Vermutung können Ergebnisse von Analysen zum qualitativen Zugang liefern, insb. mit Blick auf Begründungen zu Gruppierungen von Rechenaufgaben oder Vorstellungen über Lösungsansätze und deren Anwendung.

Abbildung 6.21

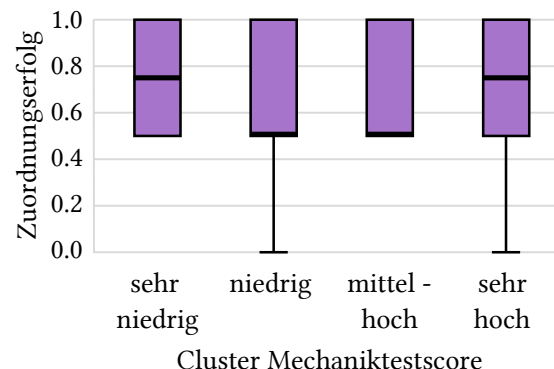
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest

(a) Zu Rechenaufgabengruppe 1E

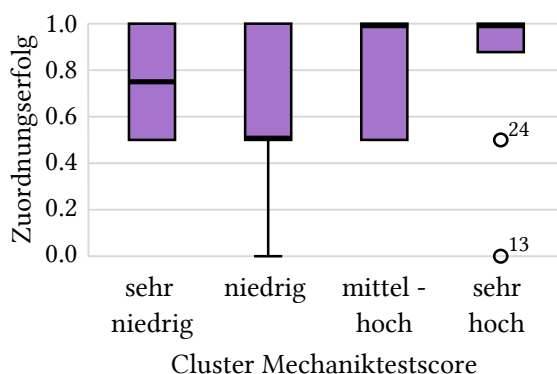
($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 11$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 10$)

**(b) Zu Rechenaufgabengruppe 1K**

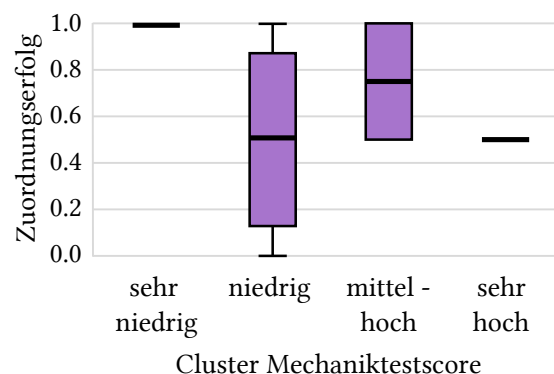
($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{mittel}} = 11$; $N_{\text{hoch}} = 7$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 10$)

**(c) Zu Rechenaufgabengruppe 1B**

($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 11$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 10$)

**(d) Zu Rechenaufgabengruppe 2K**

($N_{\text{sehr niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel}} = 4$; $N_{\text{hoch}} = 2$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 1$)



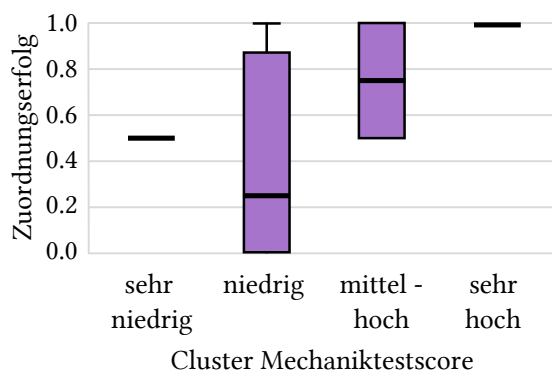
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{\text{sehr niedrig}}$, N_{niedrig} , $N_{\text{mittel-hoch}}$, $N_{\text{sehr hoch}}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *sehr niedrig*, *niedrig*, *mittel-hoch*, *sehr hoch* bzgl. des Scores im Mechaniktest an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

Abbildung 6.21

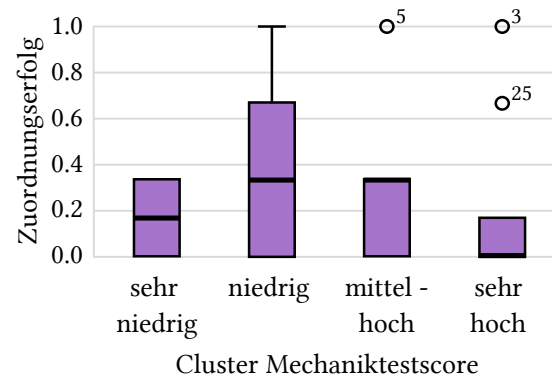
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest (Fortsetzung)

(e) Zu Rechenaufgabengruppe 2B

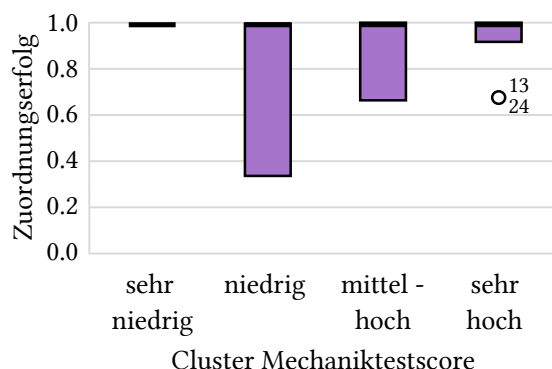
($N_{\text{sehr niedrig}} = 1$; $N_{\text{niedrig}} = 4$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 2$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 1$)

**(f) Zu Rechenaufgabengruppe 3E**

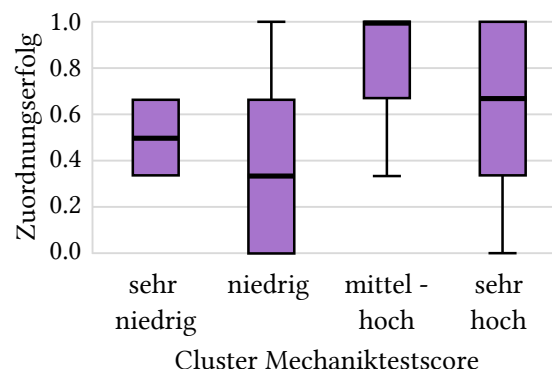
($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 11$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 10$)

**(g) Zu Rechenaufgabengruppe 3K**

($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 11$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 10$)

**(h) Zu Rechenaufgabengruppe 3B**

($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 11$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 10$)



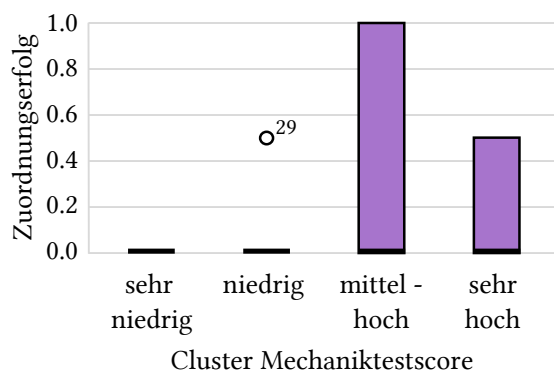
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{\text{sehr niedrig}}$, N_{niedrig} , $N_{\text{mittel-hoch}}$, $N_{\text{sehr hoch}}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *sehr niedrig*, *niedrig*, *mittel-hoch*, *sehr hoch* bzgl. des Scores im Mechaniktest an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

Abbildung 6.21

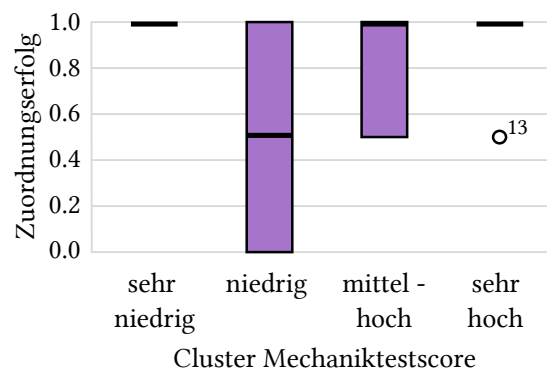
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest (Fortsetzung)

(i) Zu Rechenaufgabengruppe 4E

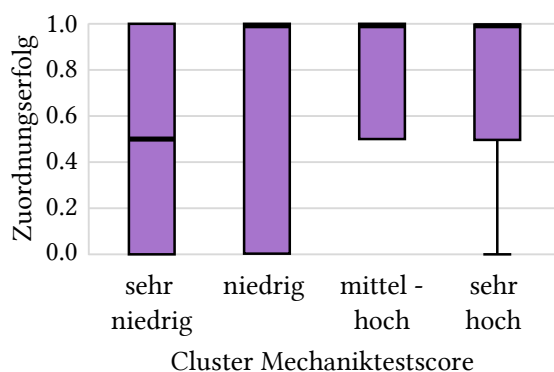
($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 11$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$; $N_{\text{sehr hoch}} = 10$)

**(j) Zu Rechenaufgabengruppe 4K**

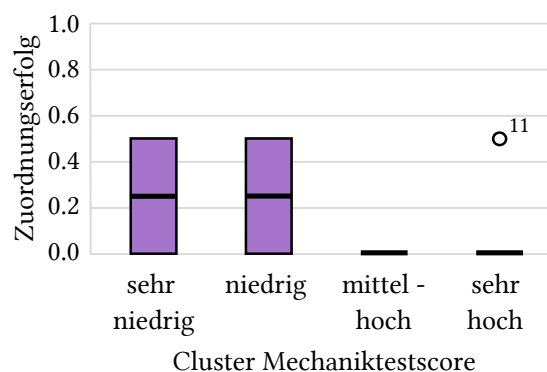
($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 11$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$; $N_{\text{sehr hoch}} = 10$)

**(k) Zu Rechenaufgabengruppe 4B**

($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 11$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$; $N_{\text{sehr hoch}} = 10$)

**(l) Zu Rechenaufgabengruppe 5EK**

($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 8$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 6$; $N_{\text{sehr hoch}} = 8$)



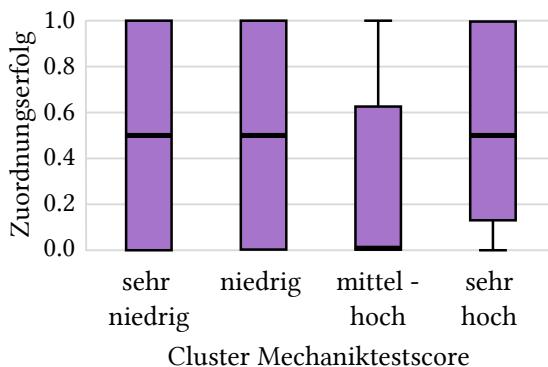
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{\text{sehr niedrig}}$, N_{niedrig} , $N_{\text{mittel-hoch}}$, $N_{\text{sehr hoch}}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *sehr niedrig*, *niedrig*, *mittel-hoch*, *sehr hoch* bzgl. des Scores im Mechaniktest an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

Abbildung 6.21

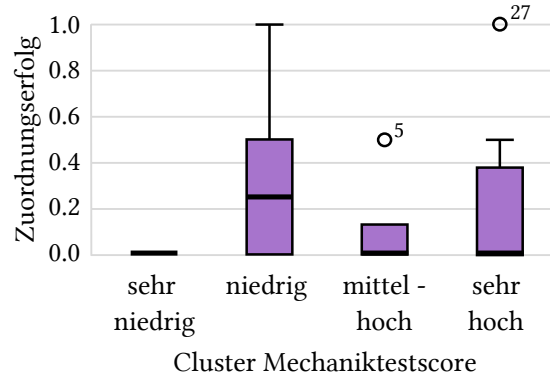
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest (Fortsetzung)

(m) Zu Rechenaufgabengruppe 5BK

($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 8$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 6$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 8$)

**(n) Zu Rechenaufgabengruppe 5BE**

($N_{\text{sehr niedrig}} = 2$; $N_{\text{niedrig}} = 8$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 6$;
 $N_{\text{sehr hoch}} = 8$)



Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $N_{\text{sehr niedrig}}$, N_{niedrig} , $N_{\text{mittel-hoch}}$, $N_{\text{sehr hoch}}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *sehr niedrig*, *niedrig*, *mittel-hoch*, *sehr hoch* bzgl. des Scores im Mechaniktest an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

Tabelle 6.11

Ergebnisse von Kruskal-Wallis-Tests zu Zuordnungserfolgen der Studierenden in unterschiedlichen Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest

RAG	Md_{niedrig}	$Md_{\text{mittel-hoch}}$	$Md_{\text{sehr hoch}}$	N_{niedrig}	$N_{\text{mittel-hoch}}$	$N_{\text{sehr hoch}}$	$H(2)$	p
1E	.50	1.00	1.00	11	7	10	6.12	.047
1K	.50	.50	.75	11	7	10	1.24	.538
1B	.50	1.00	1.00	11	7	10	2.47	.291
3E	.33	.33	.00	11	7	10	2.61	.272
3K	1.00	1.00	1.00	11	7	10	2.27	.322
3B	.33	1.00	.67	11	7	10	5.94	.051
4E	.00	.00	.00	11	7	10	2.54	.281
4K	.50	1.00	1.00	11	7	10	10.04	.007
4B	1.00	1.00	1.00	11	7	10	1.59	.453
5EK	.25	.00	.00	8	6	8	3.50	.068
5BK	.50	.00	.50	8	6	8	1.82	.371
5BE	.25	.00	.00	8	6	8	1.87	.394

Anmerkung. In der Tabelle wurde die Abkürzung „RAG“ für „Rechenaufgabengruppe“ genutzt. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppe setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $Md_{\text{Zustimmung}}$ und $Md_{\text{Ablehnung}}$ geben den Median der Zuordnungserfolge und $N_{\text{Zustimmung}}$ und $N_{\text{Ablehnung}}$ die Anzahl der Studierenden je Rechenaufgabengruppe an, die die entsprechende Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben und der Aussage über Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen zustimmen bzw. ablehnen.

Tabelle 6.12

Ergebnisse von paarweisen Vergleichen zu Zuordnungserfolgen der Studierenden in unterschiedlichen Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest

RAG	Cluster im Vergleich	p	r
1E	<i>niedrig</i> vs. <i>mittel-hoch</i>	.219	.34
1E	<i>mittel-hoch</i> vs. <i>sehr hoch</i>	1.00	.05
1E	<i>niedrig</i> vs. <i>sehr hoch</i>	.062	.44
3B	<i>niedrig</i> vs. <i>mittel-hoch</i>	.061	.44
3B	<i>mittel-hoch</i> vs. <i>sehr hoch</i>	1.00	-.15
3B	<i>niedrig</i> vs. <i>sehr hoch</i>	.282	.32
4K	<i>niedrig</i> vs. <i>mittel-hoch</i>	.105	.40
4K	<i>mittel-hoch</i> vs. <i>sehr hoch</i>	1.00	.12
4K	<i>niedrig</i> vs. <i>sehr hoch</i>	.007	.58
5EK	<i>niedrig</i> vs. <i>mittel-hoch</i>	.093	-.46
5EK	<i>mittel-hoch</i> vs. <i>sehr hoch</i>	1.00	.12
5EK	<i>niedrig</i> vs. <i>sehr hoch</i>	.241	-.37

Anmerkung. In der Tabelle wurde die Abkürzung „RAG“ für „Rechenaufgabengruppe“ genutzt. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppe setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $Md_{Zustimmung}$ und $Md_{Ablehnung}$ geben den Median der Zuordnungserfolge und $N_{Zustimmung}$ und $N_{Ablehnung}$ die Anzahl der Studierenden je Rechenaufgabengruppe an, die die entsprechende Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben und der Aussage über Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen zustimmen bzw. ablehnen.

Ergebnisse aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Mathematische Fähigkeiten.

Im Folgenden werden die Zuordnungserfolge der Studierenden mit Blick auf Zusammenhänge zur Zugehörigkeit der Studierenden zu Clustern bzgl. des Scores im Mathematiktest analysiert. Betrachtet werden zunächst die Boxplots in Abbildung 6.22. Aufgrund der geringen Anzahl an Studierenden im Cluster *niedrig* ($N_{niedrig} = 1$) wird dieser Cluster nicht weiter betrachtet. Zudem wird auf die Betrachtung der Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 2K und 2B aufgrund geringer Clustergrößen zu allen Clustern verzichtet.

Bei der Untersuchung der Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen 4E, 5EK, 5BK und 5BE fällt auf, dass die Mediane je Rechenaufgabengruppe für die Cluster (*mittel – hoch* und *sehr hoch*) identisch sind. Zu Rechenaufgabengruppe 5EK überlappen sich die Boxen über die Zuordnungserfolge der Cluster über .38 der Skala zum Zuordnungserfolg, zur Rechenaufgabengruppe 5BK über .50. Zu den Rechenaufgabengruppen 4E und 5BE haben die Studierenden im Cluster *sehr hoch* Zuordnungserfolge entsprechend des Medians ($Md_{4E, \text{sehr hoch}} = Md_{5BE, \text{sehr hoch}} = .00$) oder höhere Werte (.50 oder 1.00), welche als Ausreißer gewertet werden, erreicht. Zu den Rechenaufgabengruppen 1E, 1K, 1B, 3E, 3K und 3B unterscheiden sich jeweils die Mediane zu den Clustern um den Anteil einer zusätzlich angemessen zugeordneten Rechenaufgabe (1E, 1K, 1B: 50 % bzw. .50; 3E, 3B: 33 % bzw. .33). Boxen zum Zuordnungserfolg überlappen sich zu den Rechenaufgabengruppen 1E, 1K, 3E und 3B



jeweils über .25 bis .38 der Skala zum Zuordnungserfolg, zu den Rechenaufgabengruppen 1B und 3K über .13 bzw. .17 der Skala zum Zuordnungserfolg. Zu den Rechenaufgabengruppen 4K und 4B unterscheiden sich jeweils die Mediane zu den Clustern um mehr als den Anteil einer zusätzlich angemessen zugeordneten Rechenaufgabe. Die Boxen zum Zuordnungserfolg überlappen sich zur Rechenaufgabengruppe 4K über .13 bzw. zu 4B über .50 der Skala zum Zuordnungserfolg.

Die Analyse der Daten mithilfe eines Mann-Whitney-Tests je Rechenaufgabengruppe ergibt, dass sich die Zuordnungserfolge der Studierenden in den Clustern *mittel – hoch* und *sehr hoch* zu Rechenaufgabengruppe 1B ($U_{1B} = 132.00$, $z_{1B} = 2.738$, $p_{1B} = .018$), 3B ($U_{3B} = 128.50$, $z_{3B} = 2.265$, $p_{3B} = .028$) und 4K ($U_{4K} = 137.00$, $z_{4K} = 2.996$, $p_{4K} = .008$) signifikant unterscheiden. Diese Unterschiede stellen mittlere ($r_{3B} = .42$) bis große ($r_{1B} = .51$, $r_{4K} = .56$) Effekte dar (vgl. Field, 2018). Weitere Teststatistiken zu anderen Rechenaufgabengruppen sind in Tabelle 6.13 zu finden.

Diskussion

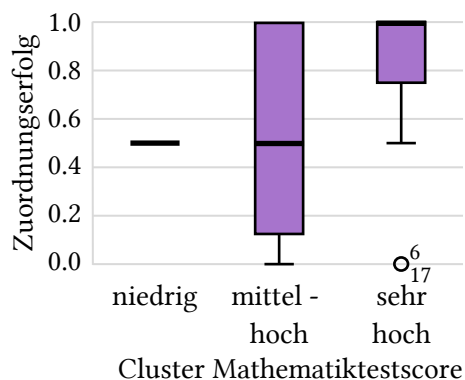
Ergebnisse von Brandenburger (2016) legen nahe, dass zumindest ein indirekter, positiver Zusammenhang zwischen mathematischen Fähigkeiten und dem Erfolg beim Lösen von Rechenaufgaben besteht. In Bezug auf das Identifizieren von Lösungsansätzen kann somit ein ähnlicher Zusammenhang erwartet werden. Die qualitative Betrachtung der Boxplots in Abbildung 6.22 sowie die Ergebnisse der Mann-Whitney-Tests in Tabelle 6.13 legen bzgl. der Rechenaufgabengruppen 1B, 3B, und 4K (sowie schwächer auch 1E, 3K und 4B) nahe, dass Studierende mit einem höheren Mechaniktestscore höhere Zuordnungserfolge erreichen können. Aufgrund der geringen Anzahl an Studierenden je Cluster ist jedoch nicht klar, ob diese Tendenz nur die genannten Rechenaufgabengruppen betrifft, oder ggf. in schwächerer Ausprägung bei einer größeren Probandenzahl auch zu anderen Rechenaufgabengruppen beobachtbar ist.

Abbildung 6.22

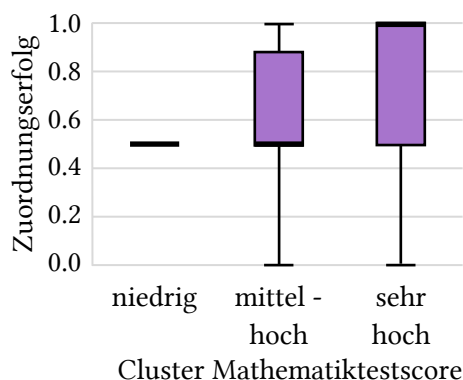
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. des Scores im Mathematiktest

(a) Zu Rechenaufgabengruppe 1E

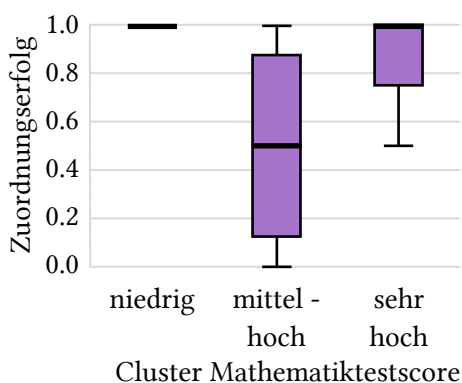
($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 8$; $N_{\text{sehr hoch}} = 21$)

**(b) Zu Rechenaufgabengruppe 1K**

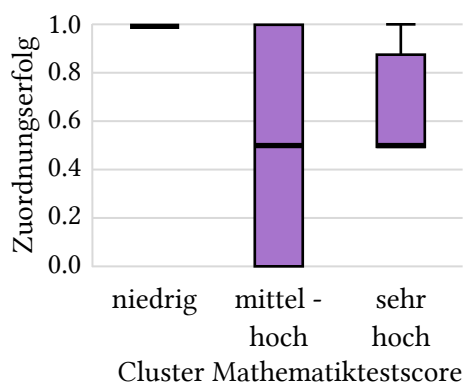
($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 8$; $N_{\text{sehr hoch}} = 21$)

**(c) Zu Rechenaufgabengruppe 1B**

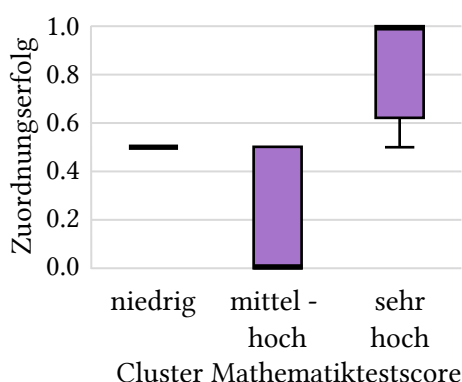
($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 8$; $N_{\text{sehr hoch}} = 21$)

**(d) Zu Rechenaufgabengruppe 2K**

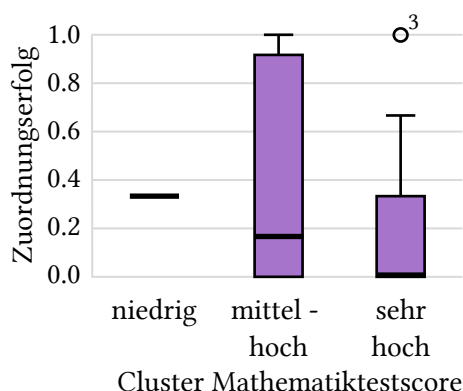
($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 3$; $N_{\text{sehr hoch}} = 4$)

**(e) Zu Rechenaufgabengruppe 2B**

($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 3$; $N_{\text{sehr hoch}} = 4$)

**(f) Zu Rechenaufgabengruppe 3E**

($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 8$; $N_{\text{sehr hoch}} = 21$)



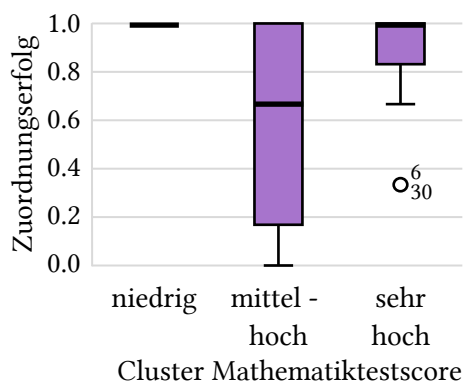
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu N_{niedrig} , $N_{\text{mittel-hoch}}$, $N_{\text{sehr hoch}}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *niedrig*, *mittel-hoch*, *sehr hoch* bzgl. des Scores im Mathematiktest an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

Abbildung 6.22

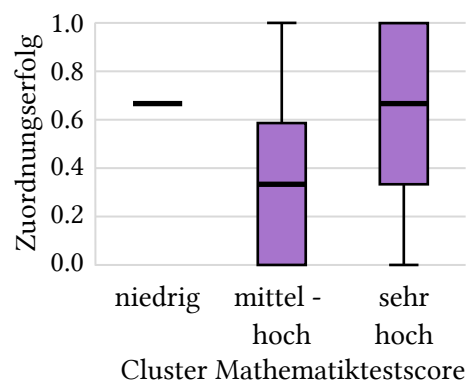
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. des Scores im Mathematiktest (Fortsetzung)

(g) Zu Rechenaufgabengruppe 3K

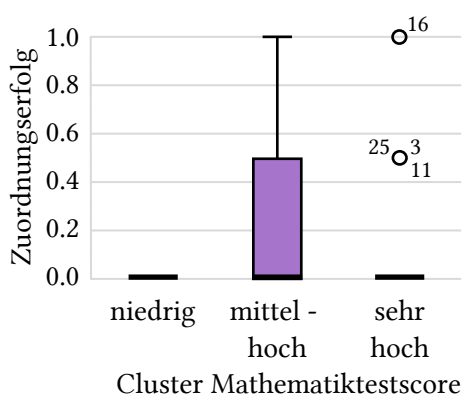
($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 8$; $N_{\text{sehr hoch}} = 21$)

**(h) Zu Rechenaufgabengruppe 3B**

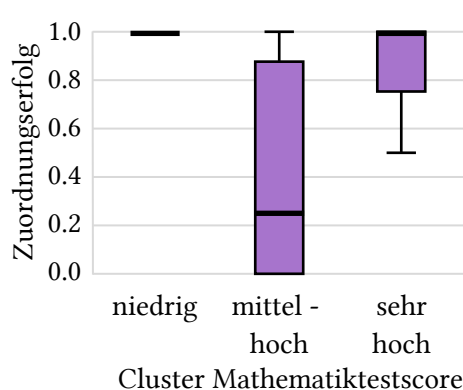
($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 8$; $N_{\text{sehr hoch}} = 21$)

**(i) Zu Rechenaufgabengruppe 4E**

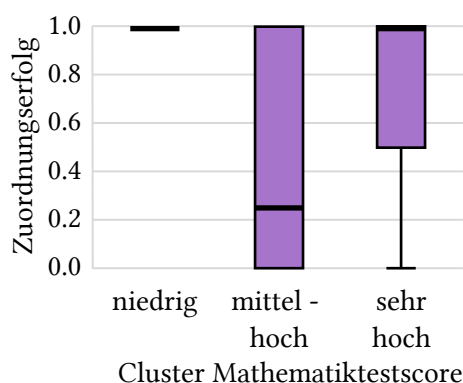
($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 8$; $N_{\text{sehr hoch}} = 21$)

**(j) Zu Rechenaufgabengruppe 4K**

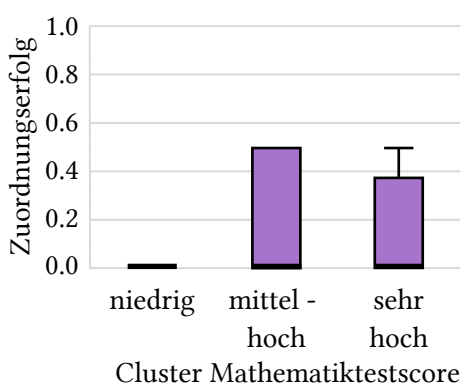
($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 8$; $N_{\text{sehr hoch}} = 21$)

**(k) Zu Rechenaufgabengruppe 4B**

($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 8$; $N_{\text{sehr hoch}} = 21$)

**(l) Zu Rechenaufgabengruppe 5EK**

($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$; $N_{\text{sehr hoch}} = 16$)



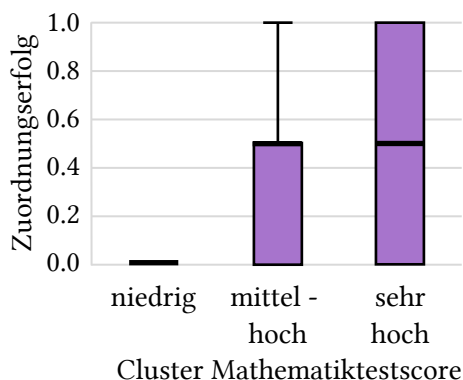
Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu N_{niedrig} , $N_{\text{mittel-hoch}}$, $N_{\text{sehr hoch}}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *niedrig*, *mittel-hoch*, *sehr hoch* bzgl. des Scores im Mathematiktest an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

Abbildung 6.22

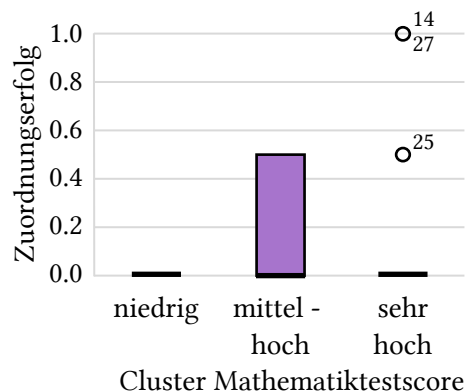
Boxplots über Zuordnungserfolge der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen, gruppiert in Clustern bzgl. des Scores im Mathematiktest (Fortsetzung)

(m) Zu Rechenaufgabengruppe 5BK

($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$; $N_{\text{sehr hoch}} = 16$)

**(n) Zu Rechenaufgabengruppe 5BE**

($N_{\text{niedrig}} = 1$; $N_{\text{mittel-hoch}} = 7$; $N_{\text{sehr hoch}} = 16$)



Anmerkung. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppen setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu N_{niedrig} , $N_{\text{mittel-hoch}}$, $N_{\text{sehr hoch}}$ geben je Rechenaufgabengruppe die Anzahl der Studierenden im Cluster *niedrig*, *mittel-hoch*, *sehr hoch* bzgl. des Scores im Mathematiktest an, die diese Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben.

Tabelle 6.13

Ergebnisse von Mann-Whitney-Tests zu Zuordnungserfolgen der Studierenden in unterschiedlichen Clustern bzgl. des Scores im Mathematiktest

RAG	$Md_{\text{mittel-hoch}}$	$Md_{\text{sehr hoch}}$	$N_{\text{mittel-hoch}}$	$N_{\text{sehr hoch}}$	U	z	p	r
1E	.50	1.00	8	21	116.50	1.885	.114	.35
1K	.50	.50	8	21	99.00	.815	.487	.15
1B	.50	1.00	8	21	132.00	2.738	.018	.51
3E	.17	.00	8	21	69.00	-.810	.487	-.15
3K	.67	1.00	8	21	118.50	1.998	.093	-.10
3B	.33	.67	8	21	128.50	2.265	.028	.42
4E	.00	.00	8	21	68.00	-1.045	.457	-.19
4K	.25	1.00	8	21	137.00	2.996	.008	.56
4B	.25	1.00	8	21	119.50	2.003	.083	.37
5EK	.00	.00	7	16	54.00	-.176	.922	-.04
5BK	.50	.50	7	16	68.00	.854	.452	.18
5BE	.50	.00	7	16	38.50	-1.446	.249	-.30

Anmerkung. In der Tabelle wurde die Abkürzung „RAG“ für „Rechenaufgabengruppe“ genutzt. Die Bezeichnung der Rechenaufgabengruppe setzt sich aus der Nummer des Aufgabensatzes und der Abkürzung des zur Lösung der zugehörigen Rechenaufgaben anzuwendenden Lösungsansatzes / der Lösungsansatzkombination zusammen (E: Energieansatz; K: Kraftansatz; B: Bewegungsansatz). Die Werte zu $Md_{\text{mittel-hoch}}$ und $Md_{\text{sehr hoch}}$ geben den Median der Zuordnungserfolge und $N_{\text{mittel-hoch}}$ und $N_{\text{sehr hoch}}$ die Anzahl der Studierenden je Rechenaufgabengruppe an, die die entsprechende Rechenaufgabengruppe Lösungsansätzen zugeordnet haben und der Aussage über Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen zustimmen bzw. ablehnen.



Ergebnisse aus der Zusammenhangsanalyse: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Im Folgenden wird der Erfolg der Studierenden beim Zuweisen von Rechenaufgaben bzgl. gleicher Aufgabenmerkmale zu Lösungsansätzen genauer betrachtet, wobei der Fokus auf Unterschieden des Erfolgs zwischen den Rechenaufgabengruppen liegt. Im Folgenden werden Ergebnisse der statistischen Analyse vorgestellt und abschließend diskutiert.

Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen Zuordnungserfolgen bzgl. kleinster Rechenaufgabengruppen und den Merkmalen der Rechenaufgaben(gruppen), wurde ein Friedman-Test durchgeführt, da die Daten die Voraussetzungen für die Durchführung einer ANOVA mit Messwiederholung nicht erfüllen. Bspw. sind die Differenzen der Zuordnungserfolge zwischen den Rechenaufgabengruppen nach dem Shapiro-Wilk-Test eher nicht normalverteilt. Nur in einem von 24 betrachteten Vergleichen (3B vs. 4B) kann von der Normalverteilung der Differenzen der Zuordnungserfolge ausgegangen werden ($p = .12$). Ergebnisse des Friedman-Tests legen nahe, dass signifikante Unterschiede bzgl. des Zuordnungserfolges der Studierenden zwischen den Rechenaufgaben vorliegen ($\chi^2(11) = 107.48$). Aus dem paarweisen Vergleich der Rechenaufgabengruppen bzgl. der Zuordnungserfolge geht hervor, dass nur einige der Vergleiche signifikante Unterschiede hervorbringen. Betrachtet werden nun diejenigen Vergleiche, die unter Einhaltung der Variablenkontrollstrategie durchgeführt werden. Eine Übersicht über die Richtungen, Effektstärken und Signifikanzen kann Abbildung 6.23 entnommen

werden. So werden Rechenaufgaben der Gruppe 3K signifikant erfolgreicher Lösungsansätzen zugeordnet als Rechenaufgaben der Gruppe 3E ($z_{3E \text{ vs. } 3K} = -4.60$, $p_{3E \text{ vs. } 3K} = .001$). Dieser Unterschied stellt mit $r_{3E \text{ vs. } 3K} = .94$ einen starken Effekt dar. Auch in Aufgabensatz 4 werden Kraftansatzaufgaben und hier zudem Bewegungsansatzaufgaben signifikant erfolgreicher einem Lösungsansatz zugeordnet als Energieansatzaufgaben ($z_{4E \text{ vs. } 4K} = -4.27$, $p_{4E \text{ vs. } 4K} = .003$; $z_{4E \text{ vs. } 4B} = 4.33$, $p_{4E \text{ vs. } 4B} = .002$). Beide Unterschiede stellen mit $r_{4E \text{ vs. } 4K} = .87$ und $r_{4E \text{ vs. } 4B} = .88$ starke Effekte dar. In Vergleichen innerhalb der Aufgabensätze können keine weiteren signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Über Aufgabensätze hinweg und unter Kontrolle der anzuwendenden Lösungsansätze fällt auf, dass Energieansatzaufgaben zu Aufgabensatz 1 (zweidimensionale „Rutsch“-Aufgaben zu beschleunigten Bewegungen) signifikant erfolgreicher als Energieansatzaufgaben zu Aufgabensatz 4 (zweidimensionale „Wurf“-Aufgaben zu beschleunigten Bewegungen) zu Lösungsansätzen zugeordnet werden ($z_{1E \text{ vs. } 4E} = -4.65$, $p_{1E \text{ vs. } 4E} = .001$). Zudem werden Kraft- und Bewegungsansatzaufgaben zu zweidimensionalen Würfeln mit auftretender Beschleunigung erfolgreicher zu Lösungsansätzen zugeordnet als kontextuell gleich geartete Rechenaufgaben, bei denen zusätzlich ein Energieansatz erkannt werden muss ($z_{4K \text{ vs. } 5EK} = -4.58$, $p_{4K \text{ vs. } 5EK} = .001$; $z_{4B \text{ vs. } 5BE} = -4.40$, $p_{4B \text{ vs. } 5BE} = .002$). Die beobachteten Effekte bzgl. dieser drei Vergleiche zwischen Aufgabensätzen sind groß ($r_{1E \text{ vs. } 4E} = .95$; $r_{4K \text{ vs. } 5EK} = .94$; $r_{4B \text{ vs. } 5BE} = .90$). Dagegen können zwischen Energieansatzaufgaben und kontextuell gleich gearteten Rechenaufgaben, bei denen zusätzlich ein Kraft- oder Bewegungsansatz erkannt werden muss, keine signifikanten Unterschiede und keine Effekte festgestellt werden ($z_{4E \text{ vs. } 5EK} = -.31$, $p_{4E \text{ vs. } 5EK} = 1.00$, $r_{4E \text{ vs. } 5EK} = .06$; $z_{4E \text{ vs. } 5BE} = .06$, $p_{4E \text{ vs. } 5BE} = 1.00$, $r_{4E \text{ vs. } 5BE} = .01$). Über Aufgabensätze hinweg können keine weiteren signifikanten Unterschiede festgestellt werden. In Tabelle 6.14 sind Werte aus den paarweisen Vergleichen zusammengefasst. Hier werden der Vollständigkeit halber auch Werte aus Vergleichen berichtet, die nicht gemäß der Variablenkontrollstrategie durchgeführt worden sind.

Abbildung 6.23

Unterschiede der Zuordnungserfolge bzgl. der Aufgabensätze und der kleinsten Rechenaufgabengruppen

Rechenaufgabengruppe	1E														
	1K	<													
	1B	≈	>												
	2K		?												
	2B			?	?										
	3E														
	3K						>>>								
	3B						>>	<<<							
	4E	<<<					<								
	4K		≈					<		>>					
	4B			≈					>	>>>	≈				
	5EK									≈	<<<				
	5BK										<<	<<	>>>		
	5BE									≈		<<<	≈	<<	
		1E	1K	1B	2K	2B	3E	3K	3B	4E	4K	4B	5EK	5BK	5BE
		Rechenaufgabengruppe													

Anmerkung.

- Die eingesetzten Symbole beschreiben die Effektstärken: „≈“: kein Effekt, $r < .10$; „<“, „>“: kleiner Effekt, $.10 \leq r < .30$; „<<“, „>>“: mittlerer Effekt, $.30 \leq r < .50$; „<<<“, „>>>“: starker Effekt, $.50 \leq r$ (Cohen, 1988)
- Eine dunkelgrüne Färbung beschreibt auf dem .001-Niveau und eine hellgrüne Färbung auf dem .01-Niveau einen signifikanten Effekt.
- Die Tabelle ist von links nach unten zu lesen. Für den ersten Eintrag oben links bedeutet dies bspw., dass die Zuordnungserfolge der Studierenden zu Kraftansatzaufgaben aus Aufgabensatz 1 tendenziell niedriger sind als zu Energieansatzaufgaben aus Aufgabensatz 1 („1K < 1E“). Dieser Unterschied ist nicht signifikant (weiße Färbung der Zelle) und stellt einen kleinen Effekt dar (Angabe eines einzelnen „<“).

Tabelle 6.14*Ergebnisse der paarweisen Vergleiche, inkl. berechneter Effektstärken*

Rechenaufgabengruppe X vs. Y	$z_{X \text{ vs. } Y}$	$p_{\text{angepasst}, X \text{ vs. } Y}$	$r_{X \text{ vs. } Y}$
1E vs. 1K	-0.79	1	0.16
1E vs. 1B	-0.15	1	0.03
1K vs. 1B	-0.65	1	0.13
3E vs. 3K	-4.60	0.001	0.94
3E vs. 3B	-2.04	1	0.42
3K vs. 3B	-2.56	0.912	0.52
4E vs. 4K	-4.27	0.003	0.87
4E vs. 4B	4.33	0.002	0.88
4K vs. 4B	0.06	1	0.01
5EK vs. 5BK	2.50	1	0.51
5EK vs. 5BE	0.25	1	0.05
5BK vs. 5BE	-2.25	1	0.46
1E vs. 4E	-4.65	0.001	0.95
1K vs. 4K	-0.42	1	0.09
1B vs. 4B	0.17	1	0.03
3E vs. 4E	-0.90	1	0.18
3K vs. 4K	-1.23	1	0.25
3B vs. 4B	1.40	1	0.28
4E vs. 5EK	-0.31	1	0.06
4E vs. 5BE	.06	1	0.01
4K vs. 5EK	-4.58	0.001	0.94
4K vs. 5BK	2.08	1	0.43
4B vs. 5BK	2.15	1	0.44
4B vs. 5BE	-4.40	0.002	0.90
1E vs. 3E	-3.75	0.021	0.77
1E vs. 3K	-0.85	1	0.17
1E vs. 3B	-1.71	1	0.35
1E vs. 4K	-0.38	1	0.08
1E vs. 4B	0.31	1	0.06
1E vs. 5EK	-4.96	0	1.01
1E vs. 5BK	2.46	1	0.50
1E vs. 5BE	4.71	0	0.96
1K vs. 3E	-2.96	0.296	0.60
1K vs. 3K	-1.65	1	0.34
1K vs. 3B	-0.92	1	0.19
1K vs. 4E	-3.85	0.014	0.79
1K vs. 4B	0.48	1	0.10
1K vs. 5EK	-4.17	0.004	0.85
1K vs. 5BK	1.67	1	0.34
1K vs. 5BE	3.92	0.011	0.80

Tabelle 6.14

Ergebnisse der paarweisen Vergleiche an Rechenaufgabengruppen, inkl. berechneter Effektstärken (Fortsetzung)

Rechenaufgabengruppe X vs. Y	$z_{X \text{ vs. } Y}$	$p_{\text{angepasst}, X \text{ vs. } Y}$	$r_{X \text{ vs. } Y}$
1B vs. 3E	-3.60	0.035	0.74
1B vs. 3K	-1.00	1	0.20
1B vs. 3B	-1.56	1	0.32
1B vs. 4E	-4.50	0.001	0.92
1B vs. 4K	-0.23	1	0.05
1B vs. 5EK	-4.81	0	0.98
1B vs. 5BK	2.31	1	0.47
1B vs. 5BE	4.56	0.001	0.93
3E vs. 4K	-3.38	0.078	0.69
3E vs. 4B	3.44	.063	0.70
3E vs. 5EK	-1.21	1	.25
3E vs. 5BK	1.29	1	.26
3E vs. 5BE	.96	1	.20
3K vs. 4B	1.17	1	.24
3K vs. 4E	-5.50	.00	1.12
3K vs. 5EK	-5.81	.00	1.19
3K vs. 5BK	3.31	.10	.68
3K vs. 5BE	5.56	.00	1.14
3B vs. 4E	-2.94	.315	.60
3B vs. 4K	-1.33	1	.27
3B vs. 5EK	-3.25	.118	.66
3B vs. 5BK	.75	1	.15
3B vs. 5BE	3.00	.261	.61
4E vs. 5BK	2.19	1	.45
4K vs. 5BE	4.33	.002	.88
4B vs. 5EK	-4.65	.001	.95

Diskussion

Die Signifikanz der Unterschiede nach dem Friedman-Test legt nahe, wie oben beschrieben, dass die Zuordnungserfolge der Studierenden je nach Kontext bzw. Oberflächenkriterien und notwendigem Lösungsansatz bzw. Tiefenstrukturmerkmal verschieden ausfallen. Es ist jedoch zu beachten, dass für jede Rechenaufgabengruppe lediglich zwei bis drei Rechenaufgaben zusammengefasst worden sind, somit könnten alle Rechenaufgaben der Rechenaufgabengruppen zufällig leichter / schwieriger ausfallen. Zur Prüfung dieser Eventualität könnte die Studie mit einer größeren Anzahl an Rechenaufgaben je Rechenaufgabengruppe erneut durchgeführt werden. Darüber hinaus könnten die Rechenaufgaben innerhalb von Rechenaufgabengruppen unterschiedlich anspruchsvoll bzgl. der Zuordnung zu Lösungsansätzen sein, falls nicht alle schwierigkeiterzeugenden Aufgabenmerkmale für die Gestaltung des Erhebungsinstrumentes identifiziert worden sein sollten. Ergebnisse über die Zusammenfassbarkeit der Rechenaufgaben in diese Rechenaufgabengruppen durch die Betrachtung der Zuordnungswahrscheinlichkeit (s. Kapitel 6.2.2) bestätigen dies jedoch nicht. Für die folgende

Diskussion soll daher davon ausgegangen werden, dass die Rechenaufgaben repräsentativ für die entsprechende Rechenaufgabengruppen sind.

Der Hauptbefund bzgl. der Zusammenhangsanalyse ist, dass Rechenaufgaben zu Würfeln signifikant weniger erfolgreich einem Lösungsansatz zugeordnet werden, wenn der Energieansatz im Vergleich zu einem Kraft- oder Bewegungsansatz als Lösungsansatz erkannt werden muss. Möglicherweise stellt der Energieansatz keinen „typischen“ – also in Lehrbüchern oder Vorlesungen in den Fokus genommenen – Lösungsansatz für Wurfaufgaben dar, sodass dessen Anwendung für Studierende nicht naheliegend erscheint. Die aus zeitlichen Gründen leider entfallene Auswertung der zur Gruppierung von Rechenaufgaben durchgeführten Interviews im qualitativen Zugang (s. Kapitel 4.2) könnte Hinweise bzgl. dieser oder weiterer Ursachen liefern.

Ein weiterer Befund ist, dass wenn in Wurfaufgaben zusätzlich zu einem Kraft- oder Bewegungsansatz ein Energieansatz erkannt werden muss, der Lösungserfolg signifikant geringer ist als wenn nur ein Kraft- oder Bewegungsansatz erkannt werden muss. Umgekehrt ist der Zuordnungserfolg jedoch nicht signifikant niedriger, wenn zusätzlich zu einem Energieansatz auch ein Kraft- oder Bewegungsansatz erkannt werden muss. Es wäre somit erwartbar, dass Rechenaufgaben, die zu zwei Lösungsansätzen zugeordnet werden sollen, erfolgreicher zu Lösungsansätzen zugeordnet werden können, wenn eine Kombination aus Kraft- und Bewegungsansatz (also kein Energieansatz) erkannt werden muss. Zwar zeigt sich dies auf Grundlage der Effektstärken, die Unterschiede zu den anderen beiden Rechenaufgabengruppen werden jedoch nicht signifikant. Ursache hierfür könnte einerseits sein, dass die Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen in Aufgabensatz 5 grundsätzlich eher niedrig sind. Zudem kann es durch das Rangverfahren im Friedmantest und der geringen Anzahl an verschiedenen Aufprägungen zu den Lösungserfolgen der Rechenaufgabengruppen (z. B. .00, .50, 1.00 in den Rechenaufgabengruppen 1E, 1K, 1B, 4E, 4K, 4B, 5EK, 5BK, 5BE) zum stärkeren „Verrauschen“ der Daten kommen. Die niedrige Ausprägung des Zuordnungserfolges ist hier durch die erhöhte Komplexität des Identifizierens von zwei Lösungsansätzen erklärbar. Können zwei beliebige Lösungsansätze A und B in Rechenaufgaben, in denen nur ein Lösungsansatz identifiziert werden muss, jeweils nicht stabil vollständig durchdacht und elaboriert werden, führt die kombinierte bzw. hintereinander durchzuführende Anwendung wahrscheinlich erst Recht zu Schwierigkeiten. Für weitere Untersuchungen kann es somit sinnvoll sein, eine andere Stichprobe zu wählen. Hier könnte neben der Erhöhung der Zahl Proband*innen auch die Erweiterung der Proband*innengruppe auf expertenähnliche Personengruppen (verstärkt Masterstudierende höheren Semesters, Übungsleiter*innen, Doktorand*innen, ...) in Betracht gezogen werden, um dem Bodeneffekt entgegenzuwirken. Sollte dies gelingen, könnte bei Erfüllung weiterer Voraussetzungen auch ein Verfahren mit höherer Teststärke angewendet werden (ANOVA mit Messwiederholung, Field, 2018). Des Weiteren könnte eine größere Anzahl an Rechenaufgaben eingesetzt werden, um dem „Verrauschen“ bei Anwendung des Friedmantests entgegenzuwirken.

Der Gesamtbefund, dass die Zuordnung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen vom jeweils als Tiefenmerkmal unterliegenden Lösungsansatz abhängt, steht im Einklang damit, dass auch Brandenburger (2016) aus Ergebnissen zu ihrem Problemlösetest unterschiedliche „Stufen der Problemlösefähigkeit“ herausarbeitet, welche sich u. a. auf die fachinhaltlich-thematischen Bereiche („Energie“, „Kinematik“, Brandenburger, 2016, S. 230) und somit auf eine Tiefenstruktur beziehen.

6.2.4 Ergebnisse zur Häufigkeit ausgewählter Lösungsansätze bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen

Im Folgenden wird genauer beleuchtet, *welche* Lösungsansätze die Studierenden ausgewählt haben, sodass die bisherige Sicht auf Schwierigkeiten der Studierenden beim Identifizieren von Lösungsansätzen erweitert wird. Rechenaufgaben mit identischen Aufgabenmerkmalen in Oberflächen- und Tiefenstruktur werden in Rechenaufgabengruppen (vgl. Kapitel 4.1.2) gebündelt betrachtet.



Ergebnisse aus der Zusammenhangsanalyse: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Unter Betrachtung der Anteile ausgewählter Lösungsansätze je Rechenaufgabengruppe scheinen bestimmte Lösungsansätze im Vergleich zu den intendierten Lösungsansätzen von den Studierenden häufiger ausgewählt zu werden (vgl. Tab. 6.15). Besonders deutlich tritt diese Abweichung bzgl. der Rechenaufgabengruppen 3E, 4E und 5EK auf. Hier wurden in 41 % bis 57 % aller Zuordnungen statt einem Energieansatz ein Bewegungsansatz ausgewählt. In 46 % der Zuordnung von 5BE-Rechenaufgaben wurde nur ein Bewegungsansatz, und kein Energieansatz zugewiesen. Umgekehrt wurde selten statt einem Bewegungsansatz ein Energieansatz gewählt (in 2B: 13%; in 3B: 11%; in anderen Gruppen: 2 % – 5 % der Zuordnungen). Auch BE-Rechenaufgaben wurden nur zu 2 % einem reinen Energieansatz ohne Bewegungsansatz zugeordnet. Häufiger wurde jedoch ein Bewegungs- statt einem Kraftansatz in entsprechenden Rechenaufgaben zugewiesen (in 1K: 22 %; in 2K: 13 %; in 3K: 6 %; in 4K: 12 %; in 5EK: 13 %; 5BK: 0 % der Zuordnungen). Die Wahl eines Kraftansatzes statt eines Bewegungsansatzes erfolgt mit 4 % – 8 % bzgl. der entsprechenden Rechenaufgabengruppen dagegen seltener. Die Wahl von Energie- statt einem Kraftansatz und umgekehrt ist nur bei Zuordnungen innerhalb der Rechenaufgabengruppen 5BE (Kraft- statt Energieansatz: 23 %) und 5BK (Energie- statt Kraftansatz: 13 %) häufiger zu beobachten. In anderen Rechenaufgabengruppen tritt diese „Verwechslung“ nur in bis zu 8 % der Zuordnungen auf. Abschließend fällt besonders die in 27 % der Fälle auftretende alleinige Zuweisung von 5BK-Rechenaufgaben zum Bewegungsansatz (ohne zusätzlichem Kraftansatz) und die in 19 % der Zuordnungen von 5EK-Rechenaufgaben auftretende alleinige Zuweisung zum Bewegungsansatz auf. Die Anteile weiterer unangemessener sowie angemessener Zuordnungen gehen aus Tabelle 6.15 hervor.

Diskussion

Die gehäufte Zuordnung von Rechenaufgaben, in denen eine Wurf-Situation dargestellt ist und die einen Energieansatz erfordern, zum Bewegungsansatz ist im Fall der im Rahmen dieser Studie eingesetzten Rechenaufgaben nicht falsch. Die Anwendung eines Bewegungsansatzes wäre jedoch etwas umständlicher. Dennoch ist es sinnvoll, nicht nur einen fachinhaltlich nicht falschen, sondern auch einen Lösungsansatz mit möglichst einfachem bzw. kurzem Lösungsweg erkennen zu können. So kann mit dem Aufbau fachinhaltlicher Kompetenzen im Rahmen des Studiums argumentiert werden, zu dem auch die hinreichend umfangreiche Kenntnis von Konzepten und die Fähigkeit zum Anwenden dieser Konzepte für spezifische (Aufgaben-)Situationen gehören kann (z. B. Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP), 2010). Zudem kann das Identifizieren von zielführenden Lösungsansätzen mit einfachen bzw. kurzen Lösungswegen den Studierenden bspw. in Klausuren Zeit sparen und die Menge an Fehlerquellen reduzieren. Wieso Rechenaufgaben zu Würfeln, die einen Energieansatz

Tabelle 6.15*Anteile der Zuweisungen innerhalb von Rechenaufgabengruppen zu Lösungsansätzen*

Rechenaufgaben- gruppe	Zuordnung zu								Anzahl Zuordnungen
	E	K	B	EK	BK	BE	BEK	„“	
1 E	.75	.03	.08	.10	.00	.03	.00	.00	60
	.02	.63	.22	.02	.05	.03	.02	.02	60
	.03	.05	.78	.02	.07	.02	.03	.00	60
2 K	.00	.63	.13	.06	.06	.13	.00	.00	16
	.13	.06	.56	.06	.13	.00	.06	.00	16
3 E	.26	.06	.41	.00	.09	.17	.02	.00	90
	.01	.82	.06	.07	.01	.00	.01	.02	90
	.11	.08	.59	.03	.07	.07	.03	.02	90
4 E	.15	.08	.57	.02	.13	.03	.02	.00	60
	.00	.75	.12	.03	.08	.00	.02	.00	60
	.05	.05	.72	.00	.15	.03	.00	.00	60
5 EK	.02	.00	.19	.13	.46	.13	.06	.02	48
	.00	.00	.27	.04	.46	.13	.06	.04	48
	.02	.04	.46	.06	.23	.19	.00	.00	48

Anmerkung. Die grau dargestellten Zellen markieren die Anteile angemessener Zuordnungen und die grünen Zellen die Anteile vergleichsweise häufig getroffener unangemessene Zuordnungen. Je dunkler der Grünton hierbei ist, desto höher ist der Anteil an Zuordnungen in dieser Zelle (10 – 19%: hellgrün, 20 – 39%: mittelgrün, > 39%: dunkelgrün).

erfordern, häufig zum Bewegungsansatz zugeordnet werden, kann vielfältige Ursachen haben. In der Oberflächenstruktur können diese Rechenaufgaben sehr ähnlich erscheinen, da in Energie- als auch Bewegungsansatzaufgaben oft Beschleunigungen und Strecken bzw. Höhen thematisiert werden. Auf der Ebene der Oberflächenstruktur ist somit nicht unbedingt erkennbar, ob ein Energie- oder Bewegungsansatz (effizienter) anwendbar ist. Findet zudem im Rahmen von Unterricht, Vorlesungen, Rechenübungen oder anderen Lernanlässen primär eine Auseinandersetzung mit Wurfaufgaben in Verbindung mit einem Bewegungsansatz statt (z. B. zum Zeit-Weg- und Zeit-Geschwindigkeits-Gesetz), ist es möglich, dass Studierende ggf. ein Konzept ähnlich zu „Immer, wenn in Rechenaufgaben Beschleunigungen und Strecken bzw. Höhen thematisiert werden, muss ein Bewegungsansatz angewendet werden.“ aufbauen. Bei folgenden, oberflächlich ähnlichen Rechenaufgaben scheint es dann wahrscheinlich, dass dieses Konzept rekonstruiert / aktiviert wird und ohne weitere Reflexion auch bei Rechenaufgaben angewandt wird, die effizienter mit einem Energieansatz gelöst werden könnten. Für diese Interpretation spricht, dass selten ein Energieansatz statt einem Bewegungsansatz gewählt wurde. Es scheint somit, als würde kein unsystematisches „Vertauschen“ der beiden Lösungsansätze stattfinden, sondern „nur“ Energieansatzaufgaben als Bewegungsansatzaufgaben interpretiert werden. Anzumerken ist jedoch, dass eine umgekehrte Interpretation (Bewegungsansatzaufgaben als Energieansatzaufgaben) bei den in der Studie eingesetzten Rechenaufgaben unangemessen gewesen wäre, da hier entweder eine Zeit bestimmt oder aber verarbeitet werden musste. Es gab somit aber ein zusätzliches, oberflächliches Erkennungsmerkmal in der Aufgabenbeschreibung oder der Fra-

gestellung. Unklar ist an dieser Stelle jedoch, ob sich die Studierenden tatsächlich in einer solchen Weise von Oberflächenmerkmalen der Rechenaufgaben ähnlich wie Novizen in (Chi, Feltovich & Glaser, 1981) leiten lassen. Auch hier sei auf eine mögliche Auswertungen der Interviews aus dem qualitativen Zugang (s. Kapitel 4.2) verwiesen.

Die häufige Zuordnung von Energieansatzaufgaben zu dem weniger effizienten aber zielführenden Bewegungsansatz zeigt, dass einerseits der Begriff der „Angemessenheit“ von Zuordnungen stärker hinterfragt werden sollte. In folgenden Studien könnten bspw. die zu Beginn des Kapitels 5.2 genannten extremen Definitionen sowie dazwischen anzusiedelnde Definitionen für die Angemessenheit von Zuordnungen sowie deren Einfluss auf die Ergebnisse dieser Studie genauer beleuchtet werden. Andererseits wird an der beobachteten Präferenz deutlich, dass eine rein dichotome Bewertung von Zuordnungen zu Lösungsansätzen oder allgemein von Leistungen den Fähigkeiten der Lernenden nicht gerecht werden kann und eine erweiterte Auswertung sinnvoll wäre.

Die häufige Tendenz, bei Rechenaufgaben einiger Rechenaufgabengruppen einen (hier nicht zielführenden) Bewegungs- statt eines Kraftansatzes zu wählen, lässt sich u. a. erneut über Merkmale in der Oberflächenstruktur der betroffenen Rechenaufgaben erklären. In Rechenaufgaben dieser Studie, die einen Kraftansatz erfordern, spielen häufig Beschleunigungen eine Rolle. Diese kommen auch in Verbindung mit dem Bewegungsansatz bzw. dem Zeit-Weg-Gesetz vor. Formeln zum Kraftansatz, insb. zum zweiten Newtonschen Axiom, beinhalten allerdings häufig zusätzlich eine Masse. In Kraftansatzaufgaben der Studie konnte jedoch auf Angaben zu Massen von Objekten verzichtet werden, da sich diese im Lösungsweg herauskürzen würden. Somit könnte für die Studierenden ein typisches Erkennungsmerkmal „Masse gegeben“ fehlen, wodurch Kraftansatzaufgaben häufiger einem Bewegungsansatz zugeordnet worden sein könnten, aber nicht umgekehrt. Gleiches könnte ursächlich für die häufige Zuordnung von BK-Rechenaufgaben zum Bewegungsansatz sein, sodass Elemente der Rechenaufgaben, die einen Kraftansatz erfordern, nicht erkannt werden. Eine weitere mögliche Ursache, weswegen Kraftansatzrechenaufgaben teilweise einem Bewegungsansatz zugeordnet worden sind, kann darin liegen, dass die Studierenden die Lösungsansätze trotz gegebener Definition anders als intendiert verstehen. Dadurch, dass sich die Massen beim Lösen der Kraftansatzrechenaufgaben in dieser Studie stets herauskürzen, können gewissermaßen Beschleunigungen bilanziert werden. Dies könnte zu Verwirrungen geführt haben, weswegen die Studierenden ggf. einen Kraftansatz ausgeschlossen haben. An dieser Stelle sei auf die nicht in dieser Arbeit vollzogene Analyse der erhobenen Interviewdaten verwiesen. Ergebnisse dieser Analyse können Einblicke in die Vorstellungen von Studierenden u. a. zum Kraftansatz sowie zu Merkmalen liefern, an denen sich Studierende für die Zuordnung der Rechenaufgaben orientieren.

Die Verwechslung von Energie- und Kraftansatz in den Rechenaufgabengruppen 5BE und 5BK könnte bspw. durch das vergleichsweise sichere Erkennen der Notwendigkeit eines Bewegungsansatzes und das anschließende Raten eines weiteren Ansatzes¹ herbeigeführt worden sein.

Die vergleichsweise häufig getätigte Zuordnung von 5EK-Rechenaufgaben zum Bewegungsansatz könnte durch die Überlagerung zweier Effekte zustande kommen: Einerseits werden Energieansatz-

¹Den Studierenden wurde in der Aufgabenstellung mitgeteilt, dass mehrere Lösungsansätze zum Lösen der Rechenaufgaben angewendet werden müssen.

aufgaben nicht als solche, sondern als Bewegungsansatzaufgaben interpretiert und andererseits wird die Notwendigkeit eines Kraftansatzes (z. B. wegen Ähnlichkeiten der gegebenen Größen zu Bewegungsansatzaufgaben) nicht erkannt.

Ergebnisse aus der Zusammenhangsanalyse: Zuordnungen – Aufgaben- und Personenmerkmale. Ergänzend zur Betrachtung der Anteile an Zuweisungen von Rechenaufgaben aus den einzelnen Rechenaufgabengruppen zu den verschiedenen Lösungsansätzen (vgl. Tab. 6.15) wird im Folgenden beschrieben, inwiefern sich diese Anteile abhängig vom Cluster der Studierenden bzgl. des Mechaniktestscores unterscheiden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur Anteile $\geq 10\%$ im Text oder in Klammern berichtet. Zudem werden keine Anteile von Clustern berichtet, bei denen die Clustergröße 5 Personen unterschreitet. Nicht berichtete Anteile können jedoch der angehängten Tabelle (Tab. 6.16) entnommen werden.



Zu Rechenaufgabengruppe 1E zeigt sich, dass sich der Anteil der angemessenen Zuordnungen zum Energieansatz von Cluster „niedrig“ (.50), „mittel–hoch“ (.86) und „sehr hoch“ (.90) unterscheidet. Studierende des Clusters „niedrig“ haben statt des Energieansatzes häufig einen Bewegungsansatz (.18) oder die Lösungsansatzkombination Bewegungs- und Kraftansatz (.23) gewählt.

Auch bei Rechenaufgaben der Gruppe 1K ist zu beobachten, dass sich der Anteil angemessener Zuordnungen zum Kraftansatz vom Cluster „niedrig“ (.55), „mittel–hoch“ (.64) und „sehr hoch“ (.70) unterscheidet. Studierende aller Cluster wählen am häufigsten statt einem Kraftansatz einen Bewegungsansatz. Der Anteil an Zuordnungen durch Studierenden in Cluster „niedrig“ (.27) fällt dabei am höchsten aus. Die Anteile an Zuordnungen durch Studierenden im Cluster „sehr hoch“ (.20) und im Cluster „mittel–hoch“ (.14) sind niedriger.

Zuordnungen von Rechenaufgaben der Rechenaufgabengruppe 1B bestehen zu 68 % aller Zuordnungen von Studierenden im Clusters „niedrig“ aus angemessenen Zuordnungen – also Zuordnungen zum Bewegungsansatz. Dieser Anteil ist bei Studierenden des Clusters „mittel–hoch“ (.86) und „sehr hoch“ (.85) höher. Statt des Bewegungsansatzes haben Studierende des Clusters „niedrig“ diverse andere Lösungsansätze und deren Kombinationen ausgewählt. Die Anteile übersteigen dabei jeweils nicht die 10 %-Marke. Studierende aus den Clustern „mittel–hoch“ und „sehr hoch“ wählten am häufigsten statt des Bewegungsansatzes eine Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz (.14 bzw. .10).

Die Rechenaufgabengruppen 2K und 2B werden wegen der geringen Clustergrößen aller Cluster nicht weiter betrachtet.

33 % der Zuordnungen von Rechenaufgaben der Rechenaufgabengruppe 3E durch Studierende im Cluster „niedrig“ sind angemessene Zuordnungen zum Energieansatz. Die Anteile dieser angemessenen Zuordnungen unterscheiden sich zwischen den Cluster „niedrig“, „mittel–hoch“ und „sehr hoch“. Besonders häufig wählen Studierende aus allen Clustern statt des Energieansatzes einen Bewegungsansatz (.27; .48; .50). Studierende im Cluster „niedrig“ haben des Weiteren häufig eine Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz (.21) oder einen Kraftansatz (.12) gewählt. Studierende im Cluster „mittel–hoch“ und „sehr hoch“ wählten dagegen häufig eine Kombination aus Bewegungs-

und Energieansatz (.19 bzw. .27).

Zu Rechenaufgabengruppe 3K zeigt sich, dass der Anteil an angemessenen Zuordnungen der Rechenaufgaben zum Kraftansatz von Cluster „niedrig“, Cluster „mittel–hoch“ und Cluster „sehr hoch“ unterschiedlich ist (.70; .82; .93). Studierende im Cluster „niedrig“ wählten häufig statt eines Kraftansatzes eine Kombination aus Energie- und Kraftansatz (.15) und Studierende im Cluster „mittel–hoch“ einen Bewegungsansatz (.14).

Zuordnungen von Rechenaufgaben der Rechenaufgabengruppe 3B durch Studierende im Cluster „niedrig“ sind zu 39 %, durch Studierende im Cluster „mittel–hoch“ sind zu 81 %, durch Studierende im Cluster „sehr hoch“ sind zu 67 % angemessene Zuordnungen zu einem Bewegungsansatz. Studierende im Cluster „niedrig“ wählten häufig statt eines Bewegungsansatzes einen Energieansatz (.18), einen Kraftansatz (.15) oder eine Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz (.12). 10 % der Zuordnungen von 3B-Rechenaufgaben durch Studierenden im Cluster „mittel–hoch“ erfolgen zum Energieansatz. Zuordnungen dieser Rechenaufgaben durch Studierenden im Cluster „sehr hoch“ sind zu 13 % Zuordnungen zu einer Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz.

Zu Rechenaufgabensatz 4E zeigt sich, dass Zuordnungen durch Studierende im Cluster „mittel–hoch“ zu 29 % und durch Studierende im Cluster „sehr hoch“ zu 20 % angemessene Zuordnungen zum Energieansatz sind. Am häufigsten wählten Studierende in den Clustern „niedrig“, „mittel–hoch“ und „sehr hoch“ einen Bewegungsansatz (.68; .57; .50). Studierende im Cluster „niedrig“ und „sehr hoch“ wählten des Weiteren häufig eine Kombination aus Kraft- und Bewegungsansatz (.14 bzw. 20).

Zuordnungen von Rechenaufgaben im Aufgabensatz 4K von Studierenden im Cluster „niedrig“ sind zu 45 % und von Studierenden im Cluster „mittel–hoch“ zu 81 % angemessene Zuordnungen zum Kraftansatz. Bei Studierenden im Cluster „sehr hoch“ machen diese Zuordnungen 93 % aus. Statt des Kraftansatzes wählten Studierende im Cluster „mittel–hoch“ bei 14 % ihrer Zuordnungen in diesem Aufgabensatz einen Bewegungsansatz aus.

59 % bzw. 86 % bzw. 80 % der Zuordnungen von Rechenaufgaben im Aufgabensatz 4B durch Studierende im Cluster „niedrig“ bzw. „mittel–hoch“ bzw. „sehr hoch“ sind angemessene Zuordnungen zum Bewegungsansatz. Unangemessene Zuordnungen sind bei Studierenden im Cluster „niedrig“ zu 27 % Zuordnungen zur Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz. Diese Kombination macht 10 % der Zuordnungen von Studierenden im Cluster „sehr hoch“ aus. Gleich häufig ordnen diese Studierenden die Rechenaufgaben zu einer Kombination aus Bewegungs- und Energieansatz zu. Unangemessene Zuordnungen von Studierenden im Cluster „mittel–hoch“ sind dagegen am häufigsten Zuordnungen zum Energieansatz (.14).

25 % der Zuordnungen von Rechenaufgaben im Aufgabensatz 5EK durch Studierende im Cluster „niedrig“ sind angemessene Zuordnungen zur Kombination aus Energie- und Kraftansatz. Häufiger wählen Studierende in den Clustern „niedrig“, „mittel–hoch“ und „sehr hoch“ stattdessen eine Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz. Die Anteile der Zuordnungen betragen dabei 50 % bzw. 50 % bzw. 44 %. Einige Studierende im Cluster „niedrig“ ordnen diese Rechenaufgaben einer Kombination aus Bewegungs- und Energieansatz zu (.25). Studierende im Cluster „mittel–hoch“ und „sehr hoch“ wählen teilweise statt der Kombination aus Energie- und Kraftansatz einen Bewegungsansatz. Die

Anteile der Zuordnungen betragen hier 33 % bzw. 31 %. Der Anteil von Zuordnungen zu einer Kombination aus Bewegungs-, Energie- und Kraftansatz beträgt bei Studierenden im Cluster „sehr hoch“ 13 %.

Der Anteil angemessener Zuordnungen von Rechenaufgaben aus der Rechenaufgabengruppe 5BK liegt bei den Clustern „niedrig“ und „sehr hoch“ bei 50 % bzw. 56 %. Bei Cluster „mittel–hoch“, ist dieser Anteil niedriger (25 %). Studierende im Cluster „mittel–hoch“ und „sehr hoch“ wählten besonders häufig statt der Kombination aus einem Bewegungs- und einem Kraftansatz einen Bewegungsansatz (42 % bzw. 31 %). Studierende im Cluster „mittel–hoch“ wählten alternativ ebenfalls häufig eine Kombination aus Bewegungs- und Energieansatz statt der Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz (25 %). Studierende im Cluster „niedrig“ wählten ebenfalls eine Kombination aus Bewegungs- und Energieansatz (19 %) oder eine Kombination aus allen drei Ansätzen (13 %).

Rechenaufgaben aus der Rechenaufgabengruppe 5BE wurden selten angemessen zugeordnet (31 %; 8 %; 19 %). Studierende in den Cluster „mittel–hoch“ und „sehr hoch“ wählten sehr häufig stattdessen einen Bewegungsansatz aus (67 % bzw. 63 %). Der Anteil der Zuordnungen zum Bewegungsansatz ist bei Studierenden im Cluster „niedrig“ mit 25 % niedriger. Besonders häufig wählten Studierende im Cluster „niedrig“ stattdessen eine Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz (38 % der Zuordnungen). Auch Studierende im Cluster „mittel–hoch“ wählten diesen Ansatz, jedoch mit einem Anteil von 17 % der Zuordnungen seltener.

Diskussion

Im Folgenden werden die oben beschriebenen Ergebnisse mit Ergebnissen aus dem vorherigen Abschnitt Ergebnisse der Zusammenhangsanalyse – Aufgabenmerkmale verglichen und diskutiert. Zu den Rechenaufgabengruppen 3E, 4E und 5EK wurde im vorherigen Abschnitt eine Diskrepanz zwischen den intendierten und den tatsächlich von den Studierenden ausgeführten Zuordnungen beschrieben. Besonders häufig wählten die Studierenden einen Bewegungs- statt einem angemessenen Energieansatz. Mit Blick auf die Cluster zum Mechaniktestscore wird erkennbar, dass Studierende aller Cluster¹ zu diesen Rechenaufgaben häufig einen Bewegungs- statt einen Energieansatz bzw. eine Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz statt einer Kombination aus Energie- und Kraftansatz auswählen. Die relativen Häufigkeiten dieser Zuordnungen unterscheiden sich dabei kaum. Auffällig gering ist lediglich der Anteil an Zuordnungen von Rechenaufgaben des Typs 3E zum Bewegungsansatz durch Cluster *niedrig*. Hier wählen Studierende alternativ zum Bewegungsansatz häufig eine Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz. Einen Energieansatz in Rechenaufgaben erkennen zu können, stellt somit für alle der hier betrachteten Studierenden eine Herausforderung dar. Häufig wird statt des Energieansatzes ein Bewegungsansatz gewählt. Dieser kann bei den in der Studie eingesetzten Rechenaufgaben auch zielführend sein, ist jedoch mit zum Teil deutlichem Mehraufwand verbunden. Hierzu passt, dass 5BE-Rechenaufgaben von Studierenden häufig nur einem Bewegungsansatz zugeordnet werden. Bei Betrachtung der Cluster zum Mechaniktestscore wurden diese Zuordnungen primär von Studierenden aus den Clustern *mittel-hoch* und *sehr hoch* vorgenommen (.67 bzw. .63, 6.16). Studierende aus dem Cluster *niedrig* wählten zwar ebenfalls teil-

¹Nicht betrachtet wird der Cluster *sehr niedrig* aufgrund der geringen Clustergröße.

weise einen Bewegungsansatz zu diesen Rechenaufgaben aus, mit einem Anteil von .25 ist dieser jedoch im Vergleich geringer. Sie wählten stattdessen eher eine Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz (.38). Die unangemessene Auswahl eines Kraftansatzes statt eines Energieansatzes kann daraus resultieren, dass in den Rechenaufgaben zum Teil Beschleunigungen thematisiert werden. Es ist möglich, dass einige der Studierende dabei zunächst an die Formel $F = m \cdot a$ denken und entsprechend einen Kraftansatz auswählen. Die häufige Beobachtung der unangemessenen Auswahl eines Bewegungs- statt eines Kraftansatzes geht primär auf Studierende in den Clustern *niedrig* und *mittel-hoch*, nur zu Rechenaufgabengruppe 1K auch auf Cluster *sehr hoch* zurück. Es stellt sich somit die Frage, ob ein höheres Mechanikverständnis dazu beitragen kann, diese unangemessene Ansatzwahl zu vermeiden. Gleiches gilt für die Wahl von einem Energie- statt einem Kraftansatz und umgekehrt. Die Wahl von Energie- statt Kraftansatz zu Rechenaufgabengruppe 5BK ist hauptsächlich in den Daten von Studierenden im Cluster *niedrig* zu beobachten. Die Rückrichtung, also die Auswahl eines Kraft- statt eines Energieansatzes, ist in Datensätzen zu Studierenden in den Clustern *niedrig* und *mittel-hoch* zu finden. Die fehlende Auswahl eines Kraftansatzes kann hauptsächlich im Datensatz von Studierenden in den Clustern *mittel-hoch* und *sehr hoch* beobachtet werden (vgl. 5BK zu Bewegungsansatz und 5EK zu Bewegungsansatz, Tab. 6.16).

Zusammenfassend wurde der Bewegungsansatz häufig von Studierenden aller Cluster zum Mechaniktestscore statt einem angemessenen Energieansatz ausgewählt. Studierende aus dem Cluster *niedrig* haben diese Zuweisungen seltener, jedoch andere unangemessene Zuordnungen dafür häufiger durchgeführt. Die unangemessene Auswahl eines Bewegungsansatzes statt eines angemessenen Energieansatzes scheint nach Ergebnissen dieses Kapitels nicht oder kaum in Zusammenhang mit dem Mechanikverständnis der Studierenden zu stehen. Ein Energieansatz statt einem angemessenen Kraftansatz wurde primär durch Studierende in den Mechanikclustern *niedrig* und teilweise *mittel-hoch* ausgewählt. Rechenaufgaben, die einen Kraftansatz erfordern, beinhalten häufig Angaben über Beschleunigungen sowie für geometrische Überlegungen Angaben zu Höhen. Es ist denkbar, dass Rechenaufgaben, die einen Kraftansatz erfordern, Ähnlichkeiten in der Oberflächenstruktur zu solchen Rechenaufgaben aufweisen, die einen Energieansatz erfordern. Unter der Annahme, dass sich die fachliche Expertise parallel zum Verständnis in Mechanik entwickelt, kann diese Beobachtung durch Ergebnisse von Chi, Feltovich und Glaser (1981) erklärt werden. Studierende, die aus fachlicher Sicht eher als Novizen eingestuft werden können, achten nach Chi, Feltovich und Glaser (1981) stärker auf Merkmale in der Oberflächenstruktur zur Gruppierung der Rechenaufgaben als Experten. Mit Blick auf die Ergebnisse in diesem Abschnitt wäre es somit plausibel, dass bei Studierenden mit niedrigen oder mittel bis höheren Scores im Mechaniktest Merkmale der Oberflächenstruktur in die Auswahl eines Lösungsansatzes einfließen. Die fehlende Auswahl eines Kraftansatzes zu Rechenaufgaben der Gruppen 5BK und 5EK erfolgte primär bei Studierenden in den Clustern *mittel-hoch* und *sehr hoch* zum Mechaniktestscore. Es ist möglich, dass einige der Studierenden keinen Kraftansatz ausgewählt haben, da sich in der Bearbeitung der Rechenaufgaben bei der Kräftebilanzierung die Massen rauskürzen und dadurch sozusagen Beschleunigungen bilanziert werden. Dieser Fall wird zwar in der Definition des Kraftansatzes, die die Studierenden während der Gruppierung vorliegen haben (s. Kapitel 4.1.2), aufgegriffen, kann im Laufe der Zeit jedoch auch wieder vergessen werden.

Tabelle 6.16

Anteile der Zuweisungen innerhalb von Rechenaufgabengruppen zu Lösungsansätzen nach Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest

Rechen- aufgaben- gruppe	Zuordnung zu																			
	E				K				B				EK				BK			
	durch Cluster				durch Cluster				durch Cluster				durch Cluster				durch Cluster			
	sn	n	m-h	sh	sn	n	m-h	sh	sn	n	m-h	sh	sn	n	m-h	sh	sn	n	m-h	sh
1E	1.00	.50	.86	.90	.00	.05	.00	.05	.00	.18	.07	.00	.00	.23	.00	.05	.00	.00	.00	.00
1K	.00	.00	.07	.00	.75	.55	.64	.70	.25	.27	.14	.20	.00	.00	.07	.00	.00	.05	.07	.05
1B	.00	.09	.00	.00	.25	.09	.00	.00	.27	.68	.86	.85	.00	.05	.00	.00	.00	.00	.14	.10
2K	.00	.00	.00	.00	1.00	.50	.75	.50	.00	.13	.25	.00	.00	.13	.00	.00	.00	.00	.00	.50
2B	.50	.13	.00	.00	.00	.00	.25	.00	.50	.38	.75	1.00	.00	.13	.00	.00	.00	.25	.00	.00
3E	.17	.33	.29	.17	.00	.12	.05	.00	.50	.27	.48	.50	.00	.00	.00	.00	.00	.21	.00	.03
3K	.00	.00	.05	.00	1.00	.70	.81	.93	.00	.06	.14	.00	.00	.15	.00	.03	.00	.00	.00	.03
3B	.00	.18	.10	.07	.17	.15	.00	.03	.50	.39	.81	.67	.00	.03	.05	.03	.00	.12	.00	.07
4E	.00	.05	.29	.20	.75	.09	.00	.00	.25	.68	.57	.50	.00	.00	.00	.05	.00	.14	.07	.20
4K	.00	.00	.00	.00	1.00	.45	.86	.95	.00	.18	.14	.05	.00	.09	.00	.00	.00	.23	.00	.00
4B	.00	.05	.14	.00	.25	.09	.00	.00	.50	.59	.86	.80	.00	.00	.00	.00	.25	.27	.00	.10
5EK	.00	.00	.08	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.33	.31	.25	.25	.00	.06	.25	.50	.50	.44
5BK	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.50	.06	.42	.31	.00	.13	.00	.00	.50	.50	.25	.56
5BE	.00	.00	.00	.06	.00	.00	.08	.06	.00	.25	.67	.63	.50	.06	.00	.00	.50	.38	.17	.06

Anmerkung. In der Tabelle wurden für die Cluster bzgl. des Mechaniktests die Abkürzungen *sn*: sehr niedrig, *n*: niedrig, *m-h*: mittel – hoch, *sh*: sehr hoch verwendet. Die fett gedruckten Anteile in Zellen markieren die Anteile angemessener Zuordnungen. Graue Hinterlegungen geben einen Eindruck bzgl. der Größe von Anteilen getroffener Zuordnungen. Je dunkler der Grauton hierbei ist, desto höher ist der Anteil an Zuordnungen in dieser Zelle (10 – 19%: hellgrau, 20 – 39%: mittelgrau, > 39%: dunkelgrau).

Tabelle 6.16

Anteile der Zuweisungen innerhalb von Rechenaufgabengruppen zu Lösungsansätzen nach Clustern bzgl. des Scores im Mechaniktest (Fortsetzung)

Rechen- aufgaben- gruppe	BE durch Cluster				BEK durch Cluster				Fehlende Zuordnungen durch Cluster				Anzahl Zuordnungen durch Cluster				Anzahl Studierender im Cluster			
	sn	n	m-h	sh	sn	n	m-h	sh	sn	n	m-h	sh	sn	n	m-h	sh	sn	n	m-h	sh
1E	.00	.05	.07	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4	22	14	20	2	11	7	10
1K	.00	.05	.00	.05	.00	.05	.00	.00	.00	.05	.00	.00	4	22	14	20	2	11	7	10
1B	.00	.05	.00	.00	.00	.05	.00	.05	.00	.00	.00	.00	4	22	14	20	2	11	7	10
2K	.00	.25	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2	8	4	2	1	4	2	1
2B	.00	.00	.00	.00	.00	.13	.00	.00	.00	.00	.00	.00	2	8	4	2	1	4	2	1
3E	.33	.03	.19	.27	.00	.03	.00	.03	.00	.00	.00	.00	6	33	21	30	2	11	7	10
3K	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.00	.00	.00	.06	.00	.00	6	33	21	30	2	11	7	10
3B	.17	.00	.05	.13	.00	.09	.00	.00	.17	.03	.00	.00	6	33	21	30	2	11	7	10
4E	.00	.00	.07	.05	.00	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4	22	14	20	2	11	7	10
4K	.00	.00	.00	.00	.00	.05	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4	22	14	20	2	11	7	10
4B	.00	.00	.00	.10	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4	22	14	20	2	11	7	10
5EK	.25	.25	.08	.00	.25	.00	.00	.13	.00	.00	.00	.06	4	16	12	16	2	8	6	8
5BK	.00	.19	.25	.00	.00	.13	.08	.00	.00	.00	.00	.13	4	16	12	16	2	8	6	8
5BE	.00	.31	.08	.19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	4	16	12	16	2	8	6	8

Anmerkung. In der Tabelle wurden für die Cluster bzgl. des Mechaniktests die Abkürzungen *sn*: sehr niedrig, *n*: niedrig, *m-h*: mittel -- hoch, *sh*: sehr hoch verwendet. Die fett gedruckten Anteile in Zellen markieren die Anteile angemessener Zuordnungen. Graue Hinterlegungen geben einen Eindruck bzgl. der Größe von Anteilen getroffener Zuordnungen. Je dunkler der Grauton hierbei ist, desto höher ist der Anteil an Zuordnungen in dieser Zelle (10 – 19%: hellgrau, 20 – 39%: mittelgrau, > 39%: dunkelgrau). Durchgestrichene Zellen (horizontal oder vertikal) weisen auf eine geringe Clustergröße von < 5 Studierenden hin.

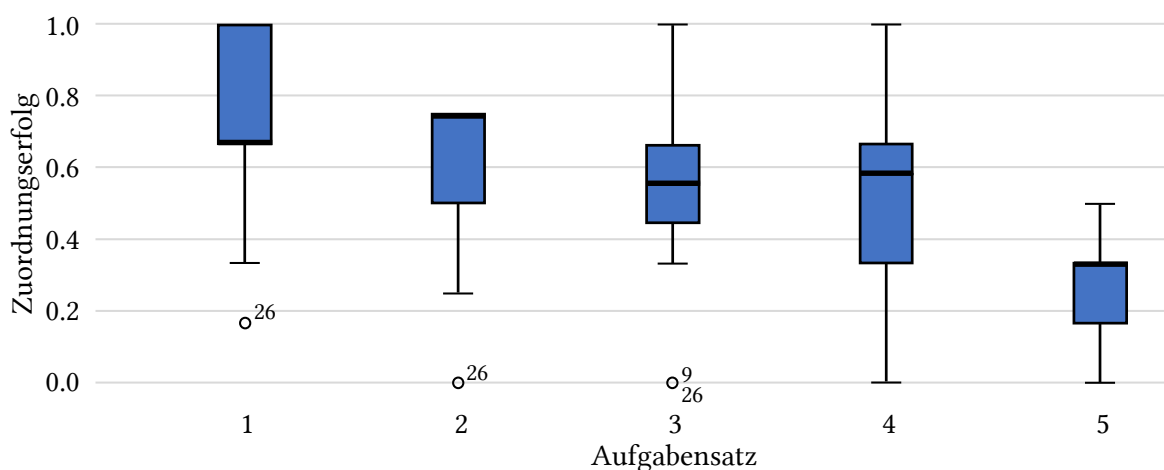
6.2.5 Ergebnisse zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz

Im Folgenden wird der Zuordnungserfolg der Studierenden je Aufgabensatz genauer beleuchtet. Rechenaufgaben mit identischen Oberflächenmerkmalen und gleicher Anzahl anzuwendender Lösungsansätze werden somit in einer Rechenaufgabengruppe zusammengefasst.

Ergebnisse aus Analysen zu Zuordnungen. Die Zuordnungserfolge der Studierenden erweisen sich in zweierlei Hinsichten als variantenreich. Aus den Boxplots in Abbildung 6.24 wird die Unterschiedlichkeit der Zuordnungserfolge bzgl. der einzelnen Aufgabensätze an der jeweiligen Spannweite und der Breite der Boxen bzw. der Quartilabschnitte deutlich. Die größten Spannweiten sind bzgl. Aufgabensatz 3 und 4 mit $SP_3 = SP_4 = 1.00$ zu finden. Auch die Spannweiten der Zuordnungserfolge zu Aufgabensatz 1 und 2 sind mit $SP_1 = SP_2 = .75$ vergleichsweise groß. Die Zuordnungserfolge zu Aufgabensatz 5 weisen hingegen mit $SP_5 = .50$ die kleinste Spannweite auf. Zu beachten ist allerdings, dass Ausreißer in die Berechnung der Spannweite eingehen. Ausreißer

Abbildung 6.24

Boxplot zum Zuordnungserfolg der Studierenden bzgl. der Aufgabensätze mit $N_1 = N_3 = N_4 = 30$, $N_2 = 8$ und $N_5 = 24$



sind der Zuordnungserfolg von Student 26 zu Aufgabensatz 1, 2 und 3 mit .17, .00 und .00 sowie der Zuordnungserfolg von Student 10 zu Aufgabensatz 3 mit .00. Die Boxen beinhalten je nach Aufgabensatz zwei bis drei der möglichen Ausprägungen des Zuordnungserfolgs der Studierenden. Die Boxen zu Aufgabensatz 1 und 4 beinhalten dabei drei von sieben, die Boxen zu Aufgabensatz 2 zwei von fünf, die Boxen von Aufgabensatz 3 drei von zehn und die Boxen zu Aufgabensatz 5 zwei von sieben möglichen Ausprägungen des Zuordnungserfolgs. Damit wirken die Boxen zu Aufgabensatz 2, 3 und 5 schmäler als die zu Aufgabensatz 1 und 4. Des Weiteren zeigt sich die Unterschiedlichkeit der Zuordnungserfolge zwischen den Aufgabensätzen. Die Boxen sind mit zunehmendem Aufgabensatz tendenziell niedriger gelagert, d. h. die Intervallgrenzen, welche die mittleren 50% der Zuordnungserfolge je Aufgabensatz beschreiben, werden tendenziell kleiner. Diese Entwicklung zeigt sich auch am Mittelwert der Zuordnungserfolge zu den einzelnen Aufgabensätzen. Dieser verringert sich stetig: $M_1 = .72 > M_2 = .59 > M_3 = .56 > M_4 = .54 > M_5 = .26$. Die Unterschiede der Mittelwerte sind

dabei teilweise allerdings sehr gering, wie z. B. die Werte zu M_2 bis M_4 zeigen. Bzgl. des Medians ist die oben beschriebene Tendenz nicht in jedem Vergleich der Aufgabensätze erkennbar. Der Median zu Aufgabensatz 1 beträgt $Md_1 = .67$ und ist somit geringer als der Median zu Aufgabensatz 2 ($Md_2 = .75$). Der Median zu Aufgabensatz 4 ($Md_4 = .58$) ist minimal höher als der zu Aufgabensatz 3 ($Md_3 = .56$). Der Median zu Aufgabensatz 5 ist dagegen mit $Md_5 = .26$ vergleichsweise deutlich niedriger angesiedelt. Inwiefern die hier beschriebenen Unterschiede der Zuordnungserfolge zwischen den Aufgabensätzen statistische Aussagekraft haben, wird in der Zusammenhangsanalyse – Aufgabenmerkmale genauer betrachtet. Hier, wie auch für die Durchführung der Zusammenhangsanalyse, muss jedoch berücksichtigt werden, dass Aufgabensatz 2 nur von acht der 30 Studierenden bearbeitet worden ist. Die Vergleichsweise große Differenz zwischen Median und Mittelwert der Zuordnungserfolge zu Aufgabensatz 2 wird dadurch verursacht, dass sechs der acht Studierenden, die Aufgabensatz 2 bearbeitet haben, auch einen Zuordnungserfolg gleich des Medians von .75 erreicht haben. Die zwei verbleibenden Studierenden haben mit Zuordnungserfolgen von .25 und .00 deutlich schlechter abgeschnitten, weswegen der Mittelwert im Vergleich zum Median nach unten verschoben ist. In anderen Aufgabensätzen ist der Median nicht gleich des am häufigsten erreichten Zuordnungserfolges. Bspw. erreichen zu Aufgabensatz 1 14 Studierende einen Zuordnungserfolg über, 10 entsprechend und 6 unterhalb des Medians, wie Abbildung 6.25 entnommen werden kann. Auffällig ist hier darüber hinaus in einer absoluten Einordnung, dass acht Studierende alle Rechenaufgaben in Aufgabensatz 1 angemessen zugeordnet und somit einen Zuordnungserfolg von 1.00 erreicht haben. Betrachtet man die Gruppengrößen zu Aufgabensatz 4, fällt auf, dass keiner der Studierenden einen Zuordnungserfolg entsprechend des Medians erreicht. Dies liegt daran, dass der Median hier zwischen zwei erreichbaren Niveaus des Zuordnungserfolges liegt. Werte zu Gruppengrößen bzgl. dieser und anderer Aufgabensätzen im Vergleich zum jeweiligen Median können Tabelle 6.17 entnommen werden.

Tabelle 6.17

Werte zu Gruppengrößen von Zuordnungserfolgen Studierenden oberhalb, entsprechend und unterhalb des Medians je Aufgabensatz

i	Aufgabensatz i				
	1	2	3	4	5
Oberhalb des Medians	14	0	12	15	4
Entsprechend des Medians	10	6	10	0	9
Unterhalb des Medians	6	2	8	15	11
Gesamtzahl (N_i)	30	8	30	30	24

Abbildung 6.25

Zuordnungserfolge der Studierenden bzgl. der Aufgabensätze (Zusammenführung der Zuordnungserfolge je Lösungsansatz aus Abb. 6.13)

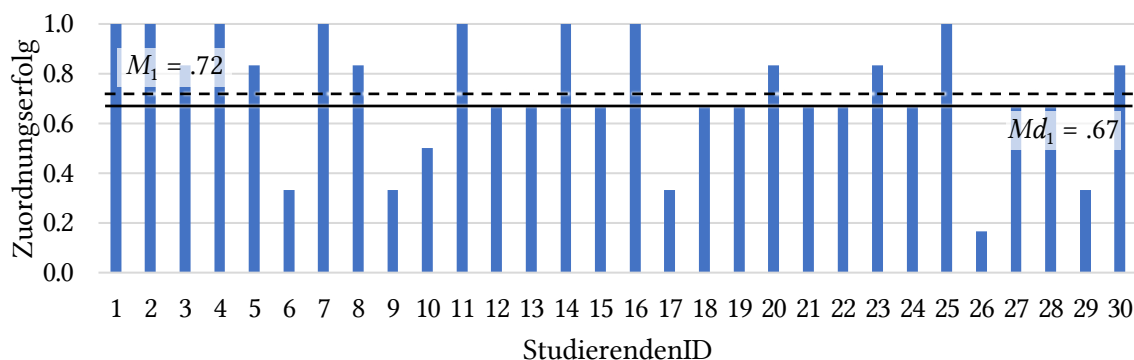
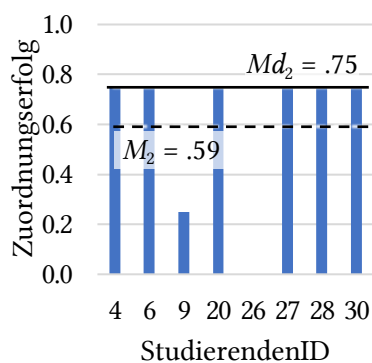
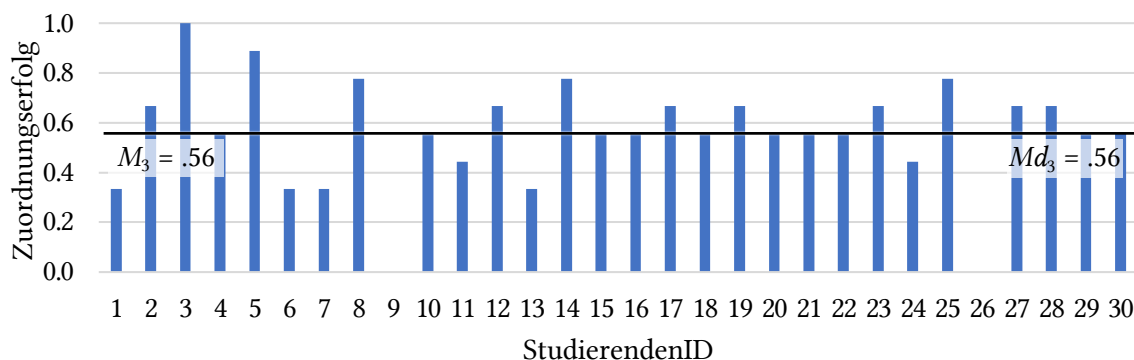
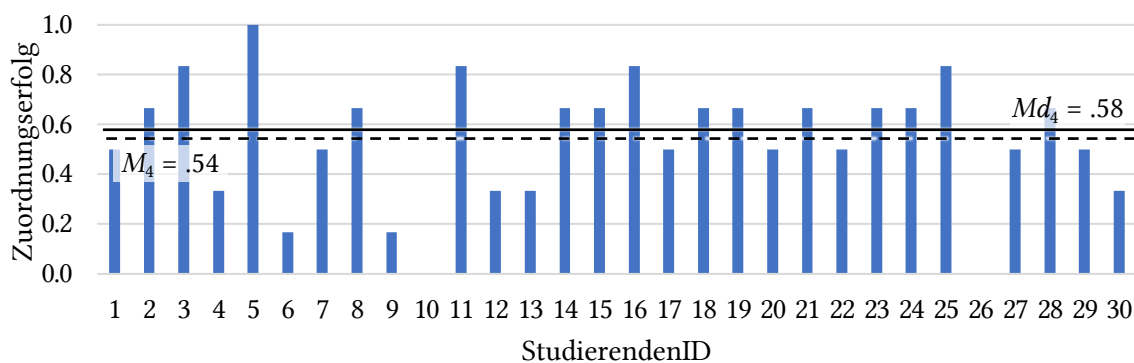
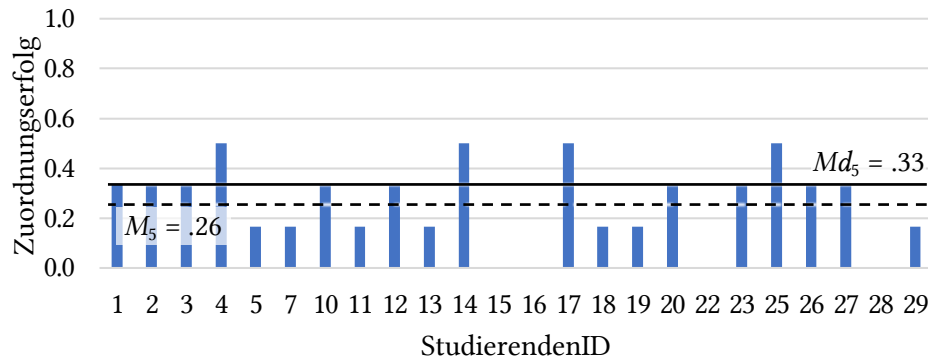
(a) Aufgabensatz 1 ($N_1 = 30$)**(b) Aufgabensatz 2 ($N_2 = 8$)****(c) Aufgabensatz 3 ($N_3 = 30$)****(d) Aufgabensatz 4 ($N_4 = 30$)**

Abbildung 6.25

Zuordnungserfolge der Studierenden bzgl. der Aufgabensätze (Zusammenführung der Zuordnungserfolge je Lösungsansatz aus Abb. 6.13) (Fortsetzung)

(e) Aufgabensatz 5 ($N_5 = 24$)

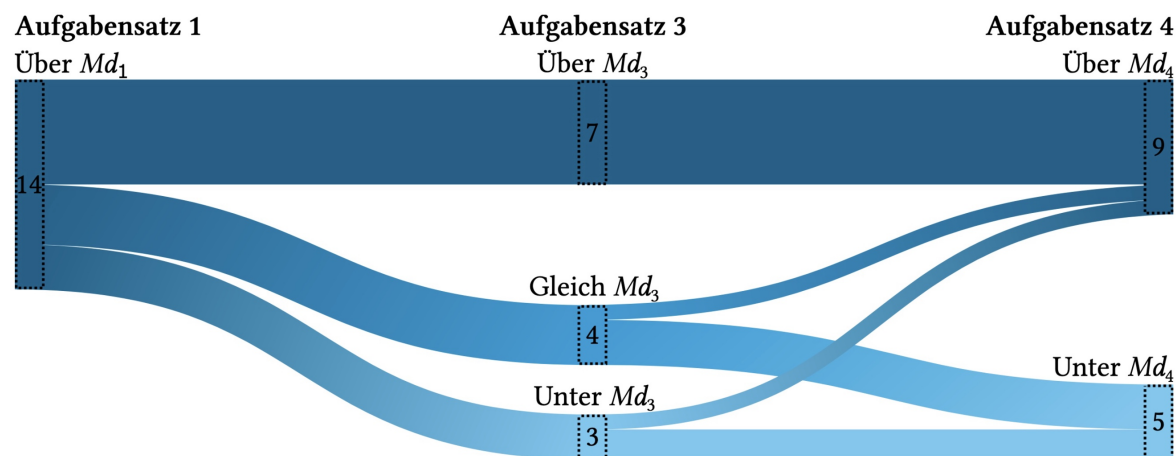


Unter Betrachtung dieser Gruppen und der individuellen Zuordnungserfolge der Studierenden je Aufgabensatz fallen individuelle Veränderungen zwischen den Aufgabensätzen auf. Der Zuordnungserfolg der Studierenden ist im Verlauf verschieden. Die Studierenden können bspw. bzgl. eines Aufgabensatzes i einen Zuordnungserfolg unterhalb des Medians erzielen, in einem Aufgabensatz $j \neq i$ aber auch einen Zuordnungserfolg oberhalb des Medians oder umgekehrt erreichen. In Abbildung 6.26 ist die Veränderung der Größe der in Bezug zum Median gesetzten Gruppen mithilfe von Sankey-Diagrammen dargestellt. Die Aufgabensätze 3 und 5 werden dabei nicht betrachtet, da diese nicht von allen Studierenden bearbeitet worden sind. Es zeigt sich, dass Studierende, die bereits zu Aufgabensatz 1 Zuordnungserfolge über dem Median erreicht haben, diese tendenziell auch in folgenden Aufgabensätzen erreichen (vgl. 6.26a). Jedoch geht aus dem Diagramm auch hervor, dass auch Studierende in der Stichprobe existieren, die Lösungsansätze in Rechenaufgaben anderer Aufgabensätzen weniger erfolgreich erkennen und sich somit im Verlauf (u. U. auch nur temporär) weniger leistungsstarken Gruppen anschließen. Umgekehrt zeigt sich, dass Studierende, die zu Aufgabensatz 1 Zuordnungserfolge unterhalb des Medians erreicht haben, gleiches auch in folgenden Aufgabensätzen eher tun (vgl. 6.26c). Einzelne Studierende erreichen zu Aufgabensatz 3 temporär Zuordnungserfolge gleich oder oberhalb des Medians. Zu Aufgabensatz 4 sind deren Zuordnungserfolge jedoch wieder unterhalb des Medians anzusiedeln. Der Verlauf der Zuordnungserfolge von Studierenden mit einem Zuordnungserfolg zu Aufgabensatz 1 in Höhe des Medians ist sehr heterogen und unbeständig, was daran deutlich wird, dass die Studierenden zu Aufgabensatz 3 in nahezu gleichen Anteilen Zuordnungserfolge oberhalb, entsprechend und unterhalb des Medians erreichen (vgl. Abb. 6.26b). Zudem erzielen sie zu Aufgabensatz 4 nahezu gleich häufig Zuordnungserfolge ober- als auch unterhalb des Medians.

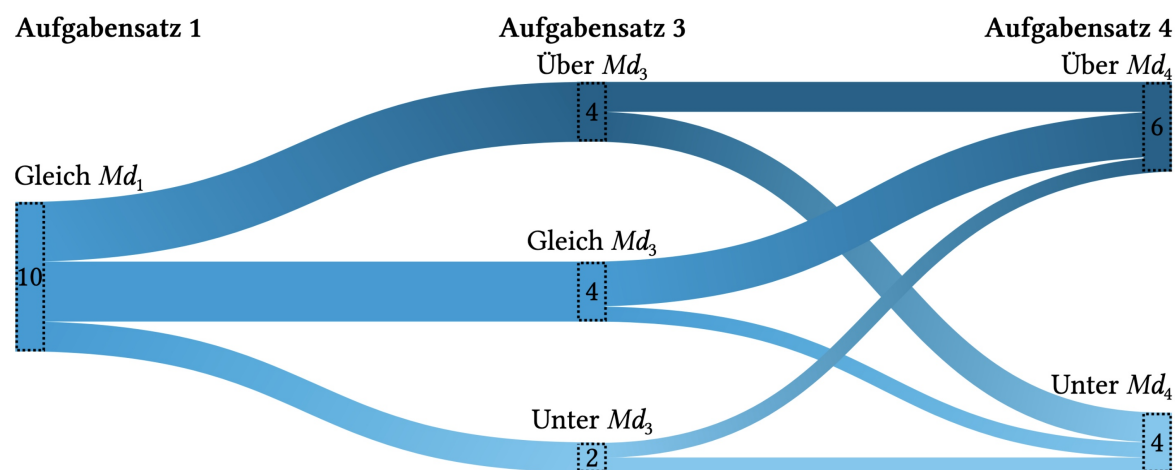
Abbildung 6.26

Gruppendynamik von Studierenden unterschiedlicher Zuordnungserfolgsgruppen

(a) Zuordnungserfolgsgruppe a: Zuordnungserfolg in Aufgabensatz 1 größer als der Median aller Zuordnungserfolge in Aufgabensatz 1



(b) Zuordnungserfolgsgruppe b: Zuordnungserfolg in Aufgabensatz 1 gleich dem Median aller Zuordnungserfolge in Aufgabensatz 1



(c) Zuordnungserfolgsgruppe c: Zuordnungserfolg in Aufgabensatz 1 kleiner als der Median aller Zuordnungserfolge in Aufgabensatz 1

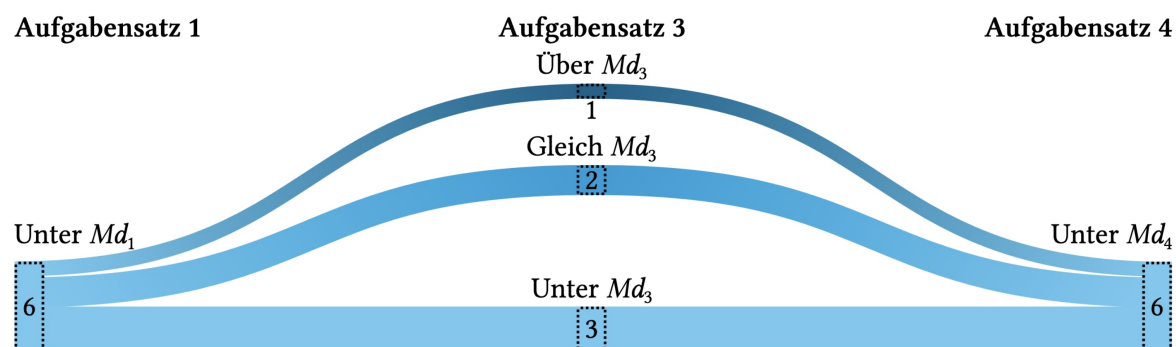
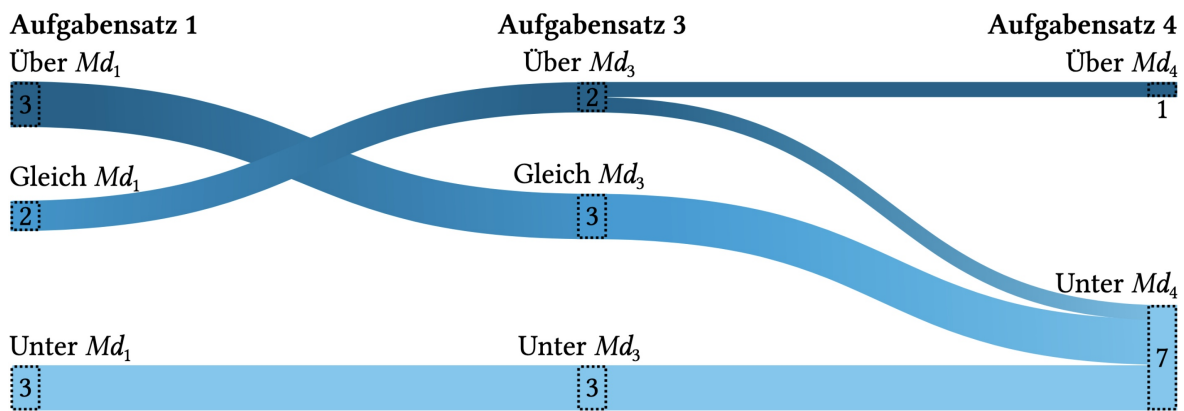
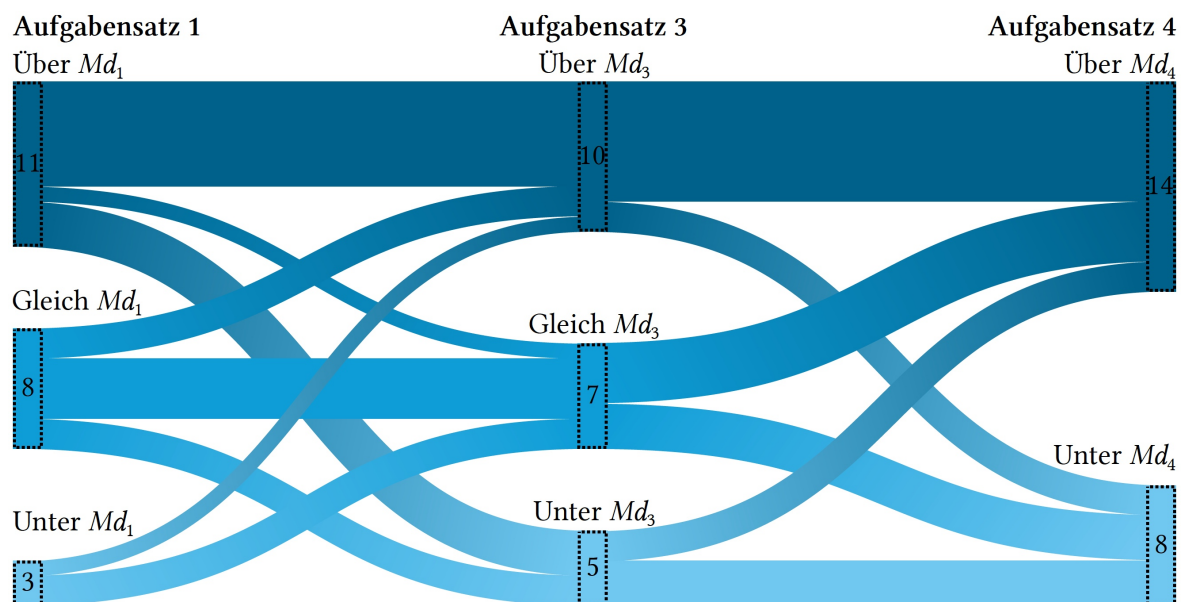


Abbildung 6.27 zeigt die Veränderung des Zuordnungserfolges von Aufgabensatz 1 zu Aufgabensatz 3 zu Aufgabensatz 4 der Studierenden, die Aufgabensatz 2 zusätzlich bearbeitet haben und die der Studierenden, die Aufgabensatz 2 nicht bearbeitet haben, im Vergleich zum jeweiligen Median. Nach der Bearbeitung von Aufgabensatz 2 können zwei der acht Studierenden einer erfolgreicherer Gruppe zugeordnet werden, wobei ein*e dieser zu Aufgabensatz 4 wieder einer weniger erfolgreichen Studiengruppe angehört (vgl. Abb. 6.27a). Verbesserungen bzgl. der Zuordnungserfolgsgruppe sind somit selten und z. T. nur temporär. Drei der Acht Studierenden sind bzgl. ihrer Zuordnungserfolge zu Aufgabensatz 1 in der schwächsten Zuordnungserfolgsgruppe einzugliedern. Diese wechseln auch nach Bearbeitung von Aufgabensatz 2 die Zuordnungserfolgsgruppe nicht. Vergleichsweise zu Beginn erfolgreichere Studierende (zwei von acht) wechseln die Zuordnungserfolgsgruppe im Verlauf über die Median- zur Unter-Median-Zuordnungserfolgsgruppe. Insgesamt verändert sich die Zuordnungserfolgsgruppenzugehörigkeit der Studierenden, die Aufgabensatz 2 bearbeitet haben, über die

Abbildung 6.27*Gruppendynamik von Studierenden unterschiedlicher Umfragebearbeitungsabläufe***(a) Gruppe a: Aufgabensatz 2 wurde bearbeitet****(b) Gruppe b: Aufgabensatz 2 wurde nicht bearbeitet**

Aufgabensätze 1, 3 und 4 von einer ausgewogenen Verteilung zugunsten von Zuordnungserfolgen unterhalb des Medians. Im Gegensatz dazu verändert sich die Zuordnungserfolgsgruppenzugehörigkeit der Studierenden, die Aufgabensatz 2 *nicht* bearbeitet haben, über die Aufgabensätze 1, 3 und 4 bzgl. der Ausgewogenheit kaum (vgl. Abb. 6.27b). Im Detail sind jedoch einige Leistungsgruppenwechsel festzustellen. Auffällig ist, dass zu den Studierenden, die Aufgabensatz 2 bearbeitet haben, diejenigen gehören, die in Abbildung 6.26c den unteren, beständigen Block an Studierenden bilden, der stets Zuordnungserfolge unterhalb des Medians erreicht. Dagegen gehören diejenigen zu den Studierenden, die Aufgabensatz 2 nicht bearbeitet haben, die in Abbildung 6.26a den oberen, beständigen Block an Studierenden bilden, der stets Zuordnungserfolge oberhalb des Medians erreicht. Beide dieser Gruppen enthalten Studierende die die Zuordnungserfolgsguppe zwischendurch wechseln.

Diskussion

Die großen Spannweiten bzgl. der Zuordnungserfolge zu den Aufgabensätzen bzw. die Varianz zwischen den Studierenden ist in Einklang damit, dass einerseits Studierende unterschiedlichen Semesters sowie unterschiedlicher Studiengänge an der Erhebung teilgenommen haben (s. Kapitel 4.1.3). Andererseits können auch Studierende ähnlichen Studienfortschritts bereits verschieden erfolgreich Lösungsansätze erkennen bzw. Lösungswege planen (vgl. Brandenburger, 2016). Die Auffälligkeit, dass viele Studierende zu Aufgabensatz 1 einen Zuordnungserfolg von 1 bzw. 100% erreicht haben, lässt einen Deckeneffekt vermuten, sodass zwischen den Fähigkeiten dieser Studierenden vermutlich nicht ausreichend differenziert werden kann. Umgekehrt lässt sich zu Aufgabensatz 5 auf Grundlage des Medians bzw. des Mittelwertes der Zuordnungserfolge und der geringen Spannweite der Zuordnungserfolge ein Bodeneffekt vermuten. Der Mittelwert der Zuordnungserfolge entspricht dabei sogar in etwa dem Erwartungswert, Rechenaufgaben zufällig einer der Ansatzkombinationen E-K, B-K, B-E oder E-K-B angemessen zuzuordnen:

$$\sum_{k=0}^6 \frac{k}{6} \cdot P(X = k) = \sum_{k=0}^6 \frac{k}{6} \cdot \left[\binom{6}{k} \cdot \frac{1}{4}^k \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right)^{6-k} \right] = .25$$

Vermutlich kann daher auch hier zwischen den weniger erfolgreichen Studierenden nicht mehr ausreichend differenziert werden. Bzgl. Aufgabensatz 2 haben die allermeisten Studierenden ein Zuordnungserfolg in Höhe des Medians ($Md_2 = .75$) erreicht. Ursächlich hierfür kann die geringe Bearbeitungshäufigkeit (= acht) sein. Möglich wäre jedoch auch eine ungünstige Zusammenstellung der Rechenaufgaben durch beispielsweise drei sehr leichte und eine schwere Rechenaufgabe. Die Betrachtung der Zuordnungswahrscheinlichkeit dieser Rechenaufgaben zeigt, dass dies nicht der Fall zu sein scheint (für Details s. Kapitel 6.2.2).

Aus den ersten Sankey-Diagrammen (Abb. 6.26) ist ableitbar, dass Studierende, die sich bereits zu Aufgabensatz 1 als vergleichsweise erfolgreich zeigen, auch in den folgenden Aufgabensätzen 3 und 4 tendenziell Rechenaufgaben erfolgreich zuordnen. Umgekehrt sind anfangs weniger erfolgreiche Studierende auch zu Aufgabensätzen 3 und 4 eher wenig erfolgreich bzgl. der Zuordnung der Rechenaufgaben. Zu Beginn mittelmäßig erfolgreiche Studierende wechseln häufig bzgl. ihrer Zuordnungserfolgsgruppe, sie bilden also eine „unordentliche Mitte“, die im Mittel jedoch ausgeglichen scheint – sich also zwischendurch gleichmäßig auf erfolgreiche und weniger erfolgreiche Gruppen verteilt. Dies deutet insgesamt darauf hin, dass das reine Gruppieren bzw. Zuordnen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen in der hier eingesetzten Anzahl keine wirksame Förderungsmaßnahme für einzelne Gruppen an Studierenden darstellt. Die Deutungen der zweiten Sankey-Diagramme (Abb. 6.27) unterstützen diese Vermutung: Zusätzliche Zuordnungen begünstigen keinen Wechsel in eine höhere Zuordnungserfolgsgruppe. Der nahezu durchgehend beobachtbare Wechsel von Studierenden, die Aufgabensatz 2 bearbeitet haben, in die leistungsschwächste Gruppe, lässt durch die erhöhte Anzahl an zu tätigen Zuordnungen sogar einen Ermüdungseffekt vermuten. Es ist jedoch zu beachten, dass der Median zu Aufgabensatz 4 zwischen zwei erreichbaren Zuordnungserfolgen liegt und somit nur eine Leistungsgruppe oberhalb und eine unterhalb des Medians zustande kommt. Es ist somit auch möglich, dass die Zuordnungserfolge der vier Studierenden, die in die am wenigsten

erfolgreiche Gruppe von Aufgabensatz 3 zu Aufgabensatz 4 gewechselt haben, nur knapp unter dem Median liegen und so das Bild verfälscht wird. Ein Blick in die Daten verrät, dass dies in zwei der vier Fällen zutrifft. Ob tatsächlich ein Ermüdungseffekt vorliegt, kann nur durch Befragung der Studierenden geklärt werden. Dies ist im Rahmen dieser Arbeit aus zeitlichen Gründen nicht erfolgt. Auch ist möglich, dass das Gruppieren / Zuordnen einen (kleinen) Beitrag zum Lernen über das erfolgreiche Erkennen von Lösungsansätzen in Rechenaufgaben liefert, der Effekt zum einen aber so klein sein kann, dass er hier nicht feststellbar wird. Zudem anderen variieren die Aufgabenmerkmale über die Aufgabensätze hinweg, sodass die Studierenden im Rahmen jedes Aufgabensatzes mit oberflächlich anderen Rechenaufgaben konfrontiert werden. Von Aufgabensatz zu Aufgabensatz müsste somit bereits eine Transferleistung der „Problemschemata“ bzw. von konstruierten Wegen zur Ableitung von Lösungsansätzen erbracht werden, was die Schwierigkeit zur angemessenen Zuordnung der Rechenaufgaben erhöhen kann. Möglicherweise ist für einen erfolgreichen Transfer von einem Typ Rechenaufgaben zu einem weiteren Typ auch die Anzahl an Fällen bzw. gruppierten Rechenaufgaben von Bedeutung, da sich Problemlösefähigkeiten laut Reif und Heller (1982) nur langsam entwickeln. Des Weiteren wurde aus Gründen der Kontrolle von Versuchsbedingungen keine Rückmeldung zu zuvor getroffenen Zuordnungen gegeben. Feedback sowie Anlässe zum Bearbeiten von Feed-Forward-Vorschlägen können jedoch die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass sich die gezeigte Leistung verbessert (Review in Hattie & Timperley, 2007). Durch die Gruppierung / Zuordnung von mehr Rechenaufgaben und Feedback/Feedforward ist auch eine positive Entwicklung der Wahrscheinlichkeit denkbar, dass auch bei leicht verschiedenen Rechenaufgaben angemessene Zuordnungsentscheidungen angeregt werden. Eine Prüfung wäre im Rahmen einer weiteren Studie durchführbar.

Bezüglich der Auswahl an Personen, die Aufgabensatz 2 als zusätzliche Übungsmöglichkeit zum Zuordnen von Rechenaufgaben bearbeitet haben, ist unter Betrachtung von Abbildung 6.27 (a) und (b) festzustellen, dass durch das Auswahlkriterium (Einschätzung der erlebten Schwierigkeit beim Zuordnen von Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 1: „eher schwer“ bis „sehr schwer“) die leistungsschwächeren Studierenden nur zur Hälfte erreicht wurden. Eine Ursache könnte darin liegen, dass die empfundene Schwierigkeit nicht zwingend mit der gezeigten Leistung zusammenhängt (z. B. ist eine Zuordnung „aus dem Bauch heraus“ eventuell leicht, obwohl die Rechenaufgaben unangemessen zugeordnet wurden). Das Auswahlkriterium sollte für zukünftige Untersuchungen daher überarbeitet werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass auch die Einschätzung der Angemessenheit der Zuordnungen fehlerbehaftet sein kann (vgl. *Dunning-Kruger-Effekt*, Kruger & Dunning, 2000). Um die leistungsschwächeren Studierenden gezielt zu erreichen, müsste der Zuordnungserfolg automatisch evaluiert werden. Problematisch ist hierbei jedoch, dass dafür die Leistungsgruppen nicht an den Median der gesamten Stichprobe am Ende der Erhebung gekoppelt sein darf. Es müssten somit Ergebnisse einer Referenzgruppe genutzt werden. Einfacher ist es, Aufgabensatz 2 (wie auch Aufgabensatz 5) von allen Studierenden bearbeiten zu lassen.

Ergebnisse aus der Zusammenhangsanalyse: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Wie bereits in der Einzelanalyse bspw. mit den Boxplots in Abbildung 6.24 oder mit den Verläufen in den Sankey-Diagrammen in Abbildung 6.26 beschrieben, scheinen die Zuordnungserfolge der Studierenden über die bzgl. oberflächlicher Merkmale unterschiedlich gestalteten Aufgabensätze hinweg zu variieren. Werden die Boxplots in Abbildung 6.24 zu den Aufgabensätzen 1, 3, 4, und 5 erneut betrachtet, so fällt auf, dass sich im direkten Vergleich lediglich die Boxen zu Aufgabensatz 3 und 4 überlagern. Die Boxen zu Aufgabensatz 1 und 3, 1 und 4, 1 und 5, 3 und 5 sowie 4 und 5 überlagern sich nicht. Hier ist somit erwartbar, dass diese Unterschiede auch statistisch signifikant werden (Rivera, 2020). Zur inferenzstatistischen Prüfung dieser Unterschiede wurden die Zuordnungserfolge der Studierenden zu Aufgabensatz 1, 3, 4 und 5, wie in Kapitel 5.2.5 beschrieben, mit einer ANOVA mit Messwiederholung analysiert, da alle Voraussetzungen erfüllt sind (vgl. Field, 2018).

Mit $\varepsilon = .85$ nach Huynh-Feldt wurde die Huynh-Feldt-Korrektur angewendet (Girden, 1992). Es ergibt sich, dass sich der Zuordnungserfolg signifikant zwischen den Aufgabensätzen unterscheidet ($F(2.56, 58.96) = 30.32, p = .001$). Ergebnisse paarweise angelegter Kontraste legen nahe, dass sich die Zuordnungserfolge zu Aufgabensatz 1 und Aufgabensatz 4 sowie zu Aufgabensatz 4 und Aufgabensatz 5 signifikant unterscheiden ($F_{1 \text{ vs. } 4}(1, 23) = 16.39, p_{1 \text{ vs. } 4} = .001, F_{4 \text{ vs. } 5}(1, 23) = 21.24, p_{4 \text{ vs. } 5} = .001$). Diese Unterschiede stellen jeweils einen großen Effekt dar ($r_{1 \text{ vs. } 4} = .65, r_{4 \text{ vs. } 5} = .69$). Die Zuordnungseffekte zu Aufgabensatz 3 und 4 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($F_{3 \text{ vs. } 4}(1, 23) = .27, p_{3 \text{ vs. } 4} = .61, r_{3 \text{ vs. } 4} = .11$).

Tabelle 6.18

Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholung, inkl. bestimmter Effektstärken r

Kontrastierte Aufgabensätze	df	df_R	Ergebnisse $F(df, df_R)$	p	r
1 vs. 4	1	23	16.39	.001	.65
3 vs. 4	1	23	.27	.61	.11
4 vs. 5	1	23	21.24	.001	.69
1 vs. 3	1	23	9.52	.01	.54
1 vs. 5	1	23	74.37	.001	.87
3 vs. 5	1	23	45.08	.001	.81

Somit ordnen Studierende Rechenaufgaben, deren Kontext mit Rampen verbunden ist (Aufgabensatz 1), erfolgreicher Lösungsansätzen zu als Rechenaufgaben, deren Kontext mit Würfeln oder fallenden Objekten verbunden sind (Aufgabensatz 4). Darüber hinaus sind Studierende erfolgreicher, Lösungsansätze in Wurf- bzw. Fall-Rechenaufgaben zu erkennen, wenn je Rechenaufgabe nur ein Lösungsansatz (Aufgabensatz 4) statt zwei Lösungsansätze (Aufgabensatz 5) identifiziert werden müssen. Es scheint bzgl. des Zuordnungserfolges dagegen jedoch nicht relevant zu sein, ob Studierende Wurf- bzw. Fall-Rechenaufgaben mit beschriebener eindimensionaler, vertikaler (Aufgabensatz 3) oder zweidimensionaler (Aufgabensatz 4) Bewegungsrichtung zuordnen.

Diskussion

Die Gründe für die Unterschiedlichkeit der Zuordnungserfolge zu Aufgabensatz 1 und 4 können divers sein. Rechenaufgaben zu Aufgabensatz 1 weisen im Vergleich zu Rechenaufgaben zu Aufgabensatz 4 einen deutlich anderen Rahmenkontext auf: Im Rahmen von Aufgabensatz 1 werden Bewegungen an Hängen und in Aufgabensatz 4 Bewegungen nach Würfeln und / oder in Fällen genauer betrachtet (vgl. Kapitel 4.1.2). Aufgrund der unterschiedlichen Rahmenkontexte ist erwartbar, dass die Studierenden jeweils verschiedene fachinhaltliche Ideen anwenden (müssen). Bspw. sind für die Bearbeitung vieler Rechenaufgaben in Aufgabensatz 1 Konzepte zur Auflage- bzw. Normalkraft von Bedeutung, welche jedoch nicht für „Flug“-Rechenaufgaben in Aufgabensatz 4 relevant sind. Hier ist z. B. eher die Anwendung von Konzepten über Richtungswechsel des Impulses notwendig. Dies bedeutet darüber hinaus, dass je nach Rahmenkontext potenziell andere (Fehl-)Vorstellungen aktiviert werden könnten (z. B. Schecker & Wilhelm, 2018, Brown & Hammer, 2008, Minstrell, 1992). Bei „Flug“-Rechenaufgaben scheint bspw. die Aktivierung der Vorstellung „Zur Aufrechterhaltung der Bewegung bedarf es einer Kraft in Bewegungsrichtung“ (Schecker & Wilhelm, 2018, S. 73) als Fehlvorstellung mit Folgen in der Zuordnung der Rechenaufgaben wahrscheinlicher als bei Rechenaufgaben mit beschleunigten Bewegungen an Hängen, da hier tatsächlich eine resultierende Kraft in Bewegungsrichtung auf das Objekt wirkt. Die Art der anzuwendenden Konzepte und die aktivierten Vorstellungen der Studierenden können sich dann ggf. auf das Verstehen der Rechenaufgaben (vgl. Abschnitt *Verstehen der Aufgabe*, s. Kapitel 2.3.3) und damit auch auf den Erfolg in der Zuordnung der Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen auswirken. Des Weiteren ist es möglich, dass die Lösungsansätze abhängig vom Rahmenkontext unterschiedlich gut erkannt werden. Wie in Kapitel 6.2.3 beschrieben, werden bspw. Energieansatzaufgaben in einem „Rutsch“-Kontext (Aufgabensatz 1) erfolgreicher Lösungsansätzen zugewiesen als Energieansatzaufgaben mit einem „Wurf“-Kontext (Aufgabensatz 4).

Ein in diesem Kapitel präsentiertes Ergebnis ist, dass Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 3 und 4 ähnlich erfolgreich zu Lösungsansätzen zugeordnet werden, obwohl die Komplexität der Aufgabensituation durch die Beschreibung von ein- zu zweidimensionalen Bewegungen von Aufgabensatz 3 zu 4 scheinbar ansteigt. Eine mögliche Ursache für diese Ähnlichkeit ist, dass ein eindimensionaler Wurf / Fall für die Studierenden ein Spezialfall des schrägen Wurfes / Falls darstellen kann. Schräge Würfe oder mindestens waagerechte Würfe werden zum einen im Schulunterricht als Überlagerung zweier Bewegungen in unterschiedlichen Raumrichtungen thematisiert (E.3 und E.4, Hessisches Kultusministerium, 2016b). Zum anderen werden diese typischerweise in Einführungsvorlesungen der Experimentalphysik besprochen und in Lehrbüchern zu Mechanik erläutert (z. B. Giancoli, 2010,

Tipler & Mosca, 2019). Hierdurch wäre es nicht verwunderlich, wenn Studierende ähnlich an die Rechenaufgaben zu vertikalen und schrägen Würfel / Fällen herangehen würden und ähnlich erfolgreich Lösungsansätze in diesen identifizieren könnten.

Die Verschiedenheit der Zuordnungserfolge zu den Aufgabensätzen 4 und 5 scheint vergleichsweise naheliegend zu sein. Die Rechenaufgaben zu den beiden Aufgabensätzen sind in der Oberflächenstruktur identisch angelegt worden (s. Kapitel 4.1.2), sie unterscheiden sich lediglich bzgl. der Anzahl notwendiger Lösungsansätze. Hier ist erwartbar, dass es Studierenden schwieriger fällt, je Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 5 gleich zwei angemessene Lösungsansätze auszuwählen als „nur“ je einen bei Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 4. Auch aus statistischer Perspektive ist die Wahrscheinlichkeit, die Rechenaufgaben zufällig angemessen zuzuordnen, bei Aufgabensatz 5 niedriger als bei Aufgabensatz 4.

KAPITEL 7

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Kapitel werden die in Kapitel 6 dargestellten Ergebnisse u. a. in Hinblick auf die in Kapitel 3 formulierten Forschungsfragen zusammengefasst. Kapitel 7.1 ist dabei der Zusammenfassung von Ergebnissen zu Personenmerkmalen der Studierenden gewidmet. In Kapitel 7.2 wird mit der Zusammenfassung von Ergebnissen zu Zuordnungen der Studierenden (auch in Verbindung mit Personen- und Aufgabenmerkmalen) auf Fragenkomplex 2 Bezug genommen und in Kapitel 7.3 mit der Zusammenfassung von Schwierigkeiten der Studierenden beim Identifizieren von Lösungsansätzen Fragenkomplex 3 adressiert. In Kapitel 7.4 werden mit Blick auf Forschungsfrage 5 (FF 5) Hinweise zum Gruppieren als Fördermaßnahme zusammengefasst. Die Diskussion und Einordnung der Ergebnisse findet detailliert in den entsprechenden Ergebniskapiteln statt (s. dazu Kapitel 6). Es ist anzumerken, dass auf Antworten zu den Fragekomplexen 1 und 4 verzichtet wird. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Auswertung des qualitativen Zugangs aus zeitlichen Gründen nicht hinreichend erfolgen konnte. Der Fokus dieser Arbeit liegt daher auf dem quantitativen Zugang, sodass in der folgenden Zusammenfassung nur Bezüge zu den verbleibenden Fragekomplexen 2 und 3 sowie zu Forschungsfrage 5 hergestellt werden. Darüber hinaus werden in diesem Kapitel Erträge und Implikationen für die Gestaltung von Lehrveranstaltungen im Physikstudium (s. Kapitel 7.5) sowie anschließende Forschungsperspektiven (s. Kapitel 7.6) vorgestellt.

7.1 Zusammenfassung von Ergebnissen zu Personenmerkmalen



Im Rahmen des quantitativen Zugangs wurde im ersten Erhebungsschritt ein Fragebogen zur Erfassung einiger Personenmerkmale der Studierenden eingesetzt, der einerseits Selbsteinschätzungssitems zum mathematischen und physikalischen Selbstkonzept, zu empfundenen (Ursachen von) Schwierigkeiten beim Lösen von Rechenaufgaben und zur Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. der Lösung von Rechenaufgaben beinhaltet (s. Kapitel 4.1.1). Andererseits wurden mit Testitems im Fragebogen das Mechanikverständnis und die Fähigkeiten der Studierenden zum Umgang mit mathematischen Operationen erhoben. Im Folgenden werden zentrale Ergebnisse aus dem Einsatz des Fragebogens in einer Erhebung mit Studierenden verschiedenen Semesters zusammengefasst.

Physikalisches und mathematisches Selbstkonzept. In dieser Studie wurde die Einschätzung von Studierenden zu einem Item zum physikalischen und zu einem Item zum mathematischen Selbstkonzept erhoben. Das erste Item bezieht sich auf das Verständnis der Studierenden von Konzepten der Mechanik, während das zweite Item die Einschätzung über die Fähigkeit der Studierenden zur Durchführung mathematischer Operationen abfragt. Insgesamt schätzten die Studierenden ihr Verständnis zu Mechanik und ihre Fähigkeiten zum Durchführen mathematischer Operationen als eher hoch ein. Hierbei wurden die mathematischen Fähigkeiten häufig gleich hoch oder höher als das Verständnis zur Mechanik eingeschätzt. Auffällig ist, dass die Einschätzung, ein sehr gutes Verständnis zu Konzepten aus der Mechanik zu haben, häufig mit einer sehr hohen Einschätzung zu mathematischen Fähigkeiten einhergeht. Eine sehr hohe Einschätzung zu mathematischen Fähigkeiten geht dagegen häufig nicht mit sehr hohen Einschätzungen zum Verständnis von Konzepten aus der Mechanik einher. Zudem wurden die Studierenden auf Basis ihrer Einschätzungen zu diesen Items jeweils mithilfe einer Clusteranalyse in Gruppen über die Einschätzungen eingeteilt. Zum Item über das physikalische Selbstkonzept wurden so vier Gruppen und zum Item über das mathematische Selbstkonzept drei Gruppen gebildet. Hierbei wurde jeweils mindestens eine Gruppe aufgrund einer geringen Anzahl an Studierenden in dieser Gruppe für weitere Analysen in Verbindung mit Einschätzungen zu den Items zum physikalischen und mathematischen Selbstkonzept ausgeschlossen.

Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben. Die Studierenden wurden befragt, inwiefern ausgewählte Aspekte Ursachen für Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben darstellen. Besonders häufig stimmten die Studierenden der Aussage zu, dass ihnen das Finden eines Ansatzes Schwierigkeiten bereitet oder sie Fachinhalte noch nicht gut genug verstehen bzw. diese in den Lehrveranstaltungen noch nicht ausführlich genug thematisiert worden sind. Selten wurde den Aussagen zugestimmt, dass das weitere Vorgehen nach dem Finden eines Lösungsansatzes unklar wäre oder Unsicherheiten im Umgang mit Gleichungen und Formeln zu Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben führen würden. Mithilfe einer Clusteranalyse wurden drei Typen bzgl. der Einschätzungen über die potentiellen Ursachen Schwierigkeiten identifiziert. Der erste Typ lässt sich darüber charakterisieren, dass Ursachen für Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben primär mathematischer Natur sind. Studierende, die Einschätzungen nach dem zweiten Typ abgegeben haben, haben primär ihr fachliches Verständnis und das Finden von Lösungsansätzen als Ursache für auftretende Schwierigkeiten angegeben. Einschätzungen zum dritten Typ ähneln denen zum zweiten Typ. Andere Ursachen als das fachliche Verständnis und das Finden von Lösungsansätzen für das Auftreten von Schwierigkeiten wurden von Studierenden dieses Typs als besonders wenig relevant eingeschätzt. Da nur zwei Studierende Typ 3 zugeordnet werden können, wurde dieser Typ in weiteren Analysen mit Bezug zu den Schwierigkeitstypen nicht berücksichtigt.

Selbstwirksamkeitserwartung. Der in der Studie eingesetzte Fragebogen enthält Items zur Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. des erfolgreichen Abschließens von Lösungsabschnitten zu drei gegebenen Rechenaufgaben, die mit unterschiedlichen Lösungsansätzen (Energie-, Kraft- oder Bewegungsansatz) gelöst werden können. Die Zustimmung zu den Items ist zu allen Lösungsabschnitten

und allen drei Rechenaufgaben grundsätzlich eher hoch. Nur zum Item über das Finden eines Lösungsansatzes ist die Zustimmung bei allen Rechenaufgaben etwas schwächer. Die Einschätzungen der Studierenden zur Erwartung Lösungsabschnitte zur Kraftansatzaufgabe erfolgreich abschließen zu können, ist bei allen Lösungsabschnitten im Vergleich zu den Einschätzungen zu den anderen Rechenaufgaben etwas niedriger. Die Einschätzungen zur Energie- und Bewegungsansatzaufgabe sind dagegen je Lösungsabschnitt zumeist identisch. Mithilfe einer Clusteranalyse zum Mittelwert der Einschätzungen über die Selbstwirksamkeitserwartung den Lösungsabschnitt *Finden eines Lösungsansatzes* erfolgreich abschließen zu können, wurden die Studierenden vier Gruppen zugeteilt, wobei eine Gruppe sehr klein ist und in weiteren Analysen in Verbindung mit der Selbstwirksamkeitserwartung daher nicht mehr beachtet wurde.

Fähigkeiten der Studierenden zu Mechanik. Der eingesetzte Fragebogen beinhaltet Testitems zum Verständnis der Mechanik, deren Lösungswahrscheinlichkeit nahezu das mittlere und obere Drittel abdecken. Items zur Energieerhaltung wurden von allen Studierenden angemessen beantwortet, sodass diese Items in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt wurden. Die verbleibenden Items wurden von den Studierenden verschieden erfolgreich bearbeitet. Der Anteil angemessen beantworteter Items je Student*in deckt etwas mehr als das mittlere und obere Drittel ab. Die Studierenden wurden auf Grundlage einer Clusteranalyse zum Anteil angemessen beantworteter Items in vier Gruppen geteilt, wobei eine dieser Gruppen aus nur zwei Studierenden mit sehr niedrigen Punktzahlen im Test besteht. Diese Gruppe wurde in weiteren statistischen Tests in Verbindung mit dem Erfolg im Mechaniktest ausgeschlossen.

Mathematische Fähigkeiten der Studierenden. Die Testitems zur Erfassung von Fähigkeiten der Studierenden zum Durchführen mathematischer Operationen wurden zumeist relativ erfolgreich bearbeitet, sodass die Lösungswahrscheinlichkeiten zu den Items über etwas mehr als das obere Drittel verteilt liegen. Die Anteile der zu den Testitems von den Studierenden insgesamt erreichten Punkte liegen in der oberen Hälfte. Auf Grundlage einer Clusteranalyse wurden die Studierenden in drei Gruppen bzgl. der erreichten Anteile an Punkten im Test eingeteilt, wobei eine der Gruppen nur aus einer Person mit einer niedrigen Punktzahl besteht. Diese niedrige Punktzahl wurde als Ausreißer interpretiert und die Gruppe wurde folglich für weitere statistische Tests in Verbindung mit dem Erfolg im Mathematiktest nicht mehr berücksichtigt.

7.2 Zusammenfassung von Ergebnissen zu Zuordnungen Studierender von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen (Bezug Fragenkomplex 2)

Der zweite Fragenkomplex beinhaltet die Frage danach, inwiefern den Studierenden das angemessene Auswählen von Lösungsansätzen gelingt und inwiefern der Erfolg beim Identifizieren von Lösungsansätzen mit Personen- und Aufgabenmerkmalen zusammenhängt. Im quantitativen Zugang wurden zur Untersuchung dieses Fragenkomplexes Studierende verschiedenen Semesters zum Zuweisen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen in einem Online-Fragebogen aufgefordert. Die Rechenaufgaben im Fragebogen sind in Aufgabensätzen organisiert, wobei ein Aufgabensatz Rechenaufgaben mit gleichen Oberflächenstrukturmerkmalen beinhaltet. Innerhalb eines Aufgabensatzes variiert der zur Lösung anzuwendende Lösungsansatz (E: Energie-, K: Kraft-, B: Bewegungsansatz) als Tiefenstrukturmerkmal. Aufgabensatz 1 und 2 beinhalten Rechenaufgaben, in denen die Bewegung von rutschenden Objekten in zwei Dimensionen beschrieben wird. In Aufgabensatz 1 sind diese Bewegungen beschleunigt und in Aufgabensatz 2 erfolgen diese mit konstanter Geschwindigkeit. In Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 3, 4 und 5 werden Würfe beschrieben. Diese Würfe sind in Aufgabensatz 3 vertikal („senkrechter Wurf“) und in Aufgabensätzen 4 und 5 horizontal und vertikal orientiert („schräger Wurf“). Rechenaufgaben aus den Aufgabensätzen 1 – 4 können unter Anwendung eines Lösungsansatzes gelöst werden, zur Lösung von Rechenaufgaben aus Aufgabensatz 5 ist die Anwendung von zwei Lösungsansätzen erforderlich. In dieser Arbeit wurden die Zuordnungen der Studierenden genauer untersucht. Dabei wurden die Rechenaufgaben für Analysen zum einen nach gleichen Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen gebündelt. Die Bezeichnung dieser Rechenaufgabengruppen ist nach dem Schema *AufgabensatzLösungsansatz* (z. B. 1E) gewählt. Die Ergebnisse über den Erfolg der Studierenden beim Zuordnen der Rechenaufgaben in diesen Rechenaufgabengruppen isoliert sowie in Verbindung mit Personen- und Aufgabenmerkmalen werden in Kapitel 7.2.1 zusammengefasst. Details über die Häufigkeit von nicht angemessenen Alternativzuordnungen werden in Kapitel 7.2.2 gebündelt. Zum anderen wurden die Rechenaufgaben für die Analysen nach den Aufgabensätzen gebündelt. Die Ergebnisse zum Erfolg der Studierenden beim Zuordnen der Rechenaufgaben nach Aufgabensätzen, sowohl isoliert als auch in Verbindung mit Aufgabenmerkmalen, werden in Kapitel 7.2.3 zusammengefasst.

7.2.1 Zusammenfassung zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen

In diesem Kapitel werden Ergebnisse zum Zuordnungserfolg der Studierenden zu Rechenaufgabengruppen zusammengefasst. Die Rechenaufgabengruppen umfassen jeweils Rechenaufgaben mit gleichen Oberflächen- und Tiefenstrukturmerkmalen. Die Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgt analog zur initialen Vorstellung in Kapitel 6.2.3 am Forschungsdreieck. Zunächst werden dabei Ergebnisse zum Zuordnungserfolg isoliert, dann in Verbindung zu Personenmerkmalen und abschließend in Verbindung mit Aufgabenmerkmalen zusammengetragen.

Zu Ergebnissen über Zuordnungserfolge. Ergebnisse der Auswertung von Zuordnungserfolgen zu den Rechenaufgabengruppen zeigen, dass Rechenaufgabengruppen verschieden erfolgreich zu Lösungsansätzen zugeordnet werden. Dies wird zum einen mit Blick auf die Studierenden u. a. daran deutlich, dass die Spannweiten der Zuordnungserfolge der Studierenden zu den Rechenaufgabengruppen alle möglichen Werte abdecken. Zum anderen variieren mit Blick auf die Rechenaufgaben u. a. die Mediane der Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen ebenfalls über alle möglichen Werte.



Zu Ergebnissen aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Personenmerkmale. Die mittleren Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgabengruppen der Studierenden, eingeteilt in Gruppen nach der Einschätzung zum Item über das *physikalische Selbstkonzept*, weisen bzgl. der betrachteten Gruppen keine statistisch signifikanten Unterschiede auf. Gleiches gilt für die Einteilung nach der Einschätzung zum Item über das *mathematische Selbstkonzept*, die Einteilung nach dem *Schwierigkeitsstyp* und die Einteilung nach der Zustimmung zur *Schwierigkeit einen Lösungsansatz identifizieren zu können*. Die Einteilung der Studierenden in Gruppen nach dem Anteil der im *Mechaniktest* erreichten Punktzahlen lässt teilweise statistisch signifikante Unterschiede deutlich werden. Statistisch signifikante Unterschiede können zu den Rechenaufgabengruppen 1E und 4K gefunden werden. Nahezu signifikant sind Unterschiede zu den Rechenaufgabengruppen 3B und 5EK. Aus paarweisen Vergleichen ergibt sich: Studierende mit sehr hohem Testscore im Mechaniktest haben nahezu signifikant ($p = .062$) höhere Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgaben der Gruppe 1E erreicht als Studierende mit niedrigem Testscore (mittlerer Effekt). Studierende mit mittel bis hohem Testscore in Mechanik haben nahezu signifikant ($p = .061$) höhere Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgaben der Gruppe 3B erreicht als Studierende mit niedrigem Testscore (mittlerer Effekt). Studierende mit sehr hohem Testscore im Mechaniktest haben signifikant höhere Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgaben der Gruppe 4K erreicht als Studierende mit niedrigem Testscore (großer Effekt). Studierende mit mittel bis hohem Testscore in Mechanik haben nahezu signifikant ($p = .093$) niedrigere Zuordnungserfolge zu den Rechenaufgaben der Rechenaufgabengruppe 5EK erreicht (mittlerer Effekt). Die Einteilung der Studierenden in Gruppen nach der erreichten Punktzahl im Mathematiktest lässt ebenfalls teilweise signifikante Unterschiede deutlich werden. Signifikante Unterschiede können zu den Rechenaufgabengruppen 1B (großer Effekt), 3B (mittlerer Effekt) und 4K (großer Effekt) gefunden werden. Nahezu signifikant sind Unterschiede zu den Rechenaufgabengruppen 3K ($p = .093$, kleiner Effekt) und 4B ($p = .083$, mittlerer Effekt). Bei diesen Unterschieden erreichen Studierende mit einem sehr hohen Anteil an Punkten im Mathematiktest im Mittel einen höheren Zuordnungserfolg bzgl. der Rechenaufgabengruppen als Studierende mit einem mittel bis hohen Anteil erreichter Punkte im Mathematiktest.



Zu Ergebnissen aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Die Betrachtung der Zuordnungserfolge im Vergleich der Rechenaufgabengruppen liefert zum Teil statistisch signifikante Unterschiede. Diese Unterschiede betreffen einerseits Vergleiche von Rechenaufgabengruppen innerhalb eines Aufgabensatzes (unter Kontrolle der Oberflächenstrukturmerkmale der Rechenaufgaben) sowie andererseits Vergleiche von Rechenaufgabengruppen zwischen



Aufgabensätzen (unter Kontrolle der Tiefenstrukturmerkmale und systematischer Variation von Oberflächenmerkmalen). Signifikante Unterschiede von Vergleichen innerhalb der Aufgabensätze werden am Vergleich der Rechenaufgabengruppen 3E und 3K, 4E und 4K sowie 4E und 4B erkennbar. Zuletzt genannte Rechenaufgabengruppen werden hierbei im Vergleich tendenziell erfolgreicher Lösungsansätzen zugeordnet. Die Effekte können jeweils als groß eingeschätzt werden mit $r \geq .87$. Signifikante Unterschiede von Vergleichen über Aufgabensätze hinweg werden am Vergleich der Rechenaufgabengruppen 4E und 1E, 5EK und 4K sowie 5BE und 4B deutlich. Zuletzt genannte Rechenaufgabengruppen werden hierbei tendenziell erfolgreicher Lösungsansätzen zugeordnet. Die Effekte können ebenfalls jeweils als groß eingeschätzt werden mit $r \geq .90$. Insgesamt kann hieraus geschlossen werden, dass Energieansätze insb. in Rechenaufgaben zu Würfeln weniger erfolgreich erkannt werden.

7.2.2 Zusammenfassung zur Häufigkeit ausgewählter Lösungsansätze bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Aufgabenmerkmalen

Zur näheren Analyse der nicht angemessenen Zuordnungen wurde zusätzlich untersucht, welche unangemessenen Lösungsansätze die Studierenden ausgewählt haben. Dabei wurde der Anteil betrachtet, wie häufig eine Rechenaufgabengruppe jeweils einem bestimmten Lösungsansatz zugeordnet wurde. Es handelt sich somit zunächst um eine Zusammenhangsanalyse mit Blick auf die Verbindung von Zuordnungen und Aufgabenmerkmale (wegen des Fokus auf Rechenaufgabengruppen). In einem zweiten Schritt wurde diese Betrachtung erweitert und der Anteil der Zuordnungen nach Personenmerkmalen der Studierenden differenziert. Hierbei wurde aufgrund zeitlicher Einschränkungen zum Abfassen dieser Arbeit auf die Einteilung nach Punktzahlen im Mechaniktest fokussiert, da hier bereits zuvor ein signifikanter Zusammenhang mit dem Zuordnungserfolg festgestellt wurde.



Zu Ergebnissen aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Bei der Analyse der Anteile ausgewählter Lösungsansätze je Rechenaufgabengruppe zeigt sich, dass bestimmte Lösungsansätze im Vergleich zu den intendierten Lösungsansätzen von den Studierenden häufiger ausgewählt werden. Besonders häufig wurden Rechenaufgaben statt einem Energie- einem Bewegungsansatz zugeordnet. Dies betrifft insbesondere die Rechenaufgabengruppen 3E, 4E und 5EK. Rechenaufgaben der Rechenaufgabengruppe 5BE werden häufig nur zu einem Bewegungsansatz zugeordnet, der Energieansatz wird in diesen Rechenaufgaben selten erkannt. Teilweise wurden Rechenaufgaben, die einen Kraftansatz erfordern, zu einem Bewegungsansatz zugeordnet. Weitere unangemessene Zuordnungen sind weniger globaler Natur. So wurden Rechenaufgaben vom Typ 5BK und 5EK häufig zum Bewegungsansatz zugewiesen. Zudem wurden Rechenaufgaben vom Typ 5BE teilweise einem Bewegungs- und Kraftansatz und Rechenaufgaben vom Typ 5BK teilweise einem Bewegungs- und Energieansatz zugeordnet. Hier wurden somit Kraft- und Energieansatz „verwechselt“.



Zu Ergebnissen aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Aufgaben- und Personenmerkmale. Die Einteilung der Studierenden in Gruppen nach den Anteilen erreichter Punktzahlen

im Mechaniktest legt bzgl. der Anteile ausgewählter unangemessener Lösungsansätze je Rechenaufgabengruppe nahe, dass auch hier Unterschiede bestehen könnten. Die Zuordnung von Rechenaufgaben der Gruppe 3E zum Bewegungsansatz wurde insbesondere von Studierenden vorgenommen, die einen mittel bis hohen oder sehr hohen Anteil an Punkten im Mechaniktest erreicht haben. Studierende mit niedrigem Anteil an Punkten im Mechaniktest haben Rechenaufgaben dieser Rechenaufgabengruppe alternativ einem Kraftansatz oder einer Kombination aus Bewegungs- und Kraftansatz zugewiesen. Zu Rechenaufgabengruppe 4E und 5EK kann dieser Unterschied qualitativ nicht beobachtet werden. Die Zuweisung von Rechenaufgaben vom Typ 5BK und 5EK zum Bewegungsansatz wurde primär durch Studierende mit mittel bis hohen und sehr hohen (also nicht mit niedrigen) Anteilen an Punkten im Mechaniktest vorgenommen. Die Zuordnung von Rechenaufgaben des Typs 5BE zur Kombination von Bewegungs- und Kraftansatz wurde primär durch Studierende mit niedrigen oder mittel bis hohen (also nicht sehr hohen) Anteilen an Punkten im Mechaniktest durchgeführt. Zuordnungen von Rechenaufgaben aus der Rechenaufgabengruppe 5BK zur Kombination aus Energie- und Bewegungsansatz wurden ebenfalls eher von Studierenden mit niedrigen oder mittel bis hohen (also nicht sehr hohen) Anteilen an Punkten im Mechaniktest vorgenommen. Die im vorigen Abschnitt hervorgehobene „Verwechslung“ von Energie- und Kraftansatz kann somit primär bei Studierenden mit niedrigen und mittel – hohen Anteilen an Punkten im Mechaniktest beobachtet werden.

7.2.3 Zusammenfassung zum Zuordnungserfolg bzgl. Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz

Dieses Kapitel umfasst die Zusammenfassung von Ergebnissen zum Zuordnungserfolg der Studierenden zu Aufgabensätzen. Die Zuordnungserfolge zu Rechenaufgaben mit gleichen Oberflächenstrukturmerkmalen werden hier somit gebündelt betrachtet. Die Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgt analog zur initialen Vorstellung in Kapitel 6.2.5 am Forschungsdreieck. Zunächst werden dabei Ergebnisse zum Zuordnungserfolg isoliert und abschließend in Verbindung mit Aufgabenmerkmalen zusammengefasst. Zusammenhangsanalysen in Verbindung mit Personenmerkmalen wurden aus zeitlichen Gründen nicht durchgeführt.

Zu Ergebnissen über Zuordnungserfolge. Die Zuordnungserfolge der Studierenden zu den Aufgabensätzen erweisen sich in zweierlei Hinsichten als variantenreich. Einerseits sind die Spannweiten der Zuordnungserfolge zu Aufgabensatz 1 bis 4 relativ groß, sodass mit Blick auf die Studierenden festgehalten werden kann, dass die Zuordnungserfolge der Studierenden in den Aufgabensätzen 1 bis 4 jeweils Unterschiede aufweisen. Andererseits ist die Spannweite der Zuordnungserfolge zu Aufgabensatz 5 kleiner und es können Unterschiede bzgl. der Lage der Boxen in Boxplots sowie der Mediane zu den Zuordnungserfolgen je Aufgabensatz beobachtet werden. Zuordnungserfolge der Studierenden weisen somit auch mit Blick auf die Aufgabensätze Unterschiede auf. Des Weiteren wurde qualitativ analysiert, inwiefern die Studierenden je Aufgabensatz Zuordnungserfolge oberhalb, entsprechend oder unterhalb des Medians erreicht haben und inwiefern Studierende, die bspw. zu Aufgabensatz 1 einen Zuordnungserfolg oberhalb des Medians erreicht haben auch zu Aufgabensatz 3 und 4 Zuordnungserfolge oberhalb / entsprechend / unterhalb des Medians erreicht haben. Die



Analysen zeigen, dass Studierende, die zu Aufgabensatz 1 Zuordnungserfolge oberhalb (/ unterhalb) des Medians erreicht haben, auch zu Aufgabensatz 3 und 4 tendenziell Zuordnungserfolge oberhalb (/ unterhalb) des Medians erreicht haben. Wechsel zwischen dieser Einteilung werden (insb. bei Studierenden, die in Aufgabensatz 1 einen Zuordnungserfolg entsprechend des Medians erzielt haben) dennoch häufig beobachtet. Im Vergleich der Studierenden, die Aufgabensatz 2 bearbeitet haben mit den Studierenden, die Aufgabensatz 2 nicht bearbeitet haben, lässt sich auf qualitativem Wege keine stabile Verbesserung oder Verschlechterung bzgl. des Erreichens von Zuordnungserfolgen in einer sozialen Normierung erkennen.



Zu Ergebnissen aus Zusammenhangsanalysen: Zuordnungen – Aufgabenmerkmale. Der Vergleich der Zuordnungserfolge zwischen den Aufgabensätzen zeigt statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Aufgabensätzen 1 und 4 sowie 4 und 5 (große Effekte). Hierbei sind die Zuordnungserfolge der Studierenden zu Aufgabensatz 1 tendenziell höher als zu Aufgabensatz 4 und die Zuordnungserfolge zu Aufgabensatz 4 höher als zu Aufgabensatz 5. Rechenaufgaben, in denen die Bewegung rutschender Objekte beschrieben wird („schiefe Ebene“), werden somit erfolgreicher Lösungsansätzen zugeordnet als Rechenaufgaben, in denen der zweidimensionale Flug von Objekten („schiefer Wurf“) beschrieben wird. Rechenaufgaben, in denen der zweidimensionale Flug von Objekten („schiefer Wurf“) beschrieben wird, werden erfolgreicher Lösungsansätzen zugewiesen, wenn nur ein Lösungsansatz identifiziert werden muss.

7.3 Zusammenfassung von Ergebnissen zu Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen (Bezug Fragenkomplex 3)

Im Fragebogen des ersten Erhebungsschrittes (vgl. Kapitel 4.1.1) wurden von Studierenden beim Bearbeiten von Rechenaufgaben erlebte Schwierigkeiten (grob) abgefragt. Es zeigte sich, dass das Identifizieren eines Lösungsansatzes besonders häufig als eine Ursache für Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben aufgefasst wurde. Seltener wurden als Ursachen für Schwierigkeiten das nicht ausreichende Verständnis von Fachinhalten, die nicht ausreichende Thematisierung von Fachinhalten in Fachveranstaltungen und die komplizierte Formulierung der Aufgabenstellung angegeben. Sehr selten wurde das mangelnde Verstehen der Rechenaufgabe, die fehlende Idee zum rechnerischen Vorgehen nach dem Finden eines Ansatzes oder der Umgang mit Formeln als Ursachen für Schwierigkeiten eingeschätzt. Diese Beobachtung passt zu den abgegebenen Selbsteinschätzungen zur Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. des Abschließens unterschiedlicher Lösungsabschnitte zu drei verschiedenen Rechenaufgaben, indem einige Studierende angegeben haben, sich das Identifizieren eines Lösungsansatzes weniger zuzutrauen.

Aus Ergebnissen dieser Arbeit kann über die Selbsteinschätzung der Studierenden hinaus abgeleitet werden, dass das Identifizieren von Lösungsansätzen (insb. des Energieansatzes) für viele Studierende tatsächlich eine Schwierigkeit darstellt, die nicht zu allen Rechenaufgaben gleichermaßen auftritt (vgl. Kapitel 6.2). Des Weiteren geht aus Ergebnissen des Mechanik- und Mathematiktests (vgl. Kapitel 4.1.1) hervor, dass einige Studierende zum Erhebungszeitpunkt (noch) kein angemessenes

Verständnis zu Konzepten der Mechanik aufgebaut hatten (vgl. Kapitel 6.1.4) und bei der Durchführung elementarer mathematischer Operationen Fehler begangen haben (vgl. Kapitel 6.1.5). Die Gruppierung der Studierenden nach dem Erfolg im Mechanik- und Mathematiktest in Verbindung mit der Analyse des Erfolgs beim Zuordnen von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen legt nahe, dass ein mangelndes Verständnis physikalischer und mathematischer Konzepte eine potentielle Ursache für Schwierigkeiten beim Identifizieren von Lösungsansätzen darstellen kann.

7.4 Zusammenfassung von Hinweisen zum Gruppieren von Rechenaufgaben als Fördermaßnahme (Bezug Forschungsfrage 5)

Die fünfte Forschungsfrage beinhaltet, inwiefern das Gruppieren von Rechenaufgaben und das Bereitstellen kurzer Einhilfen Studierende bei der Auswahl von Lösungsansätzen unterstützen können. Aufgrund der Fokussierung in dieser Arbeit auf den quantitativen Zugang können keine Ergebnisse über die Unterstützungskraft von kurzen Einhilfen bei der Auswahl von Lösungsansätzen festgehalten werden. Es hat sich lediglich gezeigt, dass das häufigere Auswählen von Lösungsansätzen durch die zusätzliche Bearbeitung von Aufgabensatz 2 nicht notwendigerweise mit einer erfolgreicherer Identifikation von Lösungsansätzen im Vergleich zu den Studierenden in dieser Studie zusammenhängt (vgl. Ergebnisse in Kapitel 6.2.5). Nicht untersucht wurde (z. B. mit Prä- und Posttests), inwiefern das Gruppieren von Rechenaufgaben grundsätzlich einen Effekt bzgl. des Erfolges beim Identifizieren von Lösungsansätzen bewirkt. Die Auswertung des qualitativen Zugangs kann, insb. mit Blick auf die Frage nach der Änderung des Gruppierungsvorgehens mit der Zeit, dennoch wertvolle Hinweise zur Bearbeitung der Forschungsfrage liefern.

7.5 Mögliche Erträge und Implikationen für die Gestaltung von Lehrveranstaltungen im Physikstudium

Für die Gestaltung von Lehrveranstaltungen im Physikstudium kann aus Ergebnissen dieser Arbeit abgeleitet werden, dass der Erfolg beim Lösen von Rechenaufgaben, und dabei insb. bei dem Identifizieren von Lösungsansätzen, auch mit Eigenschaften der Rechenaufgaben (Aufgabenmerkmalen) zusammenhängen kann. Bei dem Einsatz von Rechenaufgaben als Beispiele, Worked-Examples (z. B. Renkl, 2005), Übungsaufgaben oder Prüfungsaufgaben sollten diese Merkmale daher mitbedacht und bewusst variiert werden, sodass der Aufbau von unangemessenen Vorstellungen, wie „Der Energieansatz ist nur bei vertikalen Bewegungen anwendbar.“ möglichst nicht provoziert wird. Hierfür könnte vor dem Einsatz einer Rechenaufgabe u.a. analysiert werden:

*Welche Ausprägungen haben Merkmale bzgl. der **Oberflächenstruktur** der Rechenaufgaben?*

- Welche Objekte (z. B. Rollen, Federn) kommen in der Aufgabenstellung vor?
- Welche Größen sind gegeben / gesucht?
- ...

*Welche Ausprägungen haben Merkmale bzgl. der **Tiefenstruktur** der Rechenaufgaben?*

- *Welcher Lösungsansatz führt besonders effizient zur Lösung?*
- *Wie „typisch“ ist die Anwendung dieses Lösungsansatzes im Vergleich zu oberflächlich ähnlichen Rechenaufgaben?*
- *Führen weitere Lösungsansätze zu einer Lösung? Wenn ja, sind diese umständlicher anzuwenden?*
- ...

Aus Ergebnissen dieser Arbeit kann nicht abgeleitet werden, wie Lehrveranstaltungen gestaltet sein sollten, um die Studierenden beim Identifizieren von Lösungsansätzen sowie dem Lösen von Rechenaufgaben insgesamt bestmöglich zu fördern. Im Folgenden werden empirisch noch zu prüfende Ideen der Autorin mit Bezügen zu Ergebnissen der vorliegenden Arbeit und anderer Arbeiten gebündelt.

Bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben in Übungsveranstaltungen kann das gemeinsame und vertiefte Erarbeiten jedes Lösungsabschnitts hilfreich sein. Hierbei sollte im Besonderen der Bearbeitungsprozess im Fokus stehen und nicht das Bearbeitungsergebnis, das lt. Woitkowski (2021b) im regulären Übungsbetrieb ansonsten häufig im Vordergrund steht. Auf diese Weise können wertvolle Diskussionsanlässe geschaffen werden. Diese Herangehensweise ermöglicht es Lernbegleiter*innen, tiefergehende Einblicke in das Verständnis und die spezifischen Schwierigkeiten der Studierenden zu bekommen (vgl. Woitkowski, 2021b).

Ergebnisse von u. a. Brandenburger (2016) und Friege (2001) legen nahe, dass das Fachwissen von Studierenden für den Erfolg beim Lösen von Rechenaufgaben bedeutsam ist (s. Kapitel 2.4.2). Auch aus dieser Arbeit geht hervor, dass das fachliche Verständnis der Studierenden zum Gegenstand der Rechenaufgabe in Zusammenhang mit dem erfolgreichen Identifizieren eines Lösungsansatzes stehen kann. Es kann daher in Übungsveranstaltungen lohnenswert sein, die aktive fachliche Durchdringung zu Beginn der Rechenaufgabenbearbeitung beim *Verstehen der Aufgabe* (vgl. Lösungsabschnitte, Kapitel 2.5) anzuregen. Hierfür könnten verschiedene fachliche Perspektiven zur Analyse der Aufgabensituation eingenommen werden. Bspw. könnte aus „Energieperspektive“ diskutiert werden, inwiefern in der Aufgabensituation Energieumwandlung stattfindet, oder aus „Kraftperspektive“ analysiert werden, welche Kräfte auf Objekte in der Aufgabensituation wirken. Diese Vorgehensweise kann die Wiederholung von Vorlesungsinhalten und Anwendung der zugehörigen fachlichen Konzepte fördern und die Erzeugung von Diskussionsanlässen die *aktive* Auseinandersetzung der Studierenden mit diesen Konzepten begünstigen. Im Idealfall können die Studierenden hierbei ihr fachliches Verständnis ausbauen oder zumindest besser abschätzen, welche Aspekte sie noch nicht verstehen. Gleichzeitig können anwesende Lernbegleiter*innen (Dozent*innen, Tutor*innen, Übungsleiter*innen, ...) eine genauere Idee von fachlichen Schwierigkeiten und Vorstellungen der Studierenden generieren und diesen entsprechend begegnen. Diskutiert werden könnte (a) allgemein und (b) aufgabenspezifisch:

- (a) *Welche fachlichen Perspektiven (Energie-, Kraft-, Bewegungs-, Impuls-, Drehmoment-, Drehimpulsperspektive, ...) gibt es?*
- (b) *Wie wirkt die Aufgabensituation aus verschiedenen fachlichen Perspektiven?*

Die Einnahme verschiedener fachlicher Perspektiven zur Analyse der Rechenaufgabe kann zusätzlich nützlich für die Auswahl eines Lösungsansatzes sein, da währenddessen ggf. bereits Grenzen der jeweiligen Perspektiven erkennbar werden. Wird bspw. in einer Rechenaufgabe ein durchweg ruhendes Objekt beschrieben, liefert eine energetische Betrachtung dieses Objektes mit Blick auf die Aufgabenlösung zumeist kaum einen Mehrwert. Im Zuge des Lösungsabschnittes *Identifizieren eines Lösungsansatzes* (vgl. Lösungsabschnitte, Kapitel 2.5) könnte mit den Studierenden allgemein (c, h), aufgabenspezifisch (d, e, f, g) und reflektiv (g, h) diskutiert werden:

- (c) *Inwiefern stehen fachliche Perspektiven in Verbindung mit Lösungsansätzen?*
- (d) *Aus welcher fachlichen Perspektive kann für diese Rechenaufgabe ein Lösungsansatz hervorgehen und wieso?*
- (e) *Gibt es weitere fachliche Perspektiven aus denen für diese Rechenaufgabe ein Lösungsansatz abgeleitet werden kann? Welche fachlichen Perspektiven sind dies und wieso?*
- (f) *Welcher der möglichen Lösungsansätze ist zu dieser Rechenaufgabe am effizientesten und wieso?*
- (g) *Wieso habe ich bei dieser Aufgabe (intuitiv) an Lösungsansatz X gedacht?*
- (h) *Durch welche (Oberflächen- und Tiefenstruktur-)Merkmale zeichnen sich Rechenaufgaben üblicherweise aus, die einen Lösungsansatz X aus der fachlichen Perspektive Y erfordern?*

Die Diskussion der in (a) – (h) beschriebenen Aspekte bewirkt neben der vertieften fachlichen Auseinandersetzung das möglichst lange Arbeiten ohne die konkrete Anwendung von Formeln und Gleichungen. Auf diese Weise soll vermieden werden, dass Studierende die „Recursive plug-and-chug“-Strategie (also dem wiederholten ineinander Einsetzen von Formeln; s. Tuminaro, 2004) nutzen. Mit der Diskussion der verallgemeinernden Punkte (a), (c) und (h) wird die *explizite* Kommunikation von und über Konzepte zu Lösungsansätzen angestrebt. Die explizite Kommunikation zu erlernender Konzepte wird als effizienter erachtet als das eigenständige Entdecken dieser Konzepte durch die Lernenden (z. B. Zhang, Kirschner, Cobern et al., 2022). Diese Einschätzung kann durch Ergebnisse empirischer Arbeiten, zumindest zu Konzepten über das experimentellen Denken und Arbeiten, wiederholt gestützt werden (z. B. Vorholzer, Aufschnaiter & Boone, 2020). Da Schritte zum Experimentieren auch in Einklang mit Schritten des Problemlösens gebracht werden können (Priemer et al., 2020), ist naheliegend, dass sich auch zum Problemlösen und zum Lösen von Rechenaufgaben die explizite Kommunikation von zu lernenden Konzepten als effizienter erweist.

Die Kenntnis von möglichen fachinhaltlichen Perspektiven bzw. Lösungsansätzen kann für die Studierenden eine Analysehilfe darstellen. Die Studierenden können diese Analysehilfe nutzen, um Rechenaufgaben nicht nur isoliert, sondern im Vergleich bereits gelöster Rechenaufgaben zu sehen. Mit der Einnahme der fachinhaltlichen Perspektiven können somit bzgl. des Lösungsvorgehens ähnliche Rechenaufgaben identifiziert und das entsprechende Lösungsvorgehen zum Lösen der aktuellen Rechenaufgabe adaptiert werden. Des Weiteren stellt die Einnahme von fachinhaltlichen Perspektiven eine Orientierungshilfe für ggf. weniger erfahrene Studierende dar, die diese Strategie statt dem planlosen Ausprobieren verschiedener Formeln und Gleichungen anwenden können, um sich dem

Lösen von Rechenaufgaben zu nähern. Die Diskussion der Aspekte in (d), (e) und (g) kann Hinweise auf Fragen der Art „*Wieso würden die Studierenden bei dieser Rechenaufgabe (z. B. vom Typ 3E) einen Bewegungsansatz und keinen Energieansatz wählen?*“ liefern und schließen somit an Interviewfragen aus dem qualitativen Zugang (vgl. Kapitel 4.2.2) an. Für Lernbegleiter*innen können hier ggf. bestehende Vorstellungen der Studierenden zum Lösen von Rechenaufgaben und zu Lösungsansätzen sichtbar werden. Auch in weiteren Lösungsabschnitten kann die Einbindung von Diskussionsanlässen sinnvoll sein, um das Verständnis und die Schwierigkeiten der Studierenden besser erfassen zu können. Bspw. könnte zum *Mathematischen Lösen* (vgl. Kapitel 2.3.3) ein Diskussionsanlass der Vergleich der zu lösenden physikalischen Gleichung mit einer analogen mathematischen Gleichung (ohne Variablen im physikalischen Kontext) sein, da das Lösen von Gleichungen im physikalischen Kontext bei Lernenden zum Teil zu Schwierigkeiten führt (z. B. Tuminaro & Redish, 2003).

Das in dieser Arbeit eingesetzte Gruppieren von Rechenaufgaben kann in Phasen der Prüfungsvorbereitung als Methode eingesetzt werden, um Studierende große Mengen von Rechenaufgaben bzgl. des Lösungsvorgehens analysieren (und diskutieren) zu lassen.

7.6 Ableitung sich anschließender Forschungsperspektiven

In dieser Arbeit wurde primär das Identifizieren von Lösungsansätzen näher untersucht. Forschungsperspektiven schließen sich einerseits direkt zu diesem Schwerpunkt an (s. Kapitel 7.6.1) oder können andererseits weitere Lösungsabschnitte fokussieren (s. Kapitel 7.6.2). Im Folgenden werden beide Perspektiven genauer erörtert.

7.6.1 Forschungsperspektiven mit Blick auf das Identifizieren von Lösungsansätzen

Zum Identifizieren von Lösungsansätzen wurden im Rahmen dieser Arbeit bereits einige Analysen durchgeführt, jedoch nicht alle Analysemöglichkeiten vollständig ausgeschöpft. Es bieten sich daher verschiedene Forschungsperspektiven mit Bezug zum Identifizieren von Lösungsansätzen an.

Fortsetzung von Auswertungen zum quantitativen Zugang. Im quantitativen Zugang können Auswertungen hinsichtlich möglicher Zusammenhänge zwischen Zuordnungserfolgen bzgl. Rechenaufgaben mit gleichen Oberflächenmerkmalen (also Rechenaufgaben aus einem Aufgabensatz) und Personenmerkmalen ergänzt werden. Denkbar wäre hier ein zu dem in Kapitel 5.2.3, Abschnitt *Zusammenhangsanalyse: Zuordnungen – Personenmerkmale* analoges Vorgehen. Hierbei würden je Personenmerkmal und Aufgabensatz die Zuordnungserfolge der Studierenden, gruppiert nach Ausprägungen des jeweiligen Personenmerkmals, miteinander verglichen werden und geeignete statistische Testverfahren herangezogen werden. Ergebnisse dieser Analysen können Hinweise dahingehend liefern, inwiefern die Zuordnung von Rechenaufgaben mit bestimmten Oberflächenmerkmalen für Studierende mit gewissen Eigenschaften / Fähigkeiten erfolgreicher abläuft. Darüberhinaus kann es sinnvoll sein, diese sowie alle bereits vorgenommenen Analysen auf Basis einer weniger „strengen“ Bewertung der Angemessenheit von Zuordnungen erneut durchzuführen. Insbesondere mit Blick

auf das Identifizieren von Lösungsansätzen in Rechenaufgaben, die am effizientesten mit einem Energieansatz gelöst werden können, können abweichende Ergebnisse entstehen. Interessant kann hieran anschließend die Diskussion sein, wie umständlich Lösungsansätze der Studierenden sein „dürfen“, um als „ausreichend angemessen“ zu zählen. Des Weiteren können im Online-Fragebogen erhobene Schwierigkeiten während der Zuordnung sowie Regelgenerierungen zu Indikatoren beim Identifizieren von Lösungsansätzen ausgewertet werden. Hierbei ist zu beachten, dass viele Studierende die Fragen hierzu nicht oder nur knapp beantwortet haben, sodass die Auswertung der Interviews im qualitativen Zugang im Vergleich aussichtsreicher sein sollten.

Fortsetzung von Auswertungen zum qualitativen Zugang. Aus dem qualitativen Zugang dieser Arbeit steht die vollständige Auswertung der erhobenen Daten aus. Die Analyse des Interviewmaterials wurde mit einer inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) begonnen. Es gibt mehrere Gründe weswegen das Vorgehen nach Kuckartz (2018) ausgewählt wurde. Zunächst sollten in der Kodierung des Materials Strukturierungskategorien aus dem Interviewleitfaden berücksichtigt werden, da mithilfe dieser bspw. der Bezugsrahmen von Äußerungen gesichert werden kann. Bspw. kann so festgehalten werden, auf welche Aufgabensätze die Studierenden sich beziehen oder ob die Studierenden zuvor zum Generieren von Regeln über Indikatoren beim Identifizieren von Lösungsansätzen aufgefordert worden sind oder diese verallgemeinerte Äußerungen ohne Aufforderung getätigt haben. Nach Kuckartz (2018) ist das Bilden solcher Kategorien aus Interviewleitfäden explizit als angemessen kommuniziert. Des Weiteren erlaubt das Vorgehen nach Kuckartz (2018) ein langes und flexibles Arbeiten an den Originaldaten. Generalisierungen erfolgen spontan, sobald die Menge an Codes unübersichtlich wird. So können bestimmte Codes, die häufig in ähnlicher Weise auftreten, früh zusammengefasst und generalisiert werden sowie seltenere Codes länger spezifischer formuliert bleiben. Im Vergleich hierzu würde in Mayring (2015; vgl. Zusammenfassende Inhaltsanalyse mit induktiver Kategorienbildung, S. 69–90) vergleichsweise früh durch die Paraphrasierung und anschließende einheitliche Generalisierung eine Entfernung von den originalen Daten erfolgen. Zudem kann durch die fehlende Paraphrasierung in Kuckartz (2018) Zeit gespart werden. Des Weiteren steht beim Vorgehen nach Kuckartz (2018) die fallorientierte Analyse und Perspektive stärker im Vordergrund als beim Vorgehen nach Mayring (Kuckartz, 2018). Zum Stand der Abgabe dieser Arbeit wurde bereits der erste Schritt vollzogen, indem die Videos zum Interviewteil der Erhebung angesehen sowie mit Bemerkungen und Anmerkungen versehen worden sind. Zudem wurden Auswertungsideen und Besonderheiten in Form von Memos gesichert. Des Weiteren wurde je Interview eine kurze Fallzusammenfassung erstellt. Die thematischen Hauptkategorien wurden zu großen Teilen bereits entwickelt (Schritt 2), die Beschreibung dieser in einem Kodiermanual ist allerdings nicht vollständig abgeschlossen. Das Kategoriensystem ist in Anhang F, Abbildung 1 dargestellt. Zudem wurden einige der thematischen und strukturgebenden Hauptkategorien bereits an Videos kodiert, um die Praktikabilität des Kodiermanuals und der gewählten Indikatoren zu prüfen. Für das Kodieren sowie Verfassen von Memos, Anmerkungen und Bemerkungen direkt an den originalen Videodaten wurde die Software MAXQDA 2020 verwendet.

Neben des Vervollständigens der begonnenen inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse stehen

quantisierende Analysen auf Grundlage von Kodierungen aus. So kann bspw. untersucht werden, wie häufig die Begründungen von Gruppierungen auf Basis von Oberflächenmerkmalen erfolgen. Ebenso können die Fragebogendaten zur Erfassung der Personenmerkmale der Studierenden ausgewertet und in Verbindung mit Kodierungen im Interview gebracht werden.

Reaktivierung von Erhebungswerkzeugen. Zur Erhöhung der Probandenanzahl können Erhebungen nach dem beschriebenen Verfahren in Kapitel 4.1 zum quantitativen Zugang ergänzt werden, sodass weitere Testverfahren (z. B. Regressionsanalysen, s. Field, 2018) sinnvoll durchgeführt werden können. Auch mit Blick auf den qualitativen Zugang lohnt sich bereits jetzt der erneute Einsatz des entwickelten Fragebogens und des Interviewleitfadens, da die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommene Erhebung während der Pandemie erfolgt ist und nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Pandemie Auswirkungen auf Einstellungen sowie das Lernen der Studierenden hatte. Bezüglich beider Zugänge kann auch eine Erweiterung der erhobenen Personenmerkmale (z. B. zusätzliche Erhebung von Intelligenzmaßen) und Aufgabenmerkmale (durch den Einsatz weiterer oder anderer Rechenaufgaben) lohnenswert sein. Bei einer erneuten Erhebung mit den Erhebungswerkzeugen kann es sinnvoll sein, alle Rechenaufgaben von allen Studierenden zuzuordnen bzw. gruppieren zu lassen. Die Bearbeitung der Aufgabensätze 2 und 5 sollte somit nicht mehr optional sein, um auch zu Rechenaufgaben zu diesen Aufgabensätzen statistische Analysen unter Einbezug aller Proband*innen durchführen zu können. Des Weiteren kann die Rotation der Rechenaufgaben innerhalb von Aufgabensätzen bzgl. der Hereingabereihenfolge sinnvoll sein, um ausschließen zu können, dass die Hereingabereihenfolge einen Einfluss auf den Erfolg bei der Identifikation von Lösungsansätzen hat. Hieran anschließend könnte auch die Reihenfolge der Aufgabensätze variiert werden.

Gestaltung und Erprobung von Fördermaßnahmen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden im qualitativen Zugang während der Interviews bereits gestufte Einhilfen angeboten, sodass die Interviews subtile Förderelemente beinhalten. Ein Ausbau der Förderelemente bzw. Umbau zu einer Fördermaßnahme ist möglich. Von den eingesetzten Einhilfen sind aktuell drei strategischer und zwei inhaltlicher Natur. Eine Erweiterung um lernstrategische Hilfen sowie weitere inhaltlichen Impulse zum Erfassen der Problemstellung als inhaltliche Hilfen (vgl. Wodzinski & Stäudel, 2011; Wodzinski, 2013) ist denkbar. Zudem kann das Gruppieren von Rechenaufgaben um Feedback bzw. um Anlässe zum Bearbeiten von Feed-Forward-Vorschlägen erweitert werden. Die Einbettung von Feedback- bzw. Feed-Forward-Anlässen kann ggf. die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass sich die gezeigten Leistungen beim Gruppieren der Rechenaufgaben verbessern (vgl. Review in Hattie & Timperley, 2007). Zur Durchführung von zusätzlichen Interventionen über Lösungsansätze sowie Strategien zum Lösen von Rechenaufgaben konnten in der Ausgestaltung nach Plicht, Härtig und Dorschu (2023) keine statistisch signifikanten Effekte auf den Erfolg Studierender beim Sortieren von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen beobachtet werden. Obwohl die Interventionen keinen statistisch signifikanten Effekt mit Bezug auf den Erfolg der Studierenden beim Sortieren von Rechenaufgaben aufwiesen, impliziert dies nicht notwendigerweise eine mangelnde Relevanz der thematisierten Inhalte für die Förderung der Studierenden zum Identifizieren von Lösungsansätzen in Rechenaufgaben. Es besteht die Möglichkeit, dass die Studierenden die vermittelten Konzepte zwar kennen, jedoch Schwierigkei-

ten haben, diese anzuwenden. Ergebnisse von Plicht et al. (2023) legen dies zumindest nahe, indem ein signifikanter Unterschied mit hoher Effektstärke zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe bzgl. des Tests zu Inhalten der Interventionen beobachtet werden kann. Eine intensivere Verzahnung der Inhalte der Interventionen mit der praktischen Bearbeitung von Rechenaufgaben in Übungsveranstaltungen könnte daher förderlich sein. Eine Idee zur Gestaltung von Übungsveranstaltungen ist in Kapitel 7.5 beschrieben.

7.6.2 Weitere Forschungsperspektiven

Es liegen mit Blick auf spezifische Lösungsabschnitte zur Bearbeitung von Rechenaufgaben aktuell kaum theoretische Annahmen und empirische Befunde zu Bearbeitungsprozessen, auftretenden Schwierigkeiten und zum Erfolg beim Abschließen dieser Lösungsabschnitten allgemein sowie insb. in Verbindung zu Personen- und Aufgabenmerkmalen vor (vgl. Kapitel 2.4). Erkenntnisse in diesen Bereichen können jedoch nützlich sein, um Maßnahmen zur Förderung des erfolgreichen und eigenständigen Lösen von Rechenaufgaben zu gestalten. Es besteht somit nicht nur zusätzlicher Forschungsbedarf zum Lösungsabschnitt über das Identifizieren von Lösungsansätzen (s. Kapitel 7.6.1), sondern grundsätzlich zu allen Lösungsabschnitten. Dieser Bedarf zur Untersuchung von Bearbeitungsprozessen, auftretenden Schwierigkeiten in Lösungsabschnitten und zum Erfolg beim Abschließen dieser Lösungsabschnitte wird in Tabelle 7.1 verdeutlicht.

Tabelle 7.1

Bereiche für weitere Forschung

Bezug	Bearbeitung von Lösungsabschnitten						
	VdA	LvP	FeLa	PeLw	mL	KR	
Allgemein	Q	Q	Q	Q	Q	Q	
Personenmerkmale	Q	Q	Q	Q	Q	Q	
Aufgabenmerkmale	Q	Q	Q	Q	Q	Q	
Aufgaben- & Personenmerkmale	Q	Q	Q	Q	Q	Q	

Anmerkung. Die Abkürzungen *VdA*, *LvP*, *FeLa*, *PeLw*, *mL*, *KR* stehen für die Lösungsabschnitte *VdA*: Verstehen der Aufgabe; *LvP*: Loslösen vom Problem; *FeLa*: Finden eines Lösungsansatzes; *PeLw*: Planen eines Lösungsweges; *mL*: mathematisches Lösen, *KR*: Kontrolle und Rückschau. Das Lupensymbol „Q“ kennzeichnet Kombinationen aus Lösungsabschnitten und Bezügen, zu denen keine oder kaum Befunde vorliegen und (weitere) Forschung durchgeführt werden kann. In grau dargestellte Lupen markieren Aspekte, die zu Teilen bereits in dieser Arbeit betrachtet wurden.

LITERATURVERZEICHNIS

- Anzai, Y. & Yokoyama, T. (1984). Internal models in physics problem solving. *Cognition and Instruction*, 1 (3), 397–450. doi: 10.1207/s1532690xc0104_2
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.
- Bacher, J., Pöge, A. & Wenzig, K. (2010). *Clusteranalyse: Anwendungsorientierte Einführung in Klassifikationsverfahren*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag. doi: 10.1524/9783486710236
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: the exercise of control*. New York: W.H. Freeman and Company.
- 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. doi: 10.1007/s40573-019-00090-x
- Bing, T. J. & Redish, E. F. (2009). Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 5 (2). doi: 10.1103/PhysRevSTPER.5.020108
- Bissonnette, S. A., Combs, E. D., Nagami, P. H., Byers, V., Fernandez, J., Le, D., ... Tanner, K. D. (2017). Using the biology card sorting task to measure changes in conceptual expertise during postsecondary biology education. *Cell Biology Education – Life Sciences Education*, 16 (1). doi: 10.1187/cbe.16-09-0273
- Blum, W. (1985). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der didaktischen Diskussion. *Mathematische Semesterberichte. Zur Pflege des Zusammenhangs zwischen Schule und Universität*, 32, 195–232.
- Blum, W. & Borromeo Ferri, R. (2009). Mathematical modelling: Can it be taught and learnt? *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1 (1), 45–58.
- Blum, W. & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der „Tanken“-Aufgabe. *Mathematik Lehren* (128), 18–21.
- Bochner, S. (1963). The significance of some basic mathematical conceptions for physics. *Isis*, 54 (2), 179–205. doi: 10.1086/349700
- Bong, M. & Skaalvik, E. M. (2003). Academic self-concept and self-efficacy: How different are they really? *Educational Psychology Review*, 15 (1), 1 - 40.
- Borromeo Ferri, R. (2011). *Wege zur Innenwelt des mathematischen Modellierens: Kognitive Analysen zu Modellierungsprozessen im Mathematikunterricht*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Brandenburger, M. (2016). *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik?* [Dissertation]. Berlin: Logos Verlag.

- Brandenburger, M. & Mikelskis-Seifert, S. (2013). Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? In S. Bernholt (Hrsg.), *Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hannover 2012* (S. 761–763). Kiel: IPN.
- Brandenburger, M., Mikelskis-Seifert, S. & Labudde, P. (2014). Problemlösen in der Mechanik: Eine Untersuchung mit Studierenden. In *Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Brown, D. E. & Hammer, D. (2008). Conceptual change in physics. In S. Vosniadou (Hrsg.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (S. 127–154). New York: Routledge.
- Brüsemeister, T. (2008). *Qualitative Forschung: Ein Überblick* (2., überarb. Aufl.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Byun, T., Ha, S. & Lee, G. (2010). Toward understanding student difficulty in upper-level mechanics problem-solving processes. *SNU Journal of Education Research*, 19, 145–165.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J. & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5 (2), 121–152. doi: 10.1207/s15516709cog0502_2
- Chi, M. T. H., Glaser, R. & Rees, E. (1981). *Expertise in problem solving* (Technical Report). Pittsburgh, PA: Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh.
- Chi, M. T. H., Glaser, R. & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Hrsg.), *Advances in the psychology of human intelligence* (S. 7–76). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). Hillsdale, NJ [u.a.]. *Conceiving the self*. (o.J.). New York.
- Davidson, J. E. & Sternberg, R. J. (1984). The role of insight in intellectual giftedness. *Gifted Child Quarterly*, 28 (2), 58–64. doi: 10.1177/001698628402800203
- Dewey, J. (2002). Wie wir denken. In R. Horlacher (Hrsg.), *John-dewey-reihe: Bd. 2*. Zürich: Verlag Pestalozzianum.
- Dickhäuser, O., Schöne, C., Spinath, B. & Stiensmeier-Pelster, J. (2002). Die Skalen zum akademischen Selbstkonzept. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 23 (4), 393–405. doi: 10.1024//0170-1789.23.4.393
- Döring, N. & Bortz, J. (2016a). Datenerhebung. In N. Döring & J. Bortz (Hrsg.), *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (S. 321–577). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-41089-5
- Döring, N. & Bortz, J. (Hrsg.). (2016b). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-41089-5
- Dorsch, F. & Ries, H. (1987). *Psychologisches Wörterbuch* (11., ergänzte Aufl.). Bern: Huber.
- Duit, R. & Treagust, D. (1998). Learning in science – from behaviourism towards social constructivism and beyond. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Hrsg.), *International handbook of science education* (S. 3–25). London: Kluwer Academic Publishers. doi: 10.1007/978-94-011-4940-2_1
- Duncker, K. (1935). *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-88750-5
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (1. Aufl.). Stuttgart [u. a.]: Kohlhammer.
- Düchs, G. & Mecke, K. (2020). Konstanz trotz Corona. Statistiken zum Physikstudium an den

- Universitäten in Deutschland 2020. *Physik Journal*, 19 (8/9), 70-75.
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5. Aufl.). Los Angeles: Sage.
- Finegold, M. & Mass, R. (1985). Differences in the processes of solving physics problems between good physics problem solvers and poor physics problem solvers. *Research in Science & Technological Education*, 3 (1), 59–67. doi: 10.1080/0263514850030107
- Frey, A., Hartig, J. & Rupp, A. A. (2009). An NCME instructional module on booklet designs in large-scale assessments of student achievement. Theory and practice. *Educational measurement*, 28 (3), 39-53. doi: 10.1111/j.1745-3992.2009.00154.x
- Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs* [Dissertation]. Berlin: Logos-Verlag.
- Friege, G. & Lind, G. (2004). Leistungsmessung im Leistungskurs. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 57 (5), 259–265.
- Fuchs, K. (1975). Zur Bedeutung der theoretischen Physik für die Naturwissenschaften. Vortrag und Diskussionsbeiträge. In *Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften der DDR; N, Mathematik, Naturwissenschaften, Technik*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken*. Stuttgart: W. Kohlhammer. doi: 10.17433/978-3-17-022830-6
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41 (6), 867–888.
- Geyer, M.-A. & Pospiech, G. (2016). Diagramme im Physikunterricht. Hintergründe und Anregungen zur Förderung des Umgangs mit Diagrammen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 27 (153/154), 36–42.
- Giancoli, D. C. (2010). *Physik: Lehr- und Übungsbuch* (3. Aufl.). München [u. a.]: Pearson Studium.
- Girden, E. (1992). ANOVA: Repeated Measures. In *Quantitative applications in the social sciences: Bd. 84*. Newbury Park, London, New Delhi: SAGE Publications.
- Graulich, N. & Bhattacharyya, G. (2017). Investigating students' similarity judgments in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 18 (4), 774–784. doi: 10.1039/c7rp00055c
- Greeno, J. (1980). Trends in the theory of knowledge for problem solving. In D. T. Tuma & F. Reif (Hrsg.), *Problem solving and education: Issues in teaching and research* (S. 9–23). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gruber, H. & Mandl, H. (1996). Expertise und Erfahrung. In H. Gruber & A. Ziegler (Hrsg.), *Expertiseforschung* (S. 18–34). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Hardiman, P. T., Dufresne, R. & Mestre, J. P. (1989). The relation between problem categorization and problem solving among novices and experts. *Memory and Cognition*, 17 (5), 627–638.
- Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77 (1), 81-112. doi: 10.3102/003465430298487
- Hayes, J. R. (1981). *The complete problem solver*. Philadelphia: Franklin Institute Press.
- Heller, K. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeits-Test für 5. bis 12./13. Klassen*. Weinheim: Beltz Test GmbH.
- Hessisches Kultusministerium (Hrsg.). (2016a). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe. Mathematik*. Wiesbaden. Zugriff auf <https://kultus.hessen.de/sites/kultusministerium.hessen.de/files/2021>

- 07/kcgo-m.pdf (Zuletzt geprüft am: 22.04.2024)
- Hessisches Kultusministerium (Hrsg.). (2016b). *Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe. Physik*. Wiesbaden. Zugriff auf <https://kultusministerium.hessen.de/sites/kultusministerium.hessen.de/files/2021-07/kcgo-ph.pdf> (Zuletzt geprüft am: 26.01.2023)
- Heublein, U., Hutzsch, C. & Schmelzer, R. (2022). *Die Entwicklung der Studienabbruchquoten in Deutschland*. Anhang zum DZHW-Brief Nr. 05|2022. Hannover: DZHW. doi: 10.34878/2022.05.dzhw_brief
- Holzäpfel, L., Lacher, M., Leuders, T. & Rott, B. (2018). *Problemlösen lehren lernen: Wege zum mathematischen Denken* (1. Aufl.). Seelze: Klett Kallmeyer.
- Hudson, H. T. & McIntire, W. R. (1977). Correlation between mathematical skills and success in physics. *American Journal of Physics*, 45 (5), 470–471. doi: 10.1119/1.10823
- Irby, S. M., Phu, A. L., Borda, E. J., Haskell, T. R., Steed, N. & Meyer, Z. (2016). Use of a card sort task to assess students' ability to coordinate three levels of representation in chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 17, 337-352. doi: 10.1039/C5RP00150A
- Janczyk, M. & Pfister, R. (2020). Einfaktorielle Varianzanalyse. In *Inferenzstatistik verstehen: Von A wie Signifikanztest bis Z wie Konfidenzintervall* (S. 99–127). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. doi: 10.1007/978-3-662-59909-9_8
- Johnstone, A. H. (1993). Introduction. In C. Wood & R. Sleat (Hrsg.), *Creative problem solving in chemistry* (S. iv–vi). London: The Royal Society of Chemistry.
- Jonassen, D. H. (2010). *Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments*. London: Routledge.
- Just, A. M. & von Aufschnaiter, C. (2020). Differenzierender Schülervorstellungstest zur Mechanik. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019* (S. 597 – 600). Universität Duisburg-Essen. doi: 10.25656/01:20445
- Just, A. M., von Aufschnaiter, C. & Vorholzer, A. (2021). Effects of conceptual and contextual task characteristics on students' activation of mechanics conceptions. *European Journal of Physics*, 42 (2), 025702. doi: 10.1088/1361-6404/abd229
- Just, A. M., Vorholzer, A. & von Aufschnaiter, C. (2023). Employing a force and motion learning progression to investigate the relationship between task characteristics and students' conceptions at different levels of sophistication. *Education Sciences*, 13 (5), 444. doi: 10.3390/educsci13050444
- Justus-Liebig-Universität-Statistik. (2020a). *Fachsemestertabelle: Studierende ohne Beurl. - Lehramt*. (Stichtag: 15.11.2020)
- Justus-Liebig-Universität-Statistik. (2020b). *Fachsemestertabelle: Studierende ohne Beurl., ohne Lehramt*. (Stichtag: 15.11.2020)
- Justus-Liebig-Universität-Statistik. (2020c). *Grunddaten Studiengänge ohne Lehramt*. (Stichtag: 15.05.2020)
- Karam, R., Uhden, O. & Höttecke, D. (2016). Das habt ihr schon in Mathe gelernt! Stimmt das wirklich? Ein Vergleich zwischen dem Umgang mit mathematischen Konzepten in der Mathematik und in der Physik. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 27 (153/154), 22–27.
- Kipman, U. (2018). *Problemlösen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. doi: 10.1007/

- 978-3-658-22370-0
- Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP). (2010). *Zur Konzeption von Bachelor- und Master-Studiengängen in der Physik. Handreichung der Konferenz der Fachbereiche Physik (KFP)*. Berlin: KFP. Zugriff auf https://www.kfp-physik.de/dokument/KFP_Handreichung_Konzeption-Studiengaenge-Physik-101108.pdf (Zuletzt geprüft am: 31.07.2024)
- Konrad, K. (2019). Lautes Denken. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 1–21). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. doi: 10.1007/978-3-658-18387-5_41-2
- Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik: Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender* [Dissertation]. Berlin: Logos Verlag.
- Kruger, J. & Dunning, D. (2000, 01). Unskilled and unaware of it: How difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77, 1121–1134. doi: 10.1037//0022-3514.77.6.1121
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Aufl.). Weinheim and Basel: Beltz Juventa.
- Kulas, J., Prieto Palacios Roji, R. G. & Smith, A. (2021). *IBM SPSS essentials: managing and analyzing social sciences data* (3. Aufl.). Hoboken, NJ. doi: 10.1002/9781119417453
- Köller, O. & Möller, J. (2010). Selbstwirksamkeit. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (4. Aufl., S. 767–774). Weinheim: Beltz.
- Köster, E. (1985). Die Ausbildung schöpferischen Denkens in der Lerntätigkeit. In J. Lompscher (Hrsg.), *Persönlichkeitsentwicklung in der Lerntätigkeit. Ein Lehrbuch für pädagogische Psychologie an Instituten für Lehrerbildung* (S. 127–145). Berlin: Volk und Wissen Volkseigener Verlag.
- Larkin, J. H. (1981). Understanding and problem solving in physics. In J. T. Robinson (Hrsg.), *Research in science education: New questions, new directions* (S. 115–130). Columbus, Ohio: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics, and Environmental Education.
- Larkin, J. H. (1983). The role of the problem representation in physics. In D. Gentner & A. Stevens (Hrsg.), *Mental models* (S. 76–98). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P. & Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208, 1335–1342. doi: 10.1126/science.208.4450.1335
- Larkin, J. H. & Reif, F. (1979). Understanding and teaching problem-solving in physics. *International Journal of Science Education*, 1 (2), 191–203. doi: 10.1080/0140528790010208
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P. & von Rhöneck, C. (2000). Eine Untersuchung zum Einfluss emotionaler Faktoren auf das Lernen im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 139–155.
- Leonard, W. J., Dufresne, R. J. & Mestre, J. P. (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*, 64 (12), 1495–1503.
- 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. doi: 10.1026/0033-3042/a000108
- Mayring, P. (2007). *Mixed methodology in psychological research*. Münster: BRILL.

- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12. Aufl.). Beltz.
- McDermott, J. & Larkin, J. H. (1978). Re-representing textbook physics problems. In *Proceedings of the 2nd National Conference of the Canadian Society for Computational Studies of Intelligence* (S. 156–164). Toronto: University of Toronto Press.
- McKnight, P., McKnight, K., Sidani, S. & Figueredo, A. (2007). *Missing data: A gentle introduction*. Guilford Publications.
- Meinhardt, C. (2018). *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern* [Dissertation]. Berlin: Logos Verlag.
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. *American Journal of Physics*, 70 (12), 1259–1268. doi: 10.1119/1.1514215
- Messick, S. (1995). Validity of psychological assessment: Validation of inferences from persons’ responses and performances as scientific inquiry into score meaning. *American Psychologist*, 50 (9), 741 - 749.
- Minstrell, J. (1992). Facets of students’ knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Hrsg.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop* (S. 110–128). Kiel: IPN: University of Bremen.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-20072-4
- Moschner, B. & Dickhäuser, O. (2010). Selbstkonzept. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische psychologie* (S. 760–766). Weinheim: Beltz.
- Möller, J. & Köller, O. (2004). Die Genese akademischer Selbstkonzepte: Effekte dimensionaler und sozialer Vergleiche. *Psychologische Rundschau*, 55 (1), 19-27. doi: 10.1026/0033-3042.55.1.19
- Möller, J., Streblow, L., Pohlmann, B. & Köller, O. (2006). An extension to the internal/external frame of reference model to two verbal and numerical domains. *European Journal of Psychology of Education*, 21 (4), 467-487.
- Möller, J. & Trautwein, U. (2015). Selbstkonzept. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 177–197). Heidelberg: Springer.
- Neuhaus, K. (1995). Die Grundlagen der Kreativitätsuntersuchungen bei Dewey und Wallas. In K. P. Müller (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 1995: Vorträge auf der 29. Tagung für Didaktik der Mathematik vom 6. bis 10. März 1995 in Kassel*. Hildesheim: Franzbecker.
- Newell, A. & Simon, H. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs NJ: Prentice-Hall.
- Nicholls, J. G. (1984). Achievement motivation: Conceptions of ability, subjective experience, task choice, and performance. *Psychological Review*, 91 (3), 328-346.
- Pajares, F. (1996, Winter). Self-efficacy beliefs in academic settings. *Review of Educational Research*, 66 (4), 543-578.
- Pawek, C. (2009). *Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe* [Dissertation]. Kiel: Universitätsbibliothek Kiel. Zugriff auf <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:8-diss-36693> (Zuletzt geprüft am: 15.06.2024)

- Petermann, V. (2022). *Überzeugungen von Lehrkräften zum Lehren und Lernen von Fachinhalten und Fachmethoden und deren Beziehung zu unterrichtsnahem Handeln* [Dissertation]. Berlin: Logos Verlag.
- Plicht, K., Deuber, F., Härtig, H. & Dorschu, A. (2020). Förderung der Problemlösekompetenz von Ingenieurstudierenden. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019* (S. 673–676). Universität Duisburg-Essen.
- Plicht, K., Härtig, H. & Dorschu, A. (2023). Problemlösestrategien statt Rechnen? Evaluation eines Übungskonzepts. In H. van Vorst (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in einer digital geprägten Welt. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Aachen 2022* (S. 434–437).
- Pólya, G. (2014). *How to solve it: A new aspect of mathematical method* (with a foreword by j. h. conway). Princeton, Oxford: Princeton University Press.
- Pospiech, G. (2016). Mathematik im Physikunterricht: Warum? Wie? Wozu? Ein didaktischer Überblick zu zentralen Aspekten der Mathematisierung im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 27 (153/154), 2–6.
- Priemer, B., Eilerts, K., Filler, A., Pinkwart, N., Rösken-Winter, B., Tiemann, R. & zu Belzen, A. U. (2020). A framework to foster problem-solving in STEM and computing education. *Research in Science & Technological Education*, 38 (1), 105–130. doi: 10.1080/02635143.2019.1600490
- Pusch, A. (2014). *Fachspezifische Instrumente zur Diagnose und individuellen Förderung von Lehramtsstudierenden der Physik*. Berlin: Logos Verlag.
- Rabe, T., Meinhardt, C. & Krey, O. (2012). Entwicklung eines Instruments zur Erhebung von Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 293–315.
- Rath, G. (2006). Auseinandergelebt? Physik und Mathematik: Probleme und Lösungsansätze zur Koordination. *plus lucis* (1-2), 9–13. Zugriff auf <https://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/061/s0913.pdf> (Zuletzt geprüft am: 23.08.2018)
- Redish, E. F. (2004). A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking. In E. F. Redish & M. Vicentini (Hrsg.), *Research on physics education* (Bd. 156). Amsterdam, Washington DC: IOS Press.
- Redish, E. F. (2006). *Problem solving and the use of math in physics courses* [Invited talk presented at the conference, World View on Physics Education in 2005: Focusing on Change, Delhi, 21. – 26. August 2005]. Delhi. doi: 10.48550/arXiv.physics/0608268
- Reif, F. & Heller, J. I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, 17 (2), 102–127. doi: 10.1080/00461528209529248
- Reinhold, P., Lind, G. & Friege, G. (1999). Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5 (1), 41–62.
- Renkl, A. (2005). The worked-out examples principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The cambridge handbook of multimedia learning* (S. 229–245). Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511816819.016
- Rittle-Johnson, B. & Alibali, M. W. (1999). Conceptual and procedural knowledge of mathematics: Does one lead to the other? *Journal of Educational Psychology*, 91 (1), 175–189.

- Rivera, R. (2020). *Principles of managerial statistics and data science*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. doi: 10.1002/9781119486473
- Rosenhouse, J. (2009). *The monty hall problem: The remarkable story of math's most contentious brain teaser* (1. Aufl.). Oxford: Oxford University Press.
- Rost, D. H., Dickhäuser, O., Sparfeldt, J. R. & Schilling, S. R. (2004). Fachspezifische Selbstkonzepte und Schulleistungen im dimensional Vergleich: Eine versuchsplanerische Überprüfung des I/E-Modells. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 18 (1), 43-52.
- Rost, J. (1998). Drei Thesen zum Konzept qualitativer Forschungsmethoden. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4 (3), 35-42.
- Rott, B. (2015). *Mathematisches Problemlösen: Ergebnisse einer empirischen Studie* [Dissertation]. Münster: WTM Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Savelsbergh, E. (1998). *Improving mental representations in physics problem-solving* [Dissertation]. Niederlande: University of Twente.
- Scanlon, E. (1993). Solving the problem of physics problem solving. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 24 (3), 349-358. doi: 10.1080/0020739930240303
- Schecker, H. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen in der Mechanik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Schmidt, M. (2006). *Der Einsatz von Sankey-Diagrammen im Stoffstrommanagement* (Bericht). Beiträge der Hochschule Pforzheim. Zugriff auf <https://hdl.handle.net/10419/97580> (Zuletzt geprüft am: 05.03.2024)
- Schmitz, G. S. & Schwarzer, R. (2000). Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrern: Längsschnittbefunde mit einem neuen Instrument. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 14 (1), 12-25.
- Schultz, K. & Lochhead, J. (1991). A view from physics. In M. U. Smith (Hrsg.), *Toward a unified theory of problem solving: Views from the content domains* (S. 99-114). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft*, 44, 28-53.
- Schöne, C., Dickhäuser, O., Spinath, B. & Stiensmeier-Pelster, J. (2003). Das Fähigkeitsselbstkonzept und seine Erfassung. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept* (S. 1-14). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe-Verlag GmbH & Co. KG.
- Shapiro, S. S., Wilk, M. B. & Chen, M. H. J. (1968). A comparative study of various tests for normality. *Journal of the American Statistical Association*, 63 (324), 1343-1372. doi: 10.1080/01621459.1968.10480932
- Shavelson, R., Hubner, J. & Stanton, G. (1976, 09). Self-concept: Validation of construct interpretations. *Review of Educational Research*, 46, 407-441. doi: 10.3102/00346543046003407
- Sill, H.-D. (2019). *Grundkurs Mathematikdidaktik*. Leiden, Niederlande; Boston MA, USA: Verlag Ferdinand Schöningh.
- Simon, D. P. & Simon, H. A. (1978). Individual differences in solving physics problems. In R. Siegler (Hrsg.), *Children's thinking: What develops?* (S. 325-348). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

- Smith, M. U. (1991). *Toward a unified theory of problem solving: Views from the content domains*. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien [u.a.]: Springer.
- Stiensmeier-Pelster, J. & Schwinger, M. (2008). Kausalattribution. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Psychologie* (S. 74-83). Göttingen [u. a.]: Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen: Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen*. Göttingen [u. a.]: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Tipler, P. A. & Mosca, G. (2019). *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure: für Studierende der Naturwissenschaften und Technik* (8., korrigierte und erweiterte Aufl.). Berlin: Springer Verlag.
- Torigoe, E. & Gladding, G. (2006). Same to us, different to them: Numeric computation versus symbolic representation. In *Aip conference proceedings* (S. 153–156). AIP. doi: 10.1063/1.2508715
- Trump, S. S. (2015). *Mathematik in der Physik der Sekundarstufe II!? Eine Benennung notwendiger mathematischer Fertigkeiten für einen flexiblen Umgang mit Mathematik beim Lösen physikalisch-mathematischer Probleme im Rahmen der Schul- und Hochschulbildung sowie eine systematische Analyse zur notwendigen Mathematik in der Physik der Sekundarstufe II* [Dissertation]. Potsdam: Universität Potsdam.
- Trump, S. S. & Borowski, A. (2016). Modellieren physikalischer Problemstellungen – Zwischen Strukturiertheit und Individualität. In C. Maurer (Hrsg.), *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015* (S. 305–307). Regensburg: Universität Regensburg.
- Tuminaro, J. (2004). *A cognitive framework for analyzing and describing introductory students' use and understanding of mathematics in physics* [Dissertation]. Zugriff auf <https://drum.lib.umd.edu/bitstream/handle/1903/1413/umi-umd-1423.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Zuletzt geprüft am 07.08.2020)
- Tuminaro, J. & Redish, E. F. (2003). Understanding students' poor performance on mathematical problem solving in physics. In *AIP Conference Proceedings* (S. 113–116). AIP. doi: 10.1063/1.1807267
- Tuminaro, J. & Redish, E. F. (2007). Elements of a cognitive model of physics problem solving: Epistemic games. *American Journal of Physics*, 3 (2), 020101. doi: 10.1103/PhysRevSTPER.3.020101
- Uhden, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht: Theorieentwicklung und Problemanalyse* [Dissertation]. Berlin: Logos Verlag.
- Uhden, O. (2016). Verständnisprobleme von Schülerinnen und Schülern beim Verbinden von Physik und Mathematik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 13–24. doi: 10.1007/s40573-015-0038-4
- Uhden, O. & Pospiech, G. (2009). Translating between mathematics and physics: Analysis of student's difficulties. In *GIREP-EPEC Conference Frontiers of Physics Education* (S. 26–31).
- VanLehn, K. (1989). Problem solving and cognitive skill acquisition. In M. L. Posner (Hrsg.), *Foundations of cognitive science* (S. 527–579). Cambridge, MA: MIT Press.
- Viering, T. A. (2012). *Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I: Validierung eines*

- Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen* [Dissertation]. Berlin: Logos Verlag.
- von Aufschnaiter, C. (2003). „Ich weiß, was rauskommt, aber ich kann es nicht erklären“. In A. Pitton (Hrsg.), *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie*. Münster, Hamburg, London: LIT Verlag.
- von Aufschnaiter, C. (2006). *Exploring the processes of students' development of physics concepts* [Paper presented at the conference of the National Association for Research in Science Teaching: San Francisco, USA, April 2006]. (CD-Rom)
- von Aufschnaiter, C. & Rogge, C. (2010, 02). Misconceptions or missing conceptions? *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 6, 3-18. doi: 10.12973/ejmste/75223
- Vorholzer, A., Aufschnaiter, C. v. & Boone, W. J. (2020). Fostering upper secondary students' ability to engage in practices of scientific investigation: A comparative analysis of an explicit and an implicit instructional approach. *Research in Science Education*, 50, 333–359. doi: 10.1007/s11165-018-9691-1
- Vygotskij, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (M. Cole, V. Jolm-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Cambridge, Mass. [u.a.]: Harvard University Press. doi: 10.2307/j.ctvjf9vz4
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. London: C.A. Watts & Co.
- Wessells, M. G. (1994). *Kognitive Psychologie* (J. Gerstenmaier, Übers.; 3., verb. Aufl.). München: E. Reinhardt Verlag.
- Widodo, A. & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 232–254.
- Wigfield, A. & Eccles, J. S. (1992). The development of achievement task values: A theoretical analysis. *Developmental Review*, 12 (3), 265-310. doi: [https://doi.org/10.1016/0273-2297\(92\)90011-P](https://doi.org/10.1016/0273-2297(92)90011-P)
- Wigner, E. (1960). The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences. *Communications in Pure and Applied Mathematics*, 13 (1), 1–14.
- 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, 020119. doi: 10.1103/PhysRevSTPER.9.020119
- Wilhelm, T. (2005). Verständnis der newtonschen Mechanik bei bayerischen Elftklässlern – Ergebnisse beim Test „Force Concept Inventory“ in herkömmlichen Klassen und im Würzburger Kinematik-/Dynamikunterricht. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 4, 47-56.
- Wodzinski, R. (2013). Lernen mit gestuften Hilfen. *Physik Journal*, 12 (3), 45–49.
- Wodzinski, R. & Stäudel, L. (2011). *Aufgaben mit gestuften Hilfen für den Physikunterricht* (2. Aufl.). Seelze: Friedrich Verlag GmbH.
- Woitkowski, D. (2021a). Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1. Zugriff auf <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/1187> (Zuletzt geprüft am 25.07.2024)
- 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. (2022). Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium: Abschlussbericht des

- Forschungsprojektes KEMΦ. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, 1. Zugriff auf <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1313> (Zuletzt geprüft am 31.07.2024)
- Woitkowski, D. & Bretkopf, S. (2019). Fähigkeitsselbstkonzept und Lernerfolg im ersten Fachsemester Physik. *die hochschullehre*, 5, 855–876.
- 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). Regensburg: Universität Regensburg.
- Wolf, S. F., Dougherty, D. P. & Kortemeyer, G. (2012). Empirical approach to interpreting card-sorting data. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8 (1). doi: 10.1103/physrevstper.8.010124
- Woods, D. R. (1987). How might I teach problem solving. *New directions for teaching and learning*, 30, 55–71.
- Zawojewski, J. (2010). Problem solving versus modeling. In R. Lesh, P. Galbraith, C. Haines & A. Hurford (Hrsg.), *Modeling students' mathematical modeling competencies* (S. 237–244). Boston, MA: Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-0561-1_20
- Zhang, L., Kirschner, P. A., Cobern, W. W. et al. (2022). There is an evidence crisis in science educational policy. *Educational Psychology Review*, 34, 1157–1176. doi: 10.1007/s10648-021-09646-1

ANHÄNGE

A Fragebogen aus Erhebungsschritt 1 des quantitativen Zugangs

[Hinweis der Autorin: Die Zeichen „* * * * *“ bedeuten einen Seitenumbruch im Onlinefragebogen.]

Hinweise zur Bearbeitung

Bitte lesen Sie die folgenden Hinweise zur Bearbeitung genau durch, bevor Sie mit der Bearbeitung beginnen.

Browser: Wir empfehlen eine Bearbeitung mit dem Browser *Mozilla Firefox* oder *Microsoft Edge*. Die Bearbeitung ist prinzipiell auch mit anderen Browsern möglich, hierbei kann es jedoch zu Darstellungsfehlern kommen.

Bearbeitungsdauer: etwa 60 – 90 Minuten

Zeitfenster: Eine Bearbeitung der Befragung ist bis zum 30.09.2020 möglich.

Zwischenspeicherung: Sie haben jederzeit die Möglichkeit, Ihre Angaben zu speichern und die Bearbeitung der Umfrage zu einem späteren Zeitpunkt fortzusetzen. Zum Speichern klicken Sie auf die Schaltfläche „Später fortfahren“; zum Fortsetzen auf die Schaltfläche „Zwischengespeicherte Umfrage laden“. Hierfür müssen Sie einen Benutzernamen und ein Passwort hinterlegen. Falls Sie diese Funktion nutzen, notieren Sie sich bitte Benutzernamen und Passwort, da es später leider keine Möglichkeit gibt, diese Daten wiederherzustellen oder zurückzusetzen.

Hinweise zur Beantwortung von Fragen:

- Falls Sie eine Frage (insbesondere im fachinhaltlichen Teil) nicht beantworten oder bei einer Rechenaufgabe einen Ansatz nicht identifizieren können, ist das überhaupt nicht schlimm. Erfahrungsgemäß haben auch im Studium weit fortgeschrittene Studierende Schwierigkeiten mit manchen Fragen/Aufgaben. Lassen Sie diese Frage/Aufgabe einfach aus. Dies wirkt sich nicht negativ auf Ihre Möglichkeit zur Teilnahme an der Gewinnverlosung aus, solange Ihre sonstigen Angaben seriös wirken.
- **Bitte verzichten Sie auf die Nutzung von Hilfen** beispielsweise in Form von Lehrbüchern, Internetseiten, Taschenrechnern, damit wir ein möglichst unverfälschtes Bild von Ihren Einschätzungen und Schwierigkeiten erhalten.
- Ein Zurückspringen zu vorigen Fragen ist nicht möglich. Sobald Sie auf die Schaltfläche „Weiter“ klicken, gelangen Sie nicht mehr zurück. Falls Sie Ihre eingegebenen Antworten vollständig löschen wollen, klicken Sie auf „Umfrage verlassen und Antworten löschen“.

* * * * *

Anonymisierte Angaben zur Person

Welchem Geschlecht fühlen Sie sich zugehörig?

- ☐ männlich
- ☐ weiblich
- ☐ divers

Welchen Studiengang belegen Sie?

- ☐ Bachelor
- ☐ Master
- ☐ Anderer: _____

Welches Hauptfach belegen Sie?

- ☐ Physik
- ☐ Materialwissenschaften (MaWi)
- ☐ Physik und Technologie für Raumfahrtanwendungen (PTRA)
- ☐ Anderes: _____

Seit wie vielen Semestern studieren Sie Ihr Hauptfach?

Haben Sie in Ihrem Studium bereits eine Vorlesung zur Mechanik (z. B. Experimentalphysik I) gehört?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

★ ★ ★ ★ ★

Selbsteinschätzung zu Aspekten rund um das Bearbeiten von Rechenaufgaben

Bitte lesen Sie die unten stehenden Aussagen durch und überlegen Sie kurz, inwiefern Sie diesen zustimmen. Wählen Sie für jede Aussage entsprechend Ihrer Einschätzung aus.

	trifft gar nicht zu	trifft fast nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft weit- gehend zu	trifft voll zu
Ich habe die Inhalte zur Mechanik im Physikstudium bisher gut verstanden.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Ich kann mathematische Operationen (z. B. Umstellen, Einsetzen, Integrieren, Ableiten) fehlerfrei durchführen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Achtung:

Im Folgenden werden Ihnen unter anderem Fragen zum Bearbeiten von Rechenaufgaben gestellt. Dabei benutzen wir den Begriff des *Ansatzes*. Unter einem **Ansatz** verstehen wir **die zur Lösung anzuwendende physikalische Grundidee**, wie beispielsweise

- einen **Bewegungsansatz**: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Lösungen von Bewegungsgleichungen (z. B. $s(t)$) genutzt.
- einen **Energieansatz**: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Umwandlungen von Energien einer Energieform in andere oder Überlegungen zum Verrichten von Arbeit genutzt. Lösungen von Bewegungsgleichungen (z. B. $s(t)$) genutzt.
- einen **Kraftansatz**: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zur Überlagerung von Kräften zu einer resultierenden Kraft bzw. zu assoziierten Beschleunigungen genutzt.

Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass ...	trifft gar nicht zu	trifft fast nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft weit- gehend zu	trifft voll zu
... ich Inhalte aus der Physik noch nicht gut genug verstehe.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... die notwendigen Inhalte in den Fachveranstaltungen (noch) nicht ausführlich genug behandelt wurden.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... die Aufgabe unnötig kompliziert gestellt ist.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... ich die Aufgabe nicht richtig verstehe.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... mir der passende Ansatz nicht einfällt.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... ich nicht weiß, wie ich rechnerisch vorgehen soll, nachdem ich einen Ansatz gefunden habe.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... ich unsicher im Umgang mit Gleichungen und Formeln bin.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Selbsteinschätzung zu Aspekten rund um das Bearbeiten von Rechenaufgaben

Bitte lesen Sie die unten stehende Rechenaufgabe durch und überlegen Sie kurz, inwiefern Sie diese lösen könnten. Wählen Sie anschließend unter der Aufgabe für jede Aussage Ihre Einschätzung aus.

Achtung 1: Sie sollen über die Aufgabe nur kurz nachdenken, diese aber **nicht lösen!**

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Achtung 3: Unter einem **Ansatz** verstehen wir **die zur Lösung anzuwendende physikalische Grundidee**, wie beispielsweise einen Bewegungs-, Energie- oder Kraftansatz.

Lilly übt im Garten mit ihrem Handball Würfe. Sie wirft den Ball aus einer Höhe von 1,7 m schräg nach oben. Durch auftretenden Wind wird der Ball in vertikaler Richtung insgesamt nur noch mit $a_y = -9,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nach unten beschleunigt, sodass er eine Höhe von 3,5 m erreicht.

Wie hoch wäre der Ball ohne Wind geflogen?

Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Effekte durch die Luft (mit Ausnahme der Luft des Windes)
- Rotation und „flattern“ des Balls

Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu ...	trifft gar nicht zu	trifft fast nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft weit- gehend zu	trifft voll zu
... eine zum Lösen der Aufgabe sinnvolle Skizze anzufertigen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... den zum Lösen benötigten Ansatz zu identifizieren, <u>wenn</u> eine Skizze bereits vorgegeben ist.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... zu erläutern, wie beim Lösen der Aufgabe vorgegangen werden muss, <u>wenn</u> die Skizze und der Ansatz bereits vorgegeben sind.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... eine Lösung auf mathematischem Wege zu ermitteln, <u>wenn</u> die Skizze und der Ansatz vorgegeben sind und das Lösungsvorgehen verbal beschrieben ist.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

★ ★ ★ ★ ★

Selbsteinschätzung zu Aspekten rund um das Bearbeiten von Rechenaufgaben

Bitte lesen Sie die unten stehende Rechenaufgabe durch und überlegen Sie kurz, inwiefern Sie diese lösen könnten. Wählen Sie anschließend unter der Aufgabe für jede Aussage Ihre Einschätzung aus.

- Achtung 1:** Sie sollen über die Aufgabe nur kurz nachdenken, diese aber **nicht lösen**!
- Achtung 2:** Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.
- Achtung 3:** Unter einem **Ansatz** verstehen wir **die zur Lösung anzuwendende physikalische Grundidee**, wie beispielsweise einen Bewegungs-, Energie- oder Kraftansatz.

Leo schaltet unter einem fallenden Ball einen Föhn ein. Bei der Analyse der Flugbahn stellt er fest, dass der Ball insgesamt mit $a = 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ in einem Winkel von 30° zur Horizontalen schräg nach unten beschleunigt wurde.

In welchem Winkel zur Horizontalen muss Leo den Föhn gehalten haben?

Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Effekte durch die Luft (mit Ausnahme der aus dem Föhn strömenden Luft)
- Rotation und „flattern“ des Balls

Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu ...	trifft gar nicht zu	trifft fast nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft weit- gehend zu	trifft voll zu
... eine zum Lösen der Aufgabe sinnvolle Skizze anzufertigen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... den zum Lösen benötigten Ansatz zu identifizieren, <u>wenn</u> eine Skizze bereits vorgegeben ist.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... zu erläutern, wie beim Lösen der Aufgabe vorgegangen werden muss, <u>wenn</u> die Skizze und der Ansatz bereits vorgegeben sind.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... eine Lösung auf mathematischem Wege zu ermitteln, <u>wenn</u> die Skizze und der Ansatz vorgegeben sind und das Lösungsvorgehen verbal beschrieben ist.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

★ ★ ★ ★ ★

Selbsteinschätzung zu Aspekten rund um das Bearbeiten von Rechenaufgaben

Bitte lesen Sie die unten stehende Rechenaufgabe durch und überlegen Sie kurz, inwiefern Sie diese lösen könnten. Wählen Sie anschließend unter der Aufgabe für jede Aussage Ihre Einschätzung aus.

Achtung 1: Sie sollen über die Aufgabe nur kurz nachdenken, diese aber **nicht lösen**!

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Achtung 3: Unter einem **Ansatz** verstehen wir **die zur Lösung anzuwendende physikalische Grundidee**, wie beispielsweise einen Bewegungs-, Energie- oder Kraftansatz.

Melanie schießt beim Fußball den Ball mit einer Geschwindigkeit von $29 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und in einem Winkel von 42° zur Horizontalen schräg nach oben. Durch auftretenden Wind wird der Ball in vertikaler Richtung insgesamt nur noch mit $a_y = -9,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ nach unten und in horizontaler Flugrichtung mit $a_x = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ beschleunigt.

Wie weit ist der Fußball bereits geflogen, wenn er seinen höchsten Punkt erreicht hat?

Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Effekte durch die Luft (mit Ausnahme der Luft des Windes)
- Rotation und „flattern“ des Balls

Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu ...	trifft gar nicht zu	trifft fast nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft weit- gehend zu	trifft voll zu
... eine zum Lösen der Aufgabe sinnvolle Skizze anzufertigen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... den zum Lösen benötigten Ansatz zu identifizieren, <u>wenn</u> eine Skizze bereits vorgegeben ist.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... zu erläutern, wie beim Lösen der Aufgabe vorgegangen werden muss, <u>wenn</u> die Skizze und der Ansatz bereits vorgegeben sind.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
... eine Lösung auf mathematischem Wege zu ermitteln, <u>wenn</u> die Skizze und der Ansatz vorgegeben sind und das Lösungsvorgehen verbal beschrieben ist.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

★ ★ ★ ★ ★

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Elyas wirft eine Münze senkrecht nach oben, sodass sie immer weiter nach oben steigt, bis sie ihren höchsten Punkt erreicht.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Kräfte am besten, die zwischen dem Abwurf und dem höchsten Punkt auf die Münze wirken? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden

- ☐ Es wirken keine Kräfte auf die Münze.
- ☐ Es wirkt nur die Gravitationskraft auf die Münze.
- ☐ Auf die Münze wirkt nur die Kraft, die beim Wurf von Elyas auf sie übertragen wurde.
- ☐ Auf die Münze wirken sowohl die Gravitationskraft, als auch die von Elyas auf sie übertragene Kraft.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Ein Fahrstuhl wird in einem Fahrstuhlschacht von einem Stahlseil mit konstanter Geschwindigkeit nach oben gezogen.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Kräfte am besten, die in diesem Zeitraum auf den Fahrstuhl wirken? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Reibung zwischen Rolle und Seil
- Reibung zwischen Fahrstuhl und Schachtwänden
- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden

- ☐ Auf den Fahrstuhl wirkt nur die Gravitationskraft nach unten. Er bewegt sich aber dennoch nach oben, da das Stahlseil an der Decke mechanisch aufgerollt wird.
- ☐ Auf den Fahrstuhl wirkt nur eine Kraft nach oben, die vom Seil auf den Fahrstuhl ausgeübt wird, und die dafür sorgt, dass der Fahrstuhl nach oben gezogen wird.
- ☐ Auf den Fahrstuhl wirken die Gravitationskraft nach unten sowie eine größere Kraft nach oben, die vom Seil auf den Fahrstuhl ausgeübt wird.
- ☐ Auf den Fahrstuhl wirken die Gravitationskraft nach unten und eine gleich große Kraft nach oben, die vom Seil auf den Fahrstuhl ausgeübt wird.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Ein Buch liegt auf dem Tisch und bewegt sich nicht.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Kräfte am besten, die zu diesem Zeitpunkt auf das ruhende Buch wirken? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden

- ☐ Auf das Buch wirken die Gravitationskraft nach unten sowie eine gleich große Kraft nach oben, die der Tisch ausübt.
- ☐ Auf das Buch wirkt die Gravitationskraft nach unten, aber das Buch fällt nicht, da der Tisch im Weg ist.
- ☐ Auf das Buch können überhaupt keine Kräfte wirken, weil das Buch sich nicht bewegt und daher völlig in Ruhe ist.
- ☐ Auf das Buch wirkt nur die Gravitationskraft. Sie hält das Buch auf dem Tisch, sodass es sich nicht bewegen kann.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Caro prellt einen Basketball auf den Boden, sodass sich der Basketball nach dem Verlassen von Caros Hand gerade nach unten bewegt.



Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Kräfte am besten, die während des Falls auf den Basketball wirken? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- *Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden*

- ☐ Es wirken keine Kräfte auf den Basketball.
- ☐ Es wirkt nur die Gravitationskraft auf den Basketball.
- ☐ Auf den Basketball wirkt nur die Kraft, die beim Prellen von Caro auf ihn übertragen wurde.
- ☐ Auf den Basketball wirken sowohl die Gravitationskraft, als auch die von Caro auf ihn übertragene Kraft.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Caro prellt einen Basketball auf den Boden, sodass sich der Basketball nach dem Aufprallen auf dem Boden gerade nach oben bewegt.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Kräfte am besten, die während des Hochbewegens auf den Basketball wirken? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden

- ☐ Es wirkt nur die Gravitationskraft auf den Basketball.
- ☐ Auf den Basketball wirkt nur die vom Hallenboden auf ihn übertragene Kraft.
- ☐ Auf den Basketball wirken sowohl die Gravitationskraft, als auch die vom Hallenboden auf ihn übertragene Kraft.
- ☐ Es wirken keine Kräfte auf den Basketball.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Ein Radfahrer fährt auf einer ebenen Straße geradeaus, sodass seine Geschwindigkeit gleichmäßig zunimmt.



Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Kräfte am besten, die in diesem Zeitraum auf den Radfahrer wirken? Wählen Sie diese aus.

Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden

Der Radfahrer und das Fahrrad sollen als eine Einheit betrachtet werden.

- ☐ Auf den Radfahrer wirken die Gravitationskraft nach unten und eine immer größer werdende Antriebskraft, die durch das Treten ausgeübt wird.
- ☐ Auf den Radfahrer wirken die Gravitationskraft nach unten, eine gleich große Kraft, die vom Boden ausgeübt wird, und eine immer größer werdende Antriebskraft, die durch das Treten ausgeübt wird.
- ☐ Auf den Radfahrer wirken die Gravitationskraft nach unten, eine gleich große Kraft, die vom Boden auf den Radfahrer ausgeübt wird, eine konstante Antriebskraft, die durch das Treten ausgeübt wird, und eine kleinere konstante Reibungskraft, die der Bewegung entgegenwirkt.
- ☐ Auf den Radfahrer wirken die Gravitationskraft nach unten, eine gleich große Kraft, die vom Boden auf den Radfahrer ausgeübt wird, eine immer größer werdende Antriebskraft, die durch das Treten ausgeübt wird, und eine kleinere konstante Reibungskraft, die der Bewegung entgegenwirkt.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Peter schiebt eine sehr große Kiste auf einem ebenen Untergrund geradeaus. Während sich die Kiste geradeaus bewegt, übt Peter auf die Kiste eine konstante Kraft in Bewegungsrichtung aus, die genauso groß ist wie die konstante Reibungskraft, die der Bewegung entgegenwirkt.



Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Bewegung der Kiste in diesem Zeitraum am besten? Wählen Sie diese aus.

Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden

- ☐ Die Geschwindigkeit nimmt ab, weil sich die Kraft, die Peter auf die Kiste ausübt und die Reibungskraft, die der Bewegung entgegenwirkt, kompensieren.
- ☐ Die Geschwindigkeit der Kiste ist konstant, weil sie durch die konstante Kraft, die Peter auf die Kiste ausübt, bestimmt wird.
- ☐ Die Geschwindigkeit der Kiste nimmt ab, da die Kiste sehr schwer ist und ihre Masse daher der Bewegung entgegenwirkt.
- ☐ Die Geschwindigkeit ist konstant, weil sich die Kraft, die Peter auf die Kiste ausübt und die Reibungskraft, die der Bewegung entgegenwirkt, kompensieren.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Andrei spielt Strand-Boccia. Dabei wirft er eine Kugel so ab, dass diese über eine ebene Sandfläche, geradeaus auf das Ziel im Sand zurollt.



Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Bewegung der Kugel nach dem Abwurf am besten? Wählen Sie diese aus.

Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden

- ☐ Die Geschwindigkeit der Kugel nimmt kontinuierlich ab, bis sie irgendwann zur Ruhe kommt, da die Bocciakugel schwer ist und ihre Masse daher der Bewegung geradeaus entgegenwirkt.
- ☐ Die Geschwindigkeit der Kugel nimmt zunächst zu, da Andrei beim Abwurf eine Kraft in Bewegungsrichtung auf die Kugel überträgt. Diese wird aber mit der Zeit verbraucht, sodass die Kugel danach allmählich langsamer wird.
- ☐ Die Geschwindigkeit nimmt kontinuierlich ab bis die Kugel zur Ruhe kommt, da sich außer der Reibungskraft entgegen der Bewegungsrichtung alle anderen Kräfte, die auf sie wirken kompensieren.
- ☐ Die Geschwindigkeit nimmt zunächst zu, da Andrei beim Abwurf eine Kraft auf die Kugel überträgt, die größer als die Reibungskraft ist. Erstere wird aber mit der Zeit verbraucht, sodass nur noch die Reibungskraft wirkt und die Kugel allmählich langsamer wird.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Simon und Simone haben eine Motorradpanne und schieben es daher geradeaus über eine ebene Straße. Während sich das Motorrad geradeaus bewegt, ist die konstante Kraft, die die beiden in Bewegungsrichtung auf das Motorrad ausüben, größer als die konstante Reibungskraft, die der Bewegung entgegenwirkt.



Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Bewegung des Motorrads ab diesem Zeitpunkt am besten? Wählen Sie diese aus.

Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden

- ☐ Die Geschwindigkeit des Motorrads nimmt zu, da die Reibungskraft immer weiter abnimmt, je schneller sich das Motorrad über die Straße bewegt.
- ☐ Die Geschwindigkeit des Motorrads nimmt zu, da sich die Kraft, die Simon und Simone auf das Motorrad ausüben, und die Reibungskraft zu einer konstanten Kraft in Bewegungsrichtung zusammensetzen.
- ☐ Die Geschwindigkeit des Motorrads ist konstant, da sich die Kraft, die Simon und Simone auf das Motorrad ausüben, und die Reibungskraft zu einer konstanten Kraft in Bewegungsrichtung zusammensetzen.
- ☐ Die Geschwindigkeit des Motorrads ist konstant, da sie durch die konstante Kraft, die Simon und Simone auf das Motorrad ausüben, bestimmt wird.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Beim Hallenhockey schießt Jason einen Ball auf einem ebenen und glatten Hallenboden geradeaus.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Bewegung des Balls nach dem Abschlag am besten? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Reibung zwischen Ball und Hallenboden
- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden

- ☐ Die Geschwindigkeit des Balls ist konstant, weil die Kraft, die Jason beim Abschlag auf den Ball überträgt, konstant ist.
- ☐ Die Geschwindigkeit nimmt ab, weil die Masse des Balls der Bewegung entgegenwirkt.
- ☐ Die Geschwindigkeit nimmt ab, weil die Kraft, die Jason beim Abschlag auf den Ball überträgt, mit der Zeit verbraucht wird.
- ☐ Die Geschwindigkeit ist konstant, weil sich alle auf den Ball wirkenden Kräfte kompensieren.

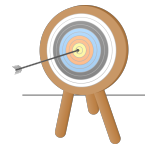
Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Ein Pfeil wird mit einem Bogen auf eine Zielscheibe geschossen. Beim Eindringen des Pfeils in die Zielscheibe wird dessen Geschwindigkeit immer kleiner und er bleibt stecken.



Welche der folgenden Aussagen beschreibt am besten, was mit der Bewegungsenergie des Pfeils beim Eindringen in die Zielscheibe passiert? Wählen Sie diese aus.

Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Effekte durch die Luft
- Wärmestrahlung

- ☐ Die Bewegungsenergie des Pfeils wird beim Eindringen immer kleiner, da die Bewegungsenergie durch Reibung immer weiter vernichtet wird.
- ☐ Die Bewegungsenergie des Pfeils wird beim Eindringen vollständig in Bewegungsenergie der Zielscheibe umgewandelt. Weil die Zielscheibe deutlich schwerer als der Pfeil ist, bleibt sie stehen.
- ☐ Die Bewegungsenergie des Pfeils wird beim Eindringen immer kleiner, da die Bewegungsenergie in Reibung umgewandelt wird.
- ☐ Die Bewegungsenergie des Pfeils wird beim Eindringen vollständig in innere Energie des Pfeils und der Zielscheibe umgewandelt.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt unter den oben beschriebenen Randbedingungen am besten, was bei dem Eindringen mit der Gesamtenergie passiert? Wählen Sie diese aus.

Hinweis:

Die Gesamtenergie umfasst hier die Summe aller Energien von Objekten, die am Prozess beteiligt sind (Pfeil, Bogen, Zielscheibe, Zielscheibenstandfuß, Luft, Erde).

- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich kleiner.
- ☐ Die Gesamtenergie ändert sich nicht.
- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich größer.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Ein Skater rollt in einer Halfpipe hin und her, ohne Schwung zu holen.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt die Summe aller Energieformen des Skaters beim Hin- und Herrollen am besten? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Effekte durch die Luft
- Wärmestrahlung

Der Skater und das Skateboard sollen als Einheit betrachtet werden.

- ☐ Die Summe aller Energieformen des Skaters bleibt gleich. Beim Hin- und Herrollen wird lediglich Lage- in Bewegungsenergie und umgekehrt umgewandelt.
- ☐ Die Summe aller Energieformen des Skaters bleibt gleich. Beim Hin- und Herrollen wird Lage- in Bewegungsenergie und umgekehrt umgewandelt. Ein Teil der Bewegungsenergie des Skaters wird durch Reibung zusätzlich in innere Energie des Skaters umgewandelt.
- ☐ Die Summe aller Energieformen des Skaters wird kleiner. Beim Hin- und Herrollen wird Lage- in Bewegungsenergie und umgekehrt umgewandelt. Ein Teil der Bewegungsenergie des Skaters wird durch Reibung jedoch zusätzlich in innere Energie des Skaters und der Halfpipe umgewandelt.
- ☐ Die Summe aller Energieformen des Skaters wird kleiner. Beim Hin- und Herrollen wird Lage- in Bewegungsenergie und umgekehrt umgewandelt. Ein Teil der Bewegungsenergie des Skaters wird durch Reibung jedoch vernichtet.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt unter den oben beschriebenen Randbedingungen am besten, was beim Hin- und Herrollen in der Halfpipe mit der Gesamtenergie passiert? Wählen Sie diese aus.

Hinweis:

Die Gesamtenergie umfasst die Summe aller Energien von Objekten, die am Prozess beteiligt sind (Skater, Halfpipe, Luft, Erde).

- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich kleiner.
- ☐ Die Gesamtenergie ändert sich nicht.
- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich größer.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Bei einem Crash-Test wird ein Auto gegen eine Wand gefahren und bleibt infolgedessen stehen.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt am besten, was mit der Bewegungsenergie des Autos bei dem Zusammenstoß passiert? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Effekte durch die Luft
- Wärmestrahlung

- ☐ Die Bewegungsenergie des Autos vor dem Zusammenstoß wird beim Zusammenstoß vollständig in innere Energie des Autos und der Wand umgewandelt, weshalb das Auto stehen bleibt und verbeult wird.
- ☐ Die Bewegungsenergie des Autos vor dem Zusammenstoß wird beim Zusammenstoß vollständig in Bewegungsenergie der Wand umgewandelt, weswegen das Auto stehen bleibt. Da die Wand aber viel schwerer als das Auto ist, bleibt sie stehen und das Auto wird verbeult.
- ☐ Die Bewegungsenergie des Autos wird bei dem Zusammenstoß mit der Wand vernichtet, weshalb das Auto stehen bleibt. Dabei wird das Auto verbeult.
- ☐ Die Bewegungsenergie des Autos verändert sich durch den Zusammenstoß nicht. Es wird jedoch innere Energie von der Wand auf das Auto übertragen, weswegen das Auto stehen bleibt und verbeult wird.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt unter den oben beschriebenen Randbedingungen am besten, was bei dem Zusammenstoß mit der Gesamtenergie passiert? Wählen Sie diese aus.

Hinweis:

Die Gesamtenergie umfasst hier die Summe aller Energien von Objekten, die am Prozess beteiligt sind (Auto, Wand, Luft, Erde).

- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich kleiner.
- ☐ Die Gesamtenergie ändert sich nicht.
- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich größer.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Bitte lesen Sie die Aufgabe genau durch und wählen Sie die Antwortmöglichkeit aus, die Sie für am zutreffendsten halten. Beißen Sie sich nicht fest. Es ist überhaupt nicht schlimm, wenn Sie die Aufgabe nicht oder nicht richtig lösen können.

Achtung 1: Es ist nur **eine Antwort** richtig.

Achtung 2: Lesen Sie die beschriebenen **Randbedingungen** genau durch.

Marlon hebt einen Stein vom Boden auf und lässt ihn wieder fallen.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt aus Perspektive aller am Prozess beteiligten Objekte (Marlon, Stein, Luft, Erde) am besten, inwiefern Energie von vor dem Aufheben bis nach dem Aufprall umgewandelt wird? Wählen Sie diese aus.



Randbedingungen

Zu vernachlässigen:

- Effekte durch die Luft
- Wärmestrahlung



- ☐ Es wird keine Energie umgewandelt, da die Lageenergie des Steins vorher und nachher gleich ist.
- ☐ Die Lageenergie des Steins wird beim Aufheben in potentielle Energie umgewandelt. Diese wird dann in kinetische Energie umgewandelt, welche beim Aufprall schließlich vernichtet wird.
- ☐ Die beim Hochheben des Steins eingesetzte Energie wird in Lageenergie und dann in Bewegungsenergie umgewandelt. Beim Aufprall wird dann innere Energie der Erde auf den Stein übertragen, die die Bewegungsenergie kompensiert.
- ☐ Die beim Hochheben des Steins eingesetzte Energie wird in Lageenergie und dann in Bewegungsenergie umgewandelt. Diese wird beim Aufprall vollständig in innere Energie des Steins und des Bodens umgewandelt.

Welche der folgenden Aussagen beschreibt unter den oben beschriebenen Randbedingungen am besten, was im Vergleich von vor dem Aufheben zu nach dem Aufprall des Steins auf dem Boden mit der Gesamtenergie passiert? Wählen Sie diese aus.

Hinweis:

Die Gesamtenergie umfasst die Summe aller Energien von Objekten, die am Prozess beteiligt sind (Marlon, Stein, Luft, Erde).

- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich kleiner.
- ☐ Die Gesamtenergie ändert sich nicht.
- ☐ Die Gesamtenergie wird merklich größer.

Fragen zu grundlegenden Konzepten der Mechanik und Mathematik

Achtung: Nur **Stift und Papier** sind als Hilfsmittel erlaubt (kein Taschenrechner!)

Formen Sie die folgenden Gleichungen jeweils nach der unbekannten Größe um, berechnen Sie deren Wert und geben Sie Ihr Ergebnis im Eingabefeld ein.

(a) $7a + 133 = 0$

(b) $37a + 23a - 90 = 0$

(c) $32a + 11 = 17a - 19$

(d) $b^2 + 14b + 49 = 0$

(e) $2b^2 - 4b = 70$

(f) $b^2 + 121 = -22b$

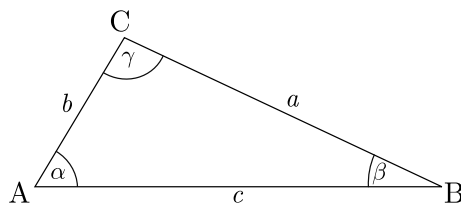
Kombinieren Sie aus folgenden Formeln eine Formel für c in Abhängigkeit von e und schreiben Sie diese in das Eingabefeld.

Formeln:

$$a = \frac{1}{4}bc^2$$

$$a = 3bde$$

Gegeben ist ein Dreieck. Die Seiten a , b und c liegen jeweils entgegen den Eckpunkten A, B und C. Die Skizze verdeutlicht die Positionen, aber nicht unbedingt die Größenverhältnisse der gegebenen Größen.



Berechnen Sie die Seite a mit Hilfe des Sinus oder Cosinus und geben Sie Ihre Lösung im Eingabefeld an. Gegeben sind:

$$b = 6 \cdot \sqrt{3} \text{ cm und } c = 12 \text{ cm}$$

$$\alpha = 30^\circ, \beta = 60^\circ, \gamma = 90^\circ$$

Benutzen Sie hierfür:

$$\sin(60^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \cos(30^\circ) = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{oder} \quad \cos(60^\circ) = 0,5$$

★ ★ ★ ★ ★

B Fragebogen aus Erhebungsschritt 2 des quantitativen Zugangs

[Hinweis der Autorin: Die Zeichen „* * * * *“ bedeuten einen Seitenumbruch im Onlinefragebogen.]

Fragen bzgl. der Zuordnung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen

Drei physikalische Ansätze, die beim Lösen von Rechenaufgaben der Mechanik häufig zum Einsatz kommen, sind:

Bewegungsansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Lösungen von **Bewegungsgleichungen** (z. B. $s(t)$) genutzt.

Energieansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu **Umwandlungen von Energien** einer Energieform in andere oder Überlegungen zum **Verrichten von Arbeit** genutzt.

Kraftansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zur **Überlagerung von Kräften** zu einer resultierenden Kraft bzw. zu **assozierten Beschleunigungen** genutzt.

Wir interessieren uns unter anderem für Ihre individuellen Einschätzungen dazu, bei welchen konkreten Aufgaben zu beschleunigten Bewegungen entlang von Hängen Sie Lösungsansätze mehr oder weniger leicht erkennen können. **Bitte sichten Sie dazu zunächst die Rechenaufgaben und ordnen Sie diese den oben beschriebenen Ansätzen zu.**

- Wählen Sie dazu neben den Rechenaufgaben den zugehörigen Ansatz aus.
- Verschiedene Lösungen können richtig sein!
- Beißen Sie sich nicht an einzelnen Aufgaben fest! Lassen Sie Aufgaben, die Sie gerade nicht gut zuordnen können, einfach aus.

	Bewegungsansatz	Energieansatz	Kraftansatz
1 Lena fährt mit ihren Inlineskates auf eine ebene* Rampe zu. Wie hoch ist die Rampe, wenn Lena auf ihr konstant mit $1,7 \text{ m/s}$ abgebremst wird und die befahrbare Rampenfläche 2,5 m lang ist? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Reibungseffekte – Ausdehnung von Lena und den Inlineskates * nicht gebogen	☐	☐	☐
2 Emre rutscht auf seinem Schlitten einen vereisten hügeligen Hang der Höhe 25 m herunter. Welche Geschwindigkeit hat der Schlitten am Fuß des Hangs? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Reibungseffekte – Ausdehnung von Emre und dem Schlitten	☐	☐	☐

3 Anna rollt auf ihrem Fahrrad mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 5 m/s einen 12 m hohen ebenen* Hang der Steigung 19° herab und wird dabei konstant mit $3,2 \text{ m/s}^2$ beschleunigt.

Wie lange benötigt Anna, um den gesamten Berg herabzurollen?

Zu vernachlässigen:

- Reibungseffekte
- Ausdehnung von Anna und dem Fahrrad

* nicht gebogen oder hügelig

☐ ☐ ☐

4 Tim fährt auf seinem Skateboard mit 7 m/s auf eine gebogene Rampe zu.

Wie hoch darf die Rampe sein, sodass Tim das Podest am oberen Ende der Rampe gerade noch erreichen kann?

Zu vernachlässigen:

- Reibungseffekte
- Ausdehnung von Tim und dem Skateboard

☐ ☐ ☐

5 Lio rutscht im Kletterwald eine 750 m lange Seilrutsche entlang und wird dabei konstant beschleunigt. Er benötigt für die komplette Strecke 28 s und seine Anfangsgeschwindigkeit beträgt 2 m/s .

Wie groß ist die auf Lio wirkende Beschleunigung?

Zu vernachlässigen:

- Reibungseffekte
- Ausdehnung von Lio

☐ ☐ ☐

6 Malte rutscht eine Wasserrutsche herunter und wird auf einem geraden* Wegstück konstant mit $3,4 \text{ m/s}^2$ beschleunigt.

Welchen Winkel schließt das Wegstück mit der Horizontalen ein?

Zu vernachlässigen:

- Reibungseffekte
- Ausdehnung von Malte

* nicht gebogen oder hügelig

☐ ☐ ☐

Wie schwer oder leicht ist Ihnen das Sortieren dieser Rechenaufgaben insgesamt gefallen?

[Feld zur Auswahl zwischen „sehr schwer“ bis „sehr leicht“]

Welche Aufgaben sind Ihnen leichter oder schwerer gefallen zuzuordnen? Bei welchen Aufgaben waren Sie sich unsicher? Notieren Sie die Nummern der Rechenaufgaben entsprechend Ihrer Einschätzung. Sie müssen nicht alle Rechenaufgaben zuordnen.

Eher leicht bis sehr leicht:

Eher schwer bis sehr schwer:

Unsicher:

Falls Sie einige Aufgaben als eher schwer bis sehr schwer eingeschätzt haben: Versuchen Sie zu beschreiben, wieso Ihnen die Zuordnung bei diesen Aufgaben schwer bis sehr schwer gefallen ist.

--

★ ★ ★ ★ ★

Fragen bzgl. der Zuordnung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen

Drei physikalische Ansätze, die beim Lösen von Rechenaufgaben der Mechanik häufig zum Einsatz kommen, sind:

Bewegungsansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Lösungen von **Bewegungsgleichungen** (z. B. $s(t)$) genutzt.

Energieansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu **Umwandlungen von Energien** einer Energieform in andere oder Überlegungen zum **Verrichten von Arbeit** genutzt.

Kraftansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zur **Überlagerung von Kräften** zu einer resultierenden Kraft bzw. zu **assozierten Beschleunigungen** genutzt.

Wir interessieren uns unter anderem für Ihre individuellen Einschätzungen dazu, bei welchen konkreten Aufgaben zu Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit entlang von Hängen Sie Lösungsansätze mehr oder weniger leicht erkennen können. **Bitte sichten Sie dazu zunächst die Rechenaufgaben und ordnen Sie diese den oben beschriebenen Ansätzen zu.**

- Wählen Sie dazu neben den Rechenaufgaben den zugehörigen Ansatz aus.
- Verschiedene Lösungen können richtig sein!
- Beißen Sie sich nicht an einzelnen Aufgaben fest! Lassen Sie Aufgaben, die Sie gerade nicht gut zuordnen können, einfach aus.

	Bewegungsansatz	Energieansatz	Kraftansatz
1 Matthis rollt mit seinen Inlineskates einen steilen, ebenen* Hang herab. Er bremst dabei leicht, sodass er mit einer konstanten Geschwindigkeit fährt. Hätte Matthis die Bremse seiner Inlineskates nicht genutzt, hätte er eine Beschleunigung von 3 m/s^2 erfahren. Welchen Winkel schließt der Hang mit der Horizontalen ein? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Effekte durch die Luft – Ausdehnung von Matthis und den Inlineskates * nicht gebogen oder hügelig	☐	☐	☐
2 Nael rutscht auf seinem Schlitten einen verschneiten Hang herab. Auf einem geraden* Teilabschnitt des Hangs fährt er mit einer konstanten Geschwindigkeit von 10 m/s. Nach 10 s ist er schon 34 Höhenmeter heruntergerutscht. Welchen Winkel schließt der Hang mit der Horizontalen ein? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Ausdehnung von Nael und dem Bob * nicht gebogen oder hügelig	☐	☐	☐

- 3** Louis fährt mit seinen Skiern einen ebenen*, schneebedeckten Hang mit einem Neigungswinkel von 25° hinunter. Durch auftretenden Wind rutscht er mit konstanter Geschwindigkeit von $15 \frac{m}{s}$.

Wie viele Höhenmeter ist er nach 10s bereits heruntergerutscht?

Zu vernachlässigen:

- Ausdehnung von Louis und den Skiern

* nicht gebogen oder hügelig

☐ ☐ ☐

- 4** Milad rutscht in einem Bob eine Bobbahn herab. Auf einem geraden* Teilabschnitt der Bahn mit einer Steigung von 35° fährt er mit konstanter Geschwindigkeit.

Wie groß ist die Beschleunigung, die durch Reibungseffekte kompensiert wird?

Zu vernachlässigen:

- Ausdehnung von Milad und dem Bob

* nicht gebogen oder hügelig

☐ ☐ ☐

Wie schwer oder leicht ist Ihnen das Sortieren dieser Rechenaufgaben insgesamt gefallen?

[Feld zur Auswahl zwischen „sehr schwer“ bis „sehr leicht“]

Welche Aufgaben sind Ihnen leichter oder schwerer gefallen zuzuordnen? Bei welchen Aufgaben waren Sie sich unsicher? Notieren Sie die Nummern der Rechenaufgaben entsprechend Ihrer Einschätzung. Sie müssen nicht alle Rechenaufgaben zuordnen.

Eher leicht bis sehr leicht:

Eher schwer bis sehr schwer:

Unsicher:

Falls Sie einige Aufgaben als eher schwer bis sehr schwer eingeschätzt haben: Versuchen Sie zu beschreiben, wieso Ihnen die Zuordnung bei diesen Aufgaben schwer bis sehr schwer gefallen ist.

★ ★ ★ ★ ★

Fragen bzgl. der Zuordnung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen

Drei physikalische Ansätze, die beim Lösen von Rechenaufgaben der Mechanik häufig zum Einsatz kommen, sind:

Bewegungsansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Lösungen von **Bewegungsgleichungen** (z. B. $s(t)$) genutzt.

Energieansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu **Umwandlungen von Energien** einer Energieform in andere oder Überlegungen zum **Verrichten von Arbeit** genutzt.

Kraftansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zur **Überlagerung von Kräften** zu einer resultierenden Kraft bzw. zu **assozierten Beschleunigungen** genutzt.

Wir interessieren uns unter anderem für Ihre individuellen Einschätzungen dazu, bei welchen konkreten Aufgaben zu Wurfbewegungen in vertikaler Richtung Sie Lösungsansätze mehr oder weniger leicht erkennen können. **Bitte sichten Sie dazu zunächst die Rechenaufgaben und ordnen Sie diese den oben beschriebenen Ansätzen zu.**

- Wählen Sie dazu neben den Rechenaufgaben den zugehörigen Ansatz aus.
- Verschiedene Lösungen können richtig sein!
- Beißen Sie sich nicht an einzelnen Aufgaben fest! Lassen Sie Aufgaben, die Sie gerade nicht gut zuordnen können, einfach aus.

	Bewegungsansatz	Energieansatz	Kraftansatz
1 Maja pritscht beim Kontrollpass einen Volleyball mit einer Geschwindigkeit von 25 m/s senkrecht nach oben. Welche Geschwindigkeit hat der Volleyball 5 m unter seinem höchsten Punkt? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden – Ausdehnung des Balls	☐	☐	☐
2 Sascha wirft einen Ball der Masse $0,003 \text{ kg}$ senkrecht in die Luft. Hierbei wird senkrecht unter dem Ball ein Föhn mitgeführt. Sascha weiß, dass die Fallbeschleunigung eines volumenidentischen Balls mit einer Masse von $0,045 \text{ kg}$ und eingeschaltetem Föhn nur $0,5 \text{ g}$ beträgt. Wie groß ist die Beschleunigung, die auf Saschas Ball insgesamt wirkt? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Föhns auf den Ball – Ausdehnung des Balls g: Erdbeschleunigung	☐	☐	☐

- 3** Joschi taucht im Schwimmbad seinen Ball mit einer Masse von 0,3 kg unter Wasser. Beim Loslassen stellt er fest, dass dieser mit $1,3 \text{ m/s}^2$ nach oben beschleunigt wird.

Welche Masse müsste der Ball bei gleichem Volumen haben, sodass er mit $1,62 \text{ m/s}^2$ nach unten beschleunigt werden würde?

Zu vernachlässigen:

- Reibungseffekte durch die Bewegung des Balls in Wasser
- Ausdehnung des Balls bzgl. der Beschreibung der Bewegung

* nicht gebogen oder hügelig

☐ ☐ ☐

- 4** Linn wirft einen Golfball mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s senkrecht nach oben. Hierbei wird senkrecht unter dem Ball ein Föhn mitgeführt, wodurch die Fallbeschleunigung des Balls nur $0,7 g$ beträgt.

Welche Geschwindigkeit hat der Golfball 1 s bevor er seinen höchsten Punkt erreicht?

Zu vernachlässigen:

- Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Föhns auf den Ball
- Ausdehnung des Balls

g: Erdbeschleunigung

☐ ☐ ☐

- 5** Elin nimmt am Bodyflying, bei dem sie in einem vertikalen Windkanal fliegen kann, teil. Bei einer eingestellten Windgeschwindigkeit von 40 m/s schwebt sie in Ruhe über dem Boden.

Wie groß müsste die Windgeschwindigkeit sein, damit Elin mit 5 m/s^2 nach oben beschleunigt wird?

Zu vernachlässigen:

- Schwankungen der Windgeschwindigkeit

☐ ☐ ☐

- 6** Momo zieht einen am Boden eines tiefen Brunnens liegenden Eimer eifrig an einem Seil nach oben. Dabei wird der Eimer 3 s lang mit $0,4 \text{ m/s}^2$ nach oben beschleunigt. Danach zieht Momo ihn mit der erreichten Geschwindigkeit konstant nach oben. Vor lauter Erschöpfung lässt er plötzlich das Seil los, woraufhin der Eimer sich noch eine kurze Zeit nach oben bewegt und dann wieder nach unten fällt.

Wie lange dauert es nach dem Loslassen des Seiles, bis der Eimer sich wieder nach unten bewegt?

Zu vernachlässigen:

- Ausdehnung des Eimers

☐ ☐ ☐

- 7** Ben steht direkt vor einem Klettergerüst und wirft einen Ball senkrecht nach oben zu seiner Schwester Lea. Allerdings fliegt der Ball nur etwa 0,2 m höher als die Ebene unter Leas Füßen hoch ist und schlägt 0,5 s nach Durchschreiten des höchsten Punktes wieder auf dem Boden auf.

In welcher Höhe über dem Boden steht Lea?

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden
- Ausdehnung des Balls

☐ ☐ ☐

- 8** Mara wirft einen Tischtennisball mit einer Geschwindigkeit von 12 m/s senkrecht nach oben. Hierbei wird senkrecht unter dem Ball ein Föhn mitgeführt, wodurch die Fallbeschleunigung des Balls nur $0,5 \text{ g}$ beträgt.

In welcher Höhe über dem Abwurfpunkt hat der Ball eine Geschwindigkeit von $2,5 \text{ m/s}$?

Zu vernachlässigen:

- Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Föhns auf den Ball
- Ausdehnung des Balls

g: Erdbeschleunigung

☐ ☐ ☐

- 9** Yasha wirft beim Aufschlag den Tennisball $1,5 \text{ m}$ über dem Boden mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 8 m/s senkrecht nach oben. Er schlägt den Ball beim Herunterfallen mit seinem Schläger $2,7 \text{ m}$ unterhalb des höchsten Punktes weg.

Auf welcher Höhe über dem Boden trifft Yasha den Tennisball?

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden
- Ausdehnung des Balls

☐ ☐ ☐

Wie schwer oder leicht ist Ihnen das Sortieren dieser Rechenaufgaben insgesamt gefallen?

[Feld zur Auswahl zwischen „sehr schwer“ bis „sehr leicht“]

Welche Aufgaben sind Ihnen leichter oder schwerer gefallen zuzuordnen? Bei welchen Aufgaben waren Sie sich unsicher? Notieren Sie die Nummern der Rechenaufgaben entsprechend Ihrer Einschätzung. Sie müssen nicht alle Rechenaufgaben zuordnen.

Eher leicht bis sehr leicht:

Eher schwer bis sehr schwer:

Unsicher:

Falls Sie einige Aufgaben als eher schwer bis sehr schwer eingeschätzt haben: Versuchen Sie zu beschreiben, wieso Ihnen die Zuordnung bei diesen Aufgaben schwer bis sehr schwer gefallen ist.

★ ★ ★ ★ ★

Fragen bzgl. der Zuordnung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen

Drei physikalische Ansätze, die beim Lösen von Rechenaufgaben der Mechanik häufig zum Einsatz kommen, sind:

Bewegungsansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Lösungen von **Bewegungsgleichungen** (z. B. $s(t)$) genutzt.

Energieansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu **Umwandlungen von Energien** einer Energieform in andere oder Überlegungen zum **Verrichten von Arbeit** genutzt.

Kraftansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zur **Überlagerung von Kräften** zu einer resultierenden Kraft bzw. zu **assozierten Beschleunigungen** genutzt.

Wir interessieren uns unter anderem für Ihre individuellen Einschätzungen dazu, bei welchen konkreten Aufgaben zu Wurfbewegungen in horizontaler und vertikaler Richtung Sie Lösungsansätze mehr oder weniger leicht erkennen können. **Bitte sichten Sie dazu zunächst die Rechenaufgaben und ordnen Sie diese den oben beschriebenen Ansätzen zu.**

- Wählen Sie dazu neben den Rechenaufgaben den zugehörigen Ansatz aus.
- Verschiedene Lösungen können richtig sein!
- Beißen Sie sich nicht an einzelnen Aufgaben fest! Lassen Sie Aufgaben, die Sie gerade nicht gut zuordnen können, einfach aus.

	Bewegungsansatz	Energieansatz	Kraftansatz
1 Lily wirft einen Stein über eine Klippe mit einer Startgeschwindigkeit von 20 m/s in einem Winkel von 50° schräg nach oben. Durch auftretenden Wind wird der Stein in vertikaler Richtung insgesamt mit 12 m/s^2 nach unten beschleunigt. Welche vertikale Geschwindigkeit hat der Stein, wenn er den 300 m unter dem Abwurfpunkt liegenden Fuß der Klippe erreicht? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Windes – Ausdehnung des Steins	☐	☐	☐
2 Nils wirft einen Basketball senkrecht nach oben. Aufgrund des auftretenden Windes beträgt die auf den Basketball in vertikaler Richtung wirkende Beschleunigung nur noch $0,85 \text{ g}$. In welchem Winkel zur Horizontalen beschleunigt der Wind den Basketball, wenn die Gesamtbeschleunigung des Windes 7 m/s^2 beträgt? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Windes – Ausdehnung des Balls g: Erdbeschleunigung	☐	☐	☐

3 Michel führt unter einem fallenden Ball einen Föhn mit, den er in einem Winkel von 60° zur Horizontalen hält. Er weiß, dass die Fallbeschleunigung eines volumenidentischen Balls mit einer Masse von 0,6 kg durch diese Föhnkonstruktion nur 0,75 g beträgt.

Wie groß ist die Beschleunigung eines Balls der Masse 1 kg?

Zu vernachlässigen:

- Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Windes
- Ausdehnung des Balls

g: Erdbeschleunigung

☐ ☐ ☐

4 Isa wirft einen Handball mit einer Geschwindigkeit von 29 m/s , in einem Winkel von 40° schräg nach oben.

Aus welcher Höhe wurde der Handball geworfen, wenn er nach 3,9 s auf dem Boden aufkommt?

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden
- Ausdehnung des Balls

☐ ☐ ☐

5 Leano wirft einen Tischtennisball mit 2 m/s , in einem Winkel von 50° zur Horizontalen in die Luft. Hierbei wird senkrecht unter dem Ball ein Föhn mitgeführt, wodurch der Ball nur mit 0,3 g nach unten beschleunigt wird.

Wie weit fliegt der Tischtennisball, wenn Leano ihn auf derselben Höhe wieder fängt?

Zu vernachlässigen:

- Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Föhns
- Ausdehnung des Balls

g: Erdbeschleunigung

☐ ☐ ☐

6 Dora wirft einen Tennisball mit einer Geschwindigkeit von 15 m/s in einem Winkel von 50° schräg nach oben. Hierbei wird senkrecht unter dem Ball ein Föhn mitgeführt, wodurch die Fallbeschleunigung des Balls nur 0,8 g beträgt.

Wie hoch fliegt der Tennisball maximal?

Zu vernachlässigen:

- Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Föhns
- Ausdehnung des Balls

g: Erdbeschleunigung

☐ ☐ ☐

Wie schwer oder leicht ist Ihnen das Sortieren dieser Rechenaufgaben insgesamt gefallen?

[Feld zur Auswahl zwischen „sehr schwer“ bis „sehr leicht“]

Welche Aufgaben sind Ihnen leichter oder schwerer gefallen zuzuordnen? Bei welchen Aufgaben waren Sie sich unsicher? Notieren Sie die Nummern der Rechenaufgaben entsprechend Ihrer Einschätzung. Sie müssen nicht alle Rechenaufgaben zuordnen.

Eher leicht bis sehr leicht:

Eher schwer bis sehr schwer:

Unsicher:

Falls Sie einige Aufgaben als eher schwer bis sehr schwer eingeschätzt haben: Versuchen Sie zu beschreiben, wieso Ihnen die Zuordnung bei diesen Aufgaben schwer bis sehr schwer gefallen ist.

--

★ ★ ★ ★ ★

Fragen bzgl. der Zuordnung von Rechenaufgaben zu Lösungsansätzen

Drei physikalische Ansätze, die beim Lösen von Rechenaufgaben der Mechanik häufig zum Einsatz kommen, sind:

Bewegungsansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu Lösungen von **Bewegungsgleichungen** (z. B. $s(t)$) genutzt.

Energieansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zu **Umwandlungen von Energien** einer Energieform in andere oder Überlegungen zum **Verrichten von Arbeit** genutzt.

Kraftansatz: Zum Lösen der Aufgaben werden primär Überlegungen zur **Überlagerung von Kräften** zu einer resultierenden Kraft bzw. zu **assozierten Beschleunigungen** genutzt.

Wir interessieren uns unter anderem für Ihre individuellen Einschätzungen dazu, bei welchen konkreten Aufgaben zu Wurfbewegungen in horizontaler und vertikaler Richtung Sie Lösungsansätze mehr oder weniger leicht erkennen können. **Bitte sichten Sie dazu zunächst die Rechenaufgaben und ordnen Sie diese den oben beschriebenen Ansätzen zu.**

- Wählen Sie dazu neben den Rechenaufgaben den zugehörigen Ansatz aus.
- Verschiedene Lösungen können richtig sein!
- Beißen Sie sich nicht an einzelnen Aufgaben fest! Lassen Sie Aufgaben, die Sie gerade nicht gut zuordnen können, einfach aus.

ACHTUNG: Hier können mehrere Ansätze zur Lösung notwendig sein! (Wählen Sie alle zur Lösung notwendigen Ansätze aus.)

	Bewegungsansatz	Energieansatz	Kraftansatz
1 Lily wirft einen Stein über eine Klippe mit einer Startgeschwindigkeit von 20 m/s in einem Winkel von 50° schräg nach oben. Durch auftretenden Wind wird der Stein in vertikaler Richtung insgesamt mit 12 m/s^2 nach unten beschleunigt. Welche vertikale Geschwindigkeit hat der Stein, wenn er den 300 m unter dem Abwurfpunkt liegenden Fuß der Klippe erreicht? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Windes – Ausdehnung des Steins	☐	☐	☐
2 Nils wirft einen Basketball senkrecht nach oben. Aufgrund des auftretenden Windes beträgt die auf den Basketball in vertikaler Richtung wirkende Beschleunigung nur noch 0,85 g. In welchem Winkel zur Horizontalen beschleunigt der Wind den Basketball, wenn die Gesamtbeschleunigung des Windes 7 m/s^2 beträgt? <u>Zu vernachlässigen:</u> – Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Windes – Ausdehnung des Balls g: Erdbeschleunigung	☐	☐	☐

3 Michel führt unter einem fallenden Ball einen Föhn mit, den er in einem Winkel von 60° zur Horizontalen hält. Er weiß, dass die Fallbeschleunigung eines volumenidentischen Balls mit einer Masse von 0,6 kg durch diese Föhnkonstruktion nur 0,75 g beträgt.

Wie groß ist die Beschleunigung eines Balls der Masse 1 kg?

Zu vernachlässigen:

- Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Windes
- Ausdehnung des Balls

g: Erdbeschleunigung

☐ ☐ ☐

4 Isa wirft einen Handball mit einer Geschwindigkeit von 29 m/s in einem Winkel von 40° schräg nach oben.

Aus welcher Höhe wurde der Handball geworfen, wenn er nach 3,9 s auf dem Boden aufkommt?

Zu vernachlässigen:

- Kräfte, die durch die Luft ausgeübt werden
- Ausdehnung des Balls

☐ ☐ ☐

5 Leano wirft einen Tischtennisball mit 2 m/s in einem Winkel von 50° zur Horizontalen in die Luft. Hierbei wird senkrecht unter dem Ball ein Föhn mitgeführt, wodurch der Ball nur mit 0,3 g nach unten beschleunigt wird.

Wie weit fliegt der Tischtennisball, wenn Leano ihn auf derselben Höhe wieder fängt?

Zu vernachlässigen:

- Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Föhns
- Ausdehnung des Balls

g: Erdbeschleunigung

☐ ☐ ☐

6 Dora wirft einen Tennisball mit einer Geschwindigkeit von 15 m/s in einem Winkel von 50° schräg nach oben. Hierbei wird senkrecht unter dem Ball ein Föhn mitgeführt, wodurch die Fallbeschleunigung des Balls nur 0,8 g beträgt.

Wie hoch fliegt der Tennisball maximal?

Zu vernachlässigen:

- Schwankungen der Beschleunigungswirkung des Föhns
- Ausdehnung des Balls

g: Erdbeschleunigung

☐ ☐ ☐

Wie schwer oder leicht ist Ihnen das Sortieren dieser Rechenaufgaben insgesamt gefallen?

[Feld zur Auswahl zwischen „sehr schwer“ bis „sehr leicht“]

Welche Aufgaben sind Ihnen leichter oder schwerer gefallen zuzuordnen? Bei welchen Aufgaben waren Sie sich unsicher? Notieren Sie die Nummern der Rechenaufgaben entsprechend Ihrer Einschätzung. Sie müssen nicht alle Rechenaufgaben zuordnen.

Eher leicht bis sehr leicht:

Eher schwer bis sehr schwer:

Unsicher:

Falls Sie einige Aufgaben als eher schwer bis sehr schwer eingeschätzt haben: Versuchen

Sie zu beschreiben, wieso Ihnen die Zuordnung bei diesen Aufgaben schwer bis sehr schwer gefallen ist.

--

★ ★ ★ ★ ★

Abschlussauftrag

Die Folgenden Fragen beziehen sich auf all Ihre Zuordnungen in dieser Umfrage (also nicht mehr auf einzelne Rechenaufgaben). Versuchen Sie sich nocheinmal alle Schwierigkeiten, die Sie vorhin bei der Zuordnung der Rechenaufgaben zu Ansätzen hatten, und Ihr grundsätzliches Vorgehen ins Gedächtnis zu rufen.

Gibt es etwas, was Ihnen beim Gruppieren bzw. Einsortieren von Rechenaufgaben grundsätzlich Schwierigkeiten bereitet hat? Falls ja, versuchen Sie zu beschreiben, was diese Schwierigkeiten ausmacht.

Haben Sie das Gefühl, dass sich Ihr Vorgehen beim Gruppieren der Aufgaben mit der Zeit geändert hat? Wenn ja, inwiefern?

Stellen Sie sich vor, ein*e Student*in aus dem ersten Semester fragen Sie, woran man erkennen kann, dass eine Aufgabe einen bestimmten Ansatz erfordert. Was könnten Sie diesem*r Student*in sagen?

Tipp: „Immer / Häufig, wenn in einer Aufgabe ... dann ist ein ... -ansatz erforderlich.“

C Interviewleitfaden aus dem qualitativen Zugang

Tabelle 26
Abschnitt des Interviewleitfadens zum Einstieg in das Interview

Inhalt	Formulierungsnotizen
Bedanken für die Teilnahme	– Ich freue mich sehr, dass Sie sich für das heutige Gespräch Zeit nehmen.
Vorstellen der Interviewerin, Klären der Anrede und Warm-Up	– Nina Pandikow – Mitarbeiterin des Instituts für Didaktik der Physik – frühere Übungsleiterin in den Rechenübungen zur Experimentalphysik I & II – Ist Ihnen das „Sie“ oder „Du“ in unserem Gespräch lieber? Erfahrungsgemäß fällt es beim „Du“ einfacher, wenn wir über beispielsweise Schwierigkeiten beim Lösen von Rechenaufgaben reden. Falls Sie aber lieber bei dem „Sie“ bleiben möchten, ist das für mich aber auch vollkommen in Ordnung. – Wie haben Sie das digitale Semester insbesondere in Bezug auf die Rechenübungen erlebt?
Inhalt des Gesprächs	– Ich habe ja bereits angekündigt, dass Sie in diesem Gespräch Rückmeldung zu Ihren Angaben in der Online-Befragung bekommen können und wir Vorgehensweisen beim Lösen von Rechenaufgaben gemeinsam erarbeiten. – Gibt es sonst noch etwas, das Sie gerne besprechen möchten? – Für das Gespräch habe ich eine Dauer von etwa 120min angekündigt. Ist dieser zeitliche Rahmen für Sie in Ordnung oder soll ich auf eine zusätzliche zeitliche Beschränkung achten?
Gesprächseröffnung	– Ich würde unser Gespräch gerne mit Vorgehensweisen beim Lösen von Rechenaufgaben beginnen. Dann können wir fachinhaltliche Fragen anschließend zusammen klären. – Das am häufigsten auftretende Problem beim Bearbeiten von Rechenaufgaben ist für Studierende das Finden von Lösungsideen. Hierfür braucht es oft viel Erfahrung, weshalb es Ihnen wahrscheinlich

Tabelle 26*Abschnitt des Interviewleitfadens zum Einstieg in das Interview (Fortsetzung)*

Inhalt	Formulierungsnotizen
Gesprächseröffnung (Fortsetzung)	wenig helfen würde, wenn ich Ihnen einfach nur ein paar Regeln nennen würde. Da das Rechnen von vielen Aufgaben aber viel Zeit erfordern würde, möchte ich mit Ihnen einen anderen Ansatz ausprobieren. – Ich werde Ihnen verschiedene Rechenaufgaben zeigen, die Sie aber nicht rechnen müssen. Zu manchen fällt Ihnen vielleicht auch gar nicht ein, wie sie diese berechnen sollen. Lassen Sie sich davon nicht irritieren! – Ihr Auftrag besteht dann darin, diese Physikaufgaben nach der notwendigen Lösungsidee zu gruppieren. Sie sollen also Aufgaben, die aus Ihrer Sicht auf ähnliche Weise gelöst werden, zusammenlegen. Ich gebe die Aufgaben in kleinen Paketen nacheinander herein, sodass Sie sich immer nur auf eine relativ kleine Anzahl an Aufgaben konzentrieren müssen. Vielleicht haben Sie für manche Aufgaben keine Idee, wie die zusammengehören, dann legen Sie diese Aufgaben einfach beiseite. Ich werde dabei versuchen, zunächst so wenig wie möglich zu helfen, damit Sie sich erstmal ausprobieren können. Falls Sie aber gar nicht weiterkommen, helfe ich Ihnen natürlich gerne. – Im Anschluss an die Gruppierung jedes Pakets möchte ich dann mit Ihnen u.a. besprechen, wie Sie vorgegangen sind und was Ihnen leicht- oder schwergefallen ist, sodass ich möglichst viel darüber herausfinden kann, wie Sie sich Rechenaufgaben erschließen und inwiefern gewisse Aspekte Ihnen Schwierigkeiten bereiten, und Ihnen nach diesem Gesprächsteil möglichst passgenaue Tipps geben kann. – Am Ende dieses Gesprächsteils können wir dann gemeinsam Hinweise zum Finden von Lösungsideen diskutieren, einzelne Aufgaben nochmal ganz genau besprechen oder auch zu sonstigen Fragen übergehen.
Leitfaden	– Ich habe für mich einen Leitfaden vorbereitet. Dieser hilft mir den Ablauf des Gesprächs im Blick zu behalten, damit ich nichts vergesse und ich auch später im Nachgespräch auf Details eingehen kann. Lassen Sie sich also nicht irritieren, wenn ich zwischendurch auf diesen schaue oder mir etwas notiere.

Tabelle 26*Abschnitt des Interviewleitfadens zum Einstieg in das Interview (Fortsetzung)*

Inhalt	Formulierungsnotizen
Formalitäten	– Ich habe online bereits angekündigt, dass Sie die Möglichkeit haben, an meiner Forschung mitzuwirken, indem Sie mir erlauben, dieses Gespräch aufzuzeichnen. Das betrifft zunächst einmal nur den ersten Teil des Gesprächs zum Gruppieren der Rechenaufgaben. – Sind Sie damit einverstanden, wenn ich unser folgendes Gespräch bzw. meinen Bildschirm inkl. Ton aufzeichne, um für mein Forschungsprojekt Hinweise zu bekommen, wie man Studierenden besser helfen kann, Rechenaufgaben zu lösen? – Die Speicherung und Auswertung der Daten würden vollständig anonym erfolgen, sodass unser Gespräch nicht in Verbindung mit Ihrem Namen gebracht werden kann. – Alle weiteren Formalitäten zur Aufwandsentschädigung von 20€ und zur Einverständniserklärung möchte ich gerne mit Ihnen am Ende der Erhebung besprechen, sodass Sie besser einschätzen können, inwiefern Sie mir den Umgang mit den Daten erlauben wollen. Das Video kann selbstverständlich auch sofort danach vernichtet werden, falls Sie das wünschen sollten.
Rückfragen	– Haben Sie Fragen?

Tabelle 27*Abschnitt des Interviewleitfadens zur Gruppierung der Rechenaufgaben*

Aufgabensatz	Formulierungsnotizen
1	In diesem Umschlag befinden sich 6 Rechenaufgaben. In diesen geht es um beschleunigte Bewegungen entlang von Hängen. Auftrag: Bitte gruppieren Sie diese Rechenaufgaben in einer für Sie sinnvollen Weise. – Schieben Sie dafür Aufgaben in eine Spalte, die im <u>physikalischen Sinne</u> ähnlich zu lösen sind. – Bitte geben Sie den dabei entstehenden Spalten auch Namen. – Sie dürfen auch die erste Spalte weiter für Rechenaufgaben nutzen, die Sie gerade nicht gut sortieren können. Sie können diese auch jederzeit wieder ansehen und einer anderen Spalte zuordnen. – Es gibt mehrere Möglichkeiten die Aufgaben zu sortieren und somit kein grundsätzliches „richtig“ oder „falsch“. – Beißen Sie sich nicht an einzelnen Aufgaben fest. [Link senden]
2	In diesem Umschlag befinden sich zusätzliche 4 RA, in denen es um zweidimensionale Bewegungen entlang von Hängen mit konstanter Geschwindigkeit geht. Auftrag: Bitte gruppieren Sie diese Rechenaufgaben wieder in einer für Sie sinnvollen Weise. – Sie können diese Aufgaben den bereits von Ihnen gebildeten Gruppen zuordnen, aber auch neue Spalten nutzen. [Link senden]

Tabelle 27*Abschnitt des Interviewleitfadens zur Gruppierung der Rechenaufgaben (Fortsetzung)*

Aufgabensatz	Formulierungsnotizen
3	In diesem Umschlag befinden sich 9 Rechenaufgaben, in denen es um eindimensionale, beschleunigte Bewegungen im Zusammenhang mit Würfeln geht. Auftrag: Bitte gruppieren Sie diese Rechenaufgaben wieder in einer für Sie sinnvollen Weise. – Sie können diese Aufgaben den bereits von Ihnen gebildeten Gruppen zuordnen, aber auch neue Spalten nutzen. [Link senden]
4	In diesem Umschlag befinden sich weitere 6 Rechenaufgaben. In diesen geht es um zweidimensionale, beschleunigte Bewegungen im Zusammenhang mit Würfeln. Auftrag: Bitte gruppieren Sie diese Rechenaufgaben wieder in einer für Sie sinnvollen Weise. – Sie können diese Aufgaben den bereits von Ihnen gebildeten Gruppen zuordnen, aber auch neue Spalten nutzen. [Link senden]
5	In diesem Umschlag befinden sich zusätzliche 6 Rechenaufgaben im Zusammenhang mit Würfeln, die vermutlich etwas schwieriger zu gruppieren sind. Auftrag: Bitte gruppieren Sie diese Rechenaufgaben wieder in einer für Sie sinnvollen Weise. – Sie können diese Aufgaben den bereits von Ihnen gebildeten Gruppen zuordnen, aber auch neue Spalten nutzen. [Link senden]

Tabelle 28

Abschnitt des Interviewleitfadens zur Befragung bzgl. der Gruppierung von Rechenaufgaben

Nachfragen zu	„Positiver“ Fall	„Negativer“ Fall
Gruppierungskriterien	Sind Sie mit Ihrer Gruppierung zufrieden oder gibt es vielleicht etwas, was Sie an dieser stört? Wieso? Was stört Sie an der Gruppierung und wieso? Woran haben Sie sich in der Gruppierung orientiert? Sie können auch gerne auf einzelne Aufgabengruppen eingehen. <i>Mögliche Nachfrage:</i> Anhand welcher Überlegungen haben Sie die Aufgaben gruppiert? <i>Hat der*die Proband*in nach Ansätzen gruppiert?</i> Woran machen Sie bei den jeweiligen Aufgaben einer Gruppe fest, dass diese Aufgaben einen Kraft-, einen ... Ansatz benötigen? Woran machen Sie bei den jeweiligen Aufgaben einer Gruppe fest, dass diese zu der Gruppe gehören? <i>Mögliche Nachfrage:</i> Gibt es Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede mit Blick auf den Lösungsprozess? <i>Falls (eher) nein:</i> Sie können gerne neue Gruppen bilden. <i>Aufgabensatz 2, 3, 4, 5: Wurden neue Gruppen gebildet?</i> Können Sie erläutern, was aus Ihrer Sicht an den Aufgaben neu hinzukommt, sodass Sie weitere Gruppen konstruiert haben? <i>Mögliche Nachfrage falls nur „Ja“:</i> Beschreiben Sie mir bitte, was aus Ihrer Sicht an den Aufgaben neu hinzukommt, sodass Sie weitere Gruppen konstruiert haben.	
		Sind die Gruppen aus ihrer Sicht immer noch gut mit den Benennungen repräsentiert oder müssen Sie eigentlich was an der Benennung ändern? Wenn ja, was wäre das?

Tabelle 28

Abschnitt des Interviewleitfadens zur Befragung bzgl. der Gruppierung von Rechenaufgaben (Fortsetzung)

Nachfragen zu	„Positiver“ Fall	„Negativer“ Fall
Schwierigkeiten	<i>Gibt es Aufgaben, die Sie besonders gut gruppieren konnten oder bei denen Sie sich unsicher waren? Um welche Aufgaben handelt es sich?</i> <i>Wurden schwierige Aufgaben genannt?</i> Können Sie erläutern, was Ihnen bei der Gruppierung schwergefallen ist? <i>Mögliche Nachfrage falls nur „Ja“:</i> Erläutern Sie bitte, was ist Ihnen bei der Gruppierung schwergefallen ist.	
Mehrere Zuordnungen?	<i>Wurde bei <u>Ansatzgruppierung</u> erwähnt, dass manche Aufgaben in mehrere Gruppen passen?</i> Inwiefern könnte(n) diese Aufgabe(n) in mehrere Gruppen passen?	<i>Falls min. eine Aufgabengruppe relativ groß ist:</i> Diese Aufgabengruppe ist relativ groß. Gibt es in dieser Gruppe Aufgaben, die man auch in andere Gruppen ordnen könnte? <i>Wurde bei <u>Ansatzgruppierung</u> erwähnt oder bestätigt, dass manche Aufgaben in mehrere Gruppen passen?</i> Was denken Sie spricht dafür, die Aufgaben in die eine oder andere Gruppe zu sortieren?

Tabelle 28*Abschnitt des Interviewleitfadens zur Befragung bzgl. der Gruppierung von Rechenaufgaben (Fortsetzung)*

Nachfragen zu	„Positiver“ Fall	„Negativer“ Fall
	<i>Wurde die „Noch offen“-Gruppe genutzt?</i>	
<i>Noch offen?</i>	Können Sie erläutern, warum Sie diese Aufgaben zu keiner anderen Gruppe sortiert haben? <i>Mögliche Nachfrage falls nur „Ja“:</i> Erläutern Sie bitte, warum Sie diese Aufgaben zu keiner anderen Gruppe sortiert haben.	
	<i>Wurde bei der Gruppierung von Aufgaben in der „Noch offen“-Gruppe von Schwierigkeiten berichtet?</i>	
	Können Sie erläutern, wieso Ihnen die Gruppierung dieser Aufgaben eher schwergefallen ist? <i>Mögliche Nachfrage falls nur „Ja“:</i> Erläutern Sie bitte, wieso ist Ihnen die Gruppierung dieser Aufgaben eher schwergefallen ist.	
<i>Vorherige Aufgabensätze</i>	Aufgabensatz 2,3,4,5: Würden Sie an Ihren Gruppierungen zu den vorherigen Aufgabensätzen etwas ändern? Wenn ja, was würden Sie ändern?	

Tabelle 29

Abschnitt des Interviewleitfadens zur Befragung bzgl. der Gruppierung von Rechenaufgaben nach der Hereingabe eines Prompts

Nachfragen zu	„Positiver“ Fall	„Negativer“ Fall
<i>Gruppierungskriterien</i>	Sind Sie mit Ihrer Gruppierung zufrieden oder gibt es vielleicht etwas, was Sie an dieser stört? Wieso?	Was stört Sie an der Gruppierung und wieso?
<i>Nur weiter, wenn Umgruppierung stattgefunden hat...</i>		
	Woran haben Sie sich in der Gruppierung orientiert? Sie können auch gerne auf einzelne Aufgabengruppen eingehen. <i>Mögliche Nachfrage:</i> Anhand welcher Überlegungen haben Sie die Aufgaben gruppiert?	
	<i>Hat der*die Proband*in nach Ansätzen gruppiert?</i>	
	Woran machen Sie bei den jeweiligen Aufgaben einer Gruppe fest, dass diese Aufgaben einen Kraft-, einen ...Ansatz benötigen?	Woran machen Sie bei den jeweiligen Aufgaben einer Gruppe fest, dass diese zu der Gruppe gehören?
		<i>Mögliche Nachfrage:</i> Gibt es Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede mit Blick auf den Lösungsprozess?
		<i>Falls (eher) nein:</i> Sie können gerne neue Gruppen bilden.

Tabelle 29

Abschnitt des Interviewleitfadens zur Befragung bzgl. der Gruppierung von Rechenaufgaben nach der Hereingabe eines Prompts (Fortsetzung)

Nachfragen zu	„Positiver“ Fall	„Negativer“ Fall
Schwierigkeiten	<i>Gibt es Aufgaben, die Sie besonders gut gruppieren konnten oder bei denen Sie sich unsicher waren? Um welche Aufgaben handelt es sich?</i> <i>Wurden schwierige Aufgaben genannt?</i> Können Sie erläutern, was Ihnen bei der Gruppierung schwergefallen ist? <i>Mögliche Nachfrage falls nur „Ja“:</i> Erläutern Sie bitte, was ist Ihnen bei der Gruppierung schwergefallen ist.	
Mehrere Zuordnungen?	<i>Wurde bei <u>Ansatzgruppierung</u> erwähnt, dass manche Aufgaben in mehrere Gruppen passen?</i> Inwiefern könnte(n) diese Aufgabe(n) in mehrere Gruppen passen? <i>Falls min. eine Aufgabengruppe relativ groß ist:</i> Diese Aufgabengruppe ist relativ groß. Gibt es in dieser Gruppe Aufgaben, die man auch in andere Gruppen ordnen könnte? <i>Wurde bei <u>Ansatzgruppierung</u> erwähnt oder bestätigt, dass manche Aufgaben in mehrere Gruppen passen?</i> Was denken Sie spricht dafür, die Aufgaben in die eine oder andere Gruppe zu sortieren?	

Tabelle 29

Abschnitt des Interviewleitfadens zur Befragung bzgl. der Gruppierung von Rechenaufgaben nach der Hereingabe eines Prompts (Fortsetzung)

Nachfragen zu	„Positiver“ Fall	„Negativer“ Fall
<i>Noch offen?</i>	<i>Wurde die „Noch offen“-Gruppe genutzt?</i> Können Sie erläutern, warum Sie diese Aufgaben zu keiner anderen Gruppe sortiert haben? <i>Mögliche Nachfrage falls nur „Ja“:</i> Erläutern Sie bitte, warum Sie diese Aufgaben zu keiner anderen Gruppe sortiert haben. <i>Wurde bei der Gruppierung von Aufgaben in der „Noch offen“-Gruppe von Schwierigkeiten berichtet?</i> Können Sie erläutern, wieso Ihnen die Gruppierung dieser Aufgaben eher schwergefallen ist? <i>Mögliche Nachfrage falls nur „Ja“:</i> Erläutern Sie bitte, wieso ist Ihnen die Gruppierung dieser Aufgaben eher schwergefallen ist.	
<i>Vorherige Aufgabensätze</i>	Aufgabensatz 2,3,4,5: Würden Sie an Ihren Gruppierungen zu den vorherigen Aufgabensätzen etwas ändern? Wenn ja, was würden Sie ändern?	

Tabelle 30*Abschnitt des Interviewleitfadens zum Abschluss des Interviews*

Bezug	Formulierungsnotizen
Lösungsansätze	– Können Sie für jede Aufgabengruppe erläutern, woran Sie erkannt haben, dass man für die dort eingeordneten Aufgaben einen bestimmten Ansatz benötigt? <i>Mögliche Nachfrage, falls keine Regel dieser Art beschrieben wurde:</i> Können Sie eine Regel zur Zuordnung von Aufgaben zu dieser Gruppe, wie „Alle Aufgaben...“ „Immer wenn in einer Aufgabe xy beschrieben ist, ...“ aufstellen? Wie könnte eine solche lauten?
Veränderungen	– Haben Sie das Gefühl, dass sich Ihr Vorgehen beim Gruppieren der Aufgaben mit der Zeit geändert hat?
Schwierigkeiten	– Ist es Ihnen bei bestimmten Aufgaben oder Aufgabentypen leichter oder schwerer gefallen, diese zu sortieren? a) Bei welchen Aufgaben ist Ihnen das Sortieren eher leichtgefallen? b) Bei welchen Aufgaben ist Ihnen das Sortieren eher schwergefallen? Können Sie beschreiben, was Ihnen an diesen Aufgaben Schwierigkeiten beim Sortieren bereitet hat?

Tabelle 31*Abschnitt des Interviewleitfadens zum Interviewende und zum weiteren Gespräch*

Bezug	Formulierungsnotizen
Interviewende	– Wir haben nun das Ende des Gruppierungsteils erreicht. Darf ich auch unser weiteres Gespräch aufzeichnen, in dem es um die Nachbesprechung der Gruppierung und Ihre ganz individuellen Fragen geht oder soll ich die Aufnahme an dieser Stelle beenden? [evtl. Aufnahme beenden]
Weiteres Gespräch	– Besprechung Konzepte für Ansatzwahl – Fragen Rechenaufgaben: Haben Sie Fragen zu den Rechenaufgaben? – Besprechung Vorgehen bei Rechenaufgaben – Sonstige Fragen? – Rückmeldungen zur Erhebung (Aufgaben, Interview, ...) – Bedanken: Ich möchte mich noch einmal herzlich für Ihre Teilnahme bedanken! – Auswertung [Link für die Einverständniserklärung schicken und erläutern] Haben Sie Fragen zu der Einverständniserklärung? – Probandenvergütung: E-Mail an Sabrina.Euler-Becker@didaktik.physik.uni-giessen.de mit vollständigem Namen, Anschrift und Bankdaten

D Erhobene Daten aus dem quantitativen Zugang

D.1 Daten zu Personenmerkmalen der Studierenden

Tabelle 32

Daten zum erhobenen Selbstkonzept zu Physik (SK.Ph) und Mathematik (SK.M)

ID	Selbsteinschätzungsitem	
	SK.Ph	SK.M
1	4	4
2	5	5
3	5	5
4	2	5
5	5	5
6	3	5
7	4	5
8	5	5
9	5	4
10	4	4
11	4	4
12	3	4
13	4	5
14	4	4
15	4	5
16	5	4
17	4	5
18	3	4
19	4	5
20	2	5
21	4	4
22	5	5
23	4	4
24	4	5
25	4	4
26	4	5
27	4	5
28	3	2
29	4	5
30	4	4

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Für die Benennung der weiteren Spalten wurden die Abkürzungen SK: Selbstkonzept, Ph: Physik, M: Mathematik genutzt. Die Werte in den Spalten SK.Ph und SK.M beschreiben die Zustimmung der Studierenden zu den Aussagen „Ich habe die Inhalte zur Mechanik im Physikstudium bisher gut verstanden.“ (SK.Ph) und „Ich kann mathematische Operationen (z. B. Umstellen, Einsetzen, Integrieren, Ableiten) fehlerfrei durchführen.“ (SK.M) auf einer symmetrischen Likert-Skala von 0 („trifft gar nicht zu“) bis 5 („trifft voll zu“).

Tabelle 33

Daten zu erhobenen Einschätzungen bzgl. der Ursachen von Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Rechenaufgaben

ID	Selbsteinschätzungsitem						
	S.VI	S.TI	S.KG	S.VA	S.A	S.MV	S.M
1	3	1	0	0	0	4	1
2	0	3	4	1	3	0	0
3	3	2	2	2	4	4	0
4	4	1	2	2	3	1	1
5	4	2	1	3	3	0	0
6	3	4	4	4	4	3	0
7	2	4	3	3	2	2	1
8	3	1	0	0	4	0	0
9	3	3	4	2	3	0	0
10	1	2	4	2	3	2	1
11	3	3	1	2	4	0	0
12	1	3	2	2	4	1	0
13	3	3	2	2	4	1	1
14	4	4	3	3	5	1	1
15	3	3	4	2	4	4	1
16	0	0	0	0	0	0	0
17	1	3	5	5	1	0	0
18	2	1	3	3	4	3	1
19	4	3	2	4	4	0	0
20	3	2	1	1	4	4	2
21	1	1	2	1	1	4	2
22	3	4	3	4	3	1	0
23	0	1	2	2	4	3	2
24	5	3	4	2	3	0	0
25	4	4	3	2	4	3	1
26	1	2	3	1	3	0	0
27	2	2	3	3	3	1	1
28	0	0	0	0	0	1	3
29	1	3	5	5	0	0	0
30	3	4	2	2	4	2	1

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Für die Benennung der weiteren Spalten wurden die Abkürzungen S: Schwierigkeit, VI: Verständnis Inhalte, TI: Thematisierung Inhalte, KG: kompliziert gestellt, VA: Verständnis Aufgabe, A: Ansatz, MV: mathematisches Vorgehen, M: Mathematik genutzt. Die Werte in den Spalten S.VI bis S.M beschreiben die Zustimmung der Studierenden zu den Aussagen

„Wenn ich Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben habe, liegt es oft daran, dass ...

... ich Inhalte aus der Physik noch nicht gut genug verstehe.“ (S.VI)

... die notwendigen Inhalte in den Fachveranstaltungen (noch) nicht ausführlich genug behandelt wurden.“ (S.TI)

... die Aufgabe unnötig kompliziert gestellt ist.“ (S.KG)

... ich die Aufgabe nicht richtig verstehe.“ (S.VA)

... mir der passende Ansatz nicht einfällt.“ (S.A)

... ich nicht weiß, wie ich rechnerisch vorgehen soll, nachdem ich einen Ansatz gefunden habe.“ (S.MV)

... ich unsicher im Umgang mit Gleichungen und Formeln bin.“ (S.M)

auf einer symmetrischen Likert-Skala von 0 („trifft gar nicht zu“) bis 5 („trifft voll zu“).

Tabelle 34

Daten zur erhobenen Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. einzelner Lösungsschritte beim Lösen einer Energie-, einer Kraft- und einer Bewegungsansatzaufgabe

ID	Selbsteinschätzungsitem											
	SW.E.S	SW.E.A	SW.E.V	SW.E.M	SW.K.S	SW.K.A	SW.K.V	SW.K.M	SW.B.S	SW.B.A	SW.B.V	SW.B.M
1	5	3	5	4					5	4	4	4
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	1	3	4	4	5	5	5	5
4	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	5	4	4	4	2	4	4	5	4	3	4	5
7	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5
8	5	5	5	5	5	3	3	4	5	5	5	5
9	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
11	5	5	5	5	5	2	4	5	5	5	5	5
12	5	5	5	5	5	2	2	3	5	4	5	5
13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
14	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5
15	5	5	5	5	3	4	5	5	4	5	5	5
16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
17	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
19	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5
20	5	4	5	5	5	3	5	5	5	3	5	5
21	5	4	5	5	5	3	4	5	4	3	4	4
22	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
23	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
24	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
25	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5
26	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5		5
27	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
28	5	5	5	5	5	5	4	3	5	5	5	5
29	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
30	3	3	3	3	2	2	3	4	2	3	3	4

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Für die Benennung der weiteren Spalten wurden die Abkürzungen SW: Selbstwirksamkeitserwartung, E: Energieansatz, K: Kraftansatz, B: Bewegungsansatz, S: Skizze, A: Ansatz, V: Vorgehen beschreiben, M: mathematisches ausführen genutzt. Die Werte in den Spalten SW.E.S bis SW.B.M beschreiben die Zustimmung der Studierenden zu den Aussagen

„Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu ...

... eine zum Lösen der Aufgabe sinnvolle Skizze anzufertigen.“ (SW.E.S, SW.K.S, SW.B.S)

... den zum Lösen benötigten Ansatz zu identifizieren, wenn eine Skizze bereits vorgegeben ist.“
(SW.E.A, SW.K.A, SW.B.A)

... zu erläutern, wie beim Lösen der Aufgabe vorgegangen werden muss, wenn die Skizze und der Ansatz bereits vorgegeben sind.“ (SW.E.V, SW.K.V, SW.B.V)

... eine Lösung auf mathematischem Wege zu ermitteln, wenn die Skizze und der Ansatz bereits vorgegeben sind und das Lösungsvorgehen verbal beschrieben ist.“ (SW.E.M, SW.K.M, SW.B.M)

auf einer symmetrischen Likert-Skala von 0 („trifft gar nicht zu“) bis 5 („trifft voll zu“).

Tabelle 35*Daten zur Bearbeitung des Mechaniktests*

ID	Testitem																	
	Mech.N.1	Mech.N.2	Mech.N.3	Mech.N.4	Mech.N.5	Mech.N.6	Mech.N.7	Mech.N.8	Mech.N.9	Mech.N.10	Mech.EU.11	Mech.EE.12	Mech.EU.13	Mech.EE.14	Mech.EU.15	Mech.EE.16	Mech.EU.17	Mech.EE.18
1	4	3	1	4	3	3	4	3	4	4	4	2	2	2	1	2	4	2
2	2	4	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
3	2	4	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
4	2	3	2	4	3	3	4	4	3	4	2	2	2	2	2	2	4	2
5	2	3	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	2	2	1	2	4	2
6	4	3	1	4	3	2	4	3	4	4	3	2	2	2	1	2	4	2
7	2	4	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
8	4	1	1	4	3	3	4	3	2	2	2	2	3	2	1	2	4	2
9	1	1	1	4	3	3	4	4	2	4	4	2	2	2	2	2	3	2
10	4	3	1	4	3	3	4	3	3	2	2	2	3	2	1	2	4	2
11	2	4	1	2	1	3	2	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
12	4	3	1	4	3	3	4	4	2	1	3	2	2	2	1	2	4	2
13	2	4	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
14	4	3	1	4	3	3	1	3	2	1	4	2	3	2	1	2	4	2
15	4	3	1	4	3	4	4	4	4	1	2	2	3	2	2	2	4	2
16	4	4	1	4	3	3	4	3	2	4	2	2	3	2	1	2	4	2
17	4	3	1	4	3	4	4	3	3	4	4	2	2	2	1	2	4	2
18	2	4	1	2	1	3	4	3	2	4	2	2	2	2	2	2	4	2
19	2	3	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
20	4	3	1	4	3	3	4	4	1	1	2	2	3	2	1	2	4	2
21	2	3	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
22	4	3	1	2	1	3	4	3	2	4	3	2	3	2	1	2	4	2
23	2	4	1	2	1	3	4	3	2	4	3	2	3	2	2	2	4	2
24	2	3	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
25	2	4	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
26	4	3	1	4	1	3	4	3	2	4	2	2	3	2	2	2	2	2
27	2	4	1	2	1	3	4	3	2	4	4	2	3	2	1	2	4	2
28	2	4	1	2	1	3	4	3	2	4	2	2	1	2	1	2	4	2
29	4	3	1	2	1	3	4	1	1	2	3	2	2	2	2	2	4	2
30	2	3	1	2	1	3	4	3	2	4	3	2	4	2	1	2	4	2

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Testitems setzt sich aus dem Kürzel *Mech* für den *Mechaniktest*, einem Kürzel für den Themenbereich *N: Newton*, *EU: Energieumwandlung* oder *EE: Energieerhaltung* und einer fortlaufenden Nummer zusammen. Die Werte in den Spalten zu den Testitems stehen für die von den Studierenden jeweils ausgewählte Antwortoption (1-4).

Tabelle 36

Daten über die Antworten der Studierenden zur Bearbeitung des Mathematiktests

ID	Testitems				
	Math.UL.1	Math.UL.2	Math.UL.3	Math.UL.4	Math.UL.5
1	a=-19	a=1,5	a=-2	b=-7	b1=7; b2=-5
2	-19	1,5	-2	-7	7
3	-19	1,5	-2	-7	7 oder -5
4	-19	1,5	-2	+7	+7, -5
5	-19	1,5	-2	-7	$1 \pm \sqrt{4+35}$
6	-19	1,5	-2	-7	b=7 v b=-5
7	-19	3/2	-2	-7	1+-6
8	-19	1,5	-2	-7	b1=-5, b2=7
9	7a=-133; a=-133/7=19;	60a=90; a=90/60=1,5;	15a=-30; a=-30/15=2;	b1,2=-7+-wurzel(7 ² -49); b=-7;	b ² -2b-35=0; b1,2=1+-wurzel(1 ² -35); b1=1+6=7; b2= 1-6=5;
10	-19	1,5	-6	-7	10, -2
11	-19	3/2	-2	-7	1+-6
12	19	1,8	-0,5	-7	7
13	-19	3/2	-2	-7	7
14	-133/7	90/60	-30/15	-7	$1 + -\sqrt{1+35}$
15	-19	1,5	-2	-7	b1=7 b2=-5
16	-19	1,5	-2	-7	7
17	-19	1,5	-2	-7	-5 und 7
18	-19	3/2	-2	-7	-5, 7
19	19	1,5	-2	-7	+7,-5
20	-19	1,5	-2	7	5
21	-19	1,5	-2	-7	-5; 7
22	-(133/7)	1,5	-2	-7	7 & -5
23	-19	1,5	-2	-7	7;-5
24	-19	1,5	-2	-7	7 -5
25	-19	1,5	-2	-7	1+-6 also: 7 oder -5
26	19	1,5	-2	-7	x1=-7 und x2=5
27	-19	1,5	-2	-7; -7 (doppelte Nullstelle)	7; -5
28	-19	3/2	0,25	7	4 ; -8
29	-17	1,8	-2	-7	7 oder -5
30	-19	1,5	-2	-7	-5, 7

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Testitems setzt sich aus dem Kürzel *Math* für den *Mathematiktest*, einem Kürzel für die Anforderungen *UL: Umformen und Lösen*, *UE: Umformen und Einsetzen* oder *T: Trigonometrische Beziehungen nutzen* und einer fortlaufenden Nummer zusammen.

Tabelle 36

Daten über die Antworten der Studierenden zur Bearbeitung des Mathematiktests (Fortsetzung)

ID	Testitems		
	Math.UL.6	Math.UE.7	Math.T.8
1	b=-11	$c=(12de)^{(1/2)}$	
2	-11	$c=\sqrt{12*d*e}$	6
3	-11	$c=+-\sqrt{12de}$	12cm
4	-11	$c=(12de)^2$	6cm
5	$-121/2 \pm \sqrt{(121/2)^2 - 22}$	$c=\sqrt{4a/b}=\sqrt{12de}$	$b=12cm * \sqrt{3}/2$
6	-11	$c=\sqrt{12*d*e}$	6 cm
7	-11	$c=+-\sqrt{12de}$	6
8	-11	$c=\sqrt{12de}$	6cm
9	$b^2+22b+121=0$; $b_{1,2}=-11 \pm \sqrt{121-121}$; $b=-11$;	$c(e)=\sqrt{12de}$	$\cos(\alpha)=a/b$; $a=\cos(\alpha)*b=\cos(30^\circ)*6*\sqrt{3}$ cm= $\sqrt{3}^2 * 6cm/2 = 3*3cm=9cm$;
10	-11	$1/12 * c^2 / d$	6cm
11	-11	$c=(12*d*e)^{(1/2)}$	6
12	-11	$c = \sqrt{12de}$	6
13	-11	$c(e)=\sqrt{12*d*e}$	$4*\sqrt{6}$
14	-11	$c=\sqrt{12de}$	6
15	-11	$c= \sqrt{12*d*e}$	6 cm
16	-11	$(12de)^{(1/2)}$	6 cm
17	-11	$c = (12de)^{(1/2)}$	6 cm
18	-8, -14	$c=\sqrt{12 d e}$	6cm
19	-11	$c=(12*d*e)^{(1/2)}$	6cm
20	11	$c = (12de)^{(1/2)}$	$3^{(5/2)}cm$
21	-11	$c=\sqrt{3de}$	6
22	-11	$c = \sqrt{12de}$	6 cm
23	-11	$c=\sqrt{12de}$	6cm
24	11	$c = \sqrt{12de}$	6 cm
25	-11	$c=(12*d*e)^{(0,5)}$	6
26	-11	$c=\sqrt{12de}$	$3*\sqrt{3}$
27	-11; -11 (doppelte Nulstelle)	$a=\sqrt{12*d*e}$	$a = 6cm$
28		$(12de)/(c^2)=1$	6cm
29	-11	$c=2b \sqrt{3de}$	6 cm
30	-11	$(12de)^2$	6

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Testitems setzt sich aus dem Kürzel *Math* für den *Mathematiktest*, einem Kürzel für die Anforderungen *UL: Umformen und Lösen*, *UE: Umformen und Einsetzen* oder *T: Trigonometrische Beziehungen nutzen* und einer fortlaufenden Nummer zusammen.

D.2 Daten über die Zuordnungen der Studierenden

Tabelle 37
Daten über Zuordnungen der Studierenden

ID	Rechenaufgaben																					
	1.1.K	1.2.E	1.3.B	1.4.E	1.5.B	1.6.K	2.1.K	2.2.B	2.3.B	2.4.K	3.1.E	3.2.K	3.3.K	3.4.B	3.5.K	3.6.B	3.7.B	3.8.E	3.9.E	4.1.E	4.2.K	4.3.K
1	K	E	B	E	B	K					BK	K	K	BK	EK	BK	B	BK	B	B	B	K
2	K	E	B	E	B	K					B	K	K	B	K	B	B	B	B	B	BK	K
3	B	E	B	E	B	K					E	K	K	B	K	B	B	E	E	E	E	K
4	K	E	B	E	B	K	K	E	B	K	E	K	K	B	K	BE		BE	BE	K	K	K
5	E	E	B	E	B	K					E	K	K	B	B	B	B		E	E	K	K
6	B	B	B	B	B	B	K	B	B		E	EK	K	K	B	B	K	BE	B	B	EK	K
7	K	E	B	E	B	K					BE	K	K	BK	K	K	EK	BK	BE	BK	K	K
8	B	E	B	E	B	K					B	K	K	B	K	B	B	B	E	B	K	K
9	BEK	EK	BEK	EK	B	K	K	BK	BK	EK	BEK	EK	EK	BEK	EK	BEK	BK	BK	BK	BK	K	BEK
10	K	K	K	E	B	BK					E	K	K	K	K	B	K	K	K	K	BK	BK
11	K	E	B	E	B	K					B	K	K	B	K	BK	BE	BE	BE	B	K	K
12	K	E	B	E	K	B					E	K	K	E	K	K	E	E	E	B	B	BK
13	K	E	BK	E	BEK	K					BE	K	EK	B	K	E	BE	BEK	B	E	B	K
14	K	E	B	E	B	K					B	K	K	B	K	B	B	B	E	B	K	K
15	B	E	K	E	B	K					B	K	K	B	K	K	B	B	B	B	K	K
16	K	E	B	E	B	K					B	K	K	E	K	EK	B	K	E	E	K	K
17	B	EK	EK	BE	B	K					E	K	K	E	K	B	E	E	K	B	BK	K
18	BK	E	BK	E	B	K					B	K	K	B	B	B	B	B	BE	BE	K	K
19	B	E	B	E	B	B					B	K	K	B	K	B	B	B	B	BK	K	K
20	K	E	B	B	B	K		E	B		B	K	K	B	K	E	B	K	B	B	K	K
21	K	K	B	E	B	B					B	K	K	B	K	BE	B	B	B	B	B	K
22	K	BE	BK	E	B	K					BE	K	K	B	K	BE	B	BE	BE	B	B	K
23	EK	E	B	E	B	K					B	K	K	B	K	B	B	B	B	B	K	K
24	BK	E	BK	E	B	K					BE	K	K	B	BK	B	BE	BE	B	B	K	K
25	K	E	B	E	B	K					E	K	K	E	K	B	B	E	B	B	K	K
26	K	EK	BE	EK	E	BE	BE	EK	BEK	BE	BK			BK	BEK	EK	BEK	BK	BK	B	EK	BK
27	BE	EK	B	E	B	K	BK	B	B	K	BE	K	K	B	K	B	B	B	B	BE	K	K
28	B	B	B	E	B	K	K	K	B	K	B	K	K	E	K	B	B	E	B	B	B	K
29	B	E	E	B	B						B	K	K	B	B	E		E	E	B	B	B
30	B	E	B	E	B	K	K	B	B	B	B	E	R	B	K	R	B	E	B	B	B	R

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Rechenaufgaben erfolgt nach dem Schema „Aufgabensatz.Aufgabennummer.Lösungsansatz“, wobei „Lösungsansatz“ den effizientesten Lösungsansatz bedeutet. Die Abkürzungen der Lösungsansätze stehen für E: Energieansatz, K: Kraftansatz, B: Bewegungsansatz.

Tabelle 37

Daten über Zuordnungen der Studierenden (Fortsetzung)

ID	Rechenaufgaben										
	4.4.B	4.5.B	4.6.E	5.1.BK	5.2.EK	5.3.BE	5.4.EK	5.5.BK	5.6.BE		
1	B	B	B	BK	BK	B	BK	BK	B		
2	B	B	B	BK	BK	B	BK	BK	B		
3	B	B	B	BK	BK	B	BK	BK	B		
4	BK	K	K	BK	EK	EK	BEK	BK	BK		
5	B	B	E	B	BK	B	BE	BE	BE		
6	K	K	K								
7	B	BK	EK	BK	BK	K	B	B	B		
8	B	B	B								
9	BK	BK	BEK								
10	BK	BK	BK	BK	BK	BK	BK	BK	BK		
11	B	B	E	B	B	B	EK	B	B		
12	B	B	B	BE	BE	B	EK	EK	BE		
13	BE	BK	BK	B	B	B	BEK	BK	E		
14	B	B	B	EK	BE	BE	EK	BEK	BE		
15	B	B	K	B	BE	BK	BK	B	EK		
16	E	B	E	BE	BK	K	E	BEK	BK		
17	B	B	B	BK	BK	BK	EK	BK	EK		
18	B	B	BK	BK	BK	B	BK	BE	BK		
19	B	B	B	BK	B	BK	BK	B	B		
20	E	B	B	B	BK	B	BK	BK	BE		
21	B	B	B								
22	B	B	B	B	B	B	B	B	B		
23	B	B	B	BK	BK	B	BK	BK	B		
24	B	B	B								
25	B	B	E	BK	BK	B	BEK	BK	BE		
26	BK	BK	BK	BK	EK	BK	BK	BEK	BK		
27	BE	B	B		B	BE			BE		
28	B	B	B	B	B	B	B	B	B		
29	B	B	E	BE	BE	BK	BE	BE	BE		
30	B	E	B								

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Rechenaufgaben erfolgt nach dem Schema „*Aufgabensatz.Aufgabennummer.Lösungsansatz*“, wobei „*Lösungsansatz*“ den effizientesten Lösungsansatz bedeutet. Die Abkürzungen der Lösungsansätze stehen für E: Energieansatz, K: Kraftansatz, B: Bewegungsansatz.

Tabelle 38

Daten über die Einschätzungen der Studierenden über die Schwierigkeit der Zuordnung von Rechenaufgaben der Aufgabensätze (1: „sehr schwer“ bis 6: „sehr leicht“), „eher leicht bis sehr leicht“ / „eher schwer bis sehr schwer“ zuzuordnende Rechenaufgaben („RA“) und Rechenaufgaben, bei deren Zuordnung sich die Studierenden unsicher waren

ID	Aufgabensatz 1				Aufgabensatz 2			
	Schwierigkeit	Leichte RA	Schwierige RA	Unsicher bei RA	Schwierigkeit	Leichte RA	Schwierige RA	Unsicher bei RA
1	4	3,4,5	1,6					
2	6							
3	4	2,4,6						
4	3			1-6	3			1-4
5	5							
6	3				3			
7	5	1,2,3,4,5,6						
8	4	1,2,3,4,5		6				
9	3				4	4,1	2	3
10	5	alle						
11	6	1, 2, 3, 4, 5, 6						
12	5	2,4,1,5		6,3				
13	4	1,2,4	5,3,6					
14	4	2,4						
15	4	2,4,5,6		1,3				
16	4	4						
17	5	alle	—	—				
18	4	2, 6	1	3				
19	4	1,2,3,5	4	6				
20	3	1,2,3	4,5	6	3	4,1	2	3
21	4	3,4,5,6	1,2					
22	4	4,5,1,2,6		3				
23	5	1,2,3,4,5,6						
24	5	2,4,5,6		1,3				
25	5	123456						
26	3	2,3	4				2	
27	3		2	1	4	2,3,4	1	
28	2				4			
29	4	1,2,3,4,5		6				
30	2	2		1,3,4,5,6	2		1-4	

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Nummern in den Spalten zu leichten / schwierigen Rechenaufgaben und unsicheren Zuordnungen bezeichnen die Aufgabennummern (s. Tabelle 37) der Rechenaufgaben.

Tabelle 38

Daten über die Einschätzungen der Studierenden über die Schwierigkeit der Zuordnung von Rechenaufgaben der Aufgabensätze (1: „sehr schwer“ bis 6: „sehr leicht“), „eher leicht bis sehr leicht“ / „eher schwer bis sehr schwer“ zuzuordnende Rechenaufgaben („RA“) und Rechenaufgaben, bei deren Zuordnung sich die Studierenden unsicher waren (Fortsetzung)

ID	Aufgabensatz 3				Aufgabensatz 4			
	Schwierigkeit	Leichte RA	Schwierige RA	Unsicher bei RA	Schwierigkeit	Leichte RA	Schwierige RA	Unsicher bei RA
1	4	4	1, 2, 3, 6, 7, 8, 9	5	5	1,2,3,4,5,6		
2	6	6			6			
3	4	5			5			
4	3	3			3			1-6
5	5	4			4			
6	3							
7	5	4	9,8,7,6,4,3,1	5,2	4	1,2,3,4,5,6		
8	4	4	2,3,5,9	7	2		2,5,6	
9	3		6,9	7,		1, 3, 4, 6	5	2,
10	5	4	alle		4	alle		
11	6	5	1, 2, 3, 4, 5, 8, 9	6, 7	6	1, 2, 3, 4, 5, 6		
12	5		1,2,3,4,5,6,8,9		3		1,2,3,4,5,6	
13	4	4	1,2,3,4,5,6,7,8,9		4	1,2,3,4,5,6		
14	4	4	9		4			
15	4	3	1,2,4,8	3,5,6,7,9	3	1,4,5	2	3,6
16	4	4		8	3			
17	5	5	alle	—	5	alle	—	—
18	4	3	6	9, 7	3		alle	
19	4	5	1-9		4			
20	3	4	1,3,5	9,8,7	3	6,3	1,2	4,5
21	4		1,4,5			1,2,4,6		3,5
22	4	4	1,2,3,4,5,6,7,8,9		4	1,2,3,4,5,6		
23	5	5	1,2,3,4,5,6,7,8,9		4			
24	5		1-9			1-6		
25	5		478	5	5	12456		3
26	3	4			4	2,3,5		
27	3	4	7,8,9		3			
28	2	4			4			
29	4	4	1,2,3,4,5,6,8,9		3			Alle
30	2	2			2			1-6

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Nummern in den Spalten zu leichten / schwierigen Rechenaufgaben und unsicheren Zuordnungen bezeichnen die Aufgabennummern (s. Tabelle 37) der Rechenaufgaben.

Tabelle 38

Daten über die Einschätzungen der Studierenden über die Schwierigkeit der Zuordnung von Rechenaufgaben der Aufgabensätze (1: „sehr schwer“ bis 6: „sehr leicht“), „eher leicht bis sehr leicht“ / „eher schwer bis sehr schwer“ zuzuordnende Rechenaufgaben („RA“) und Rechenaufgaben, bei deren Zuordnung sich die Studierenden unsicher waren (Fortsetzung)

ID	Aufgabensatz 5			
	Schwierigkeit	Leichte RA	Schwierige RA	Unsicher bei RA
1	4	1,4,6		3
2	6			
3	4			
4	3			1-6
5	2			
6				
7	5	1,2,3,4,5,6		
8				
9				
10	4	alle		
11	5	2, 4, 5, 6	1, 3	1, 3
12	2		1,2,3,4,5,6	
13	4	1,2,3,4,5,6		
14	4			
15	2			1,2,3,4,5,6
16	4			
17	5	alle	—	—
18	4			
19	4			
20	2	1,2,6	4,5	3
21				
22	4	1,2,3,4,5,6		
23	4			
24				
25	4	12356		4
26	3	1,2,3	4	5,6
27	2			1,4,5 siehe Anmerkungen
28	2			
29	2		Alle	
30	2	2		1,3,4,5,6

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Nummern in den Spalten zu leichten / schwierigen Rechenaufgaben und unsicheren Zuordnungen bezeichnen die Aufgabennummern (s. Tabelle 37) der Rechenaufgaben.

Tabelle 39*Daten über Angaben der Studierenden zu Schwierigkeiten während der Zuordnung der Rechenaufgaben*

ID	Angaben über Schwierigkeiten beim Zuordnen der Rechenaufgaben
1	Einige male fiel es schwer, die richtige Herangehensweise für die entsprechende Aufgabe herauszufinden, die man zur tatsächlichen Lösung gebraucht hätte. Eine (gedankliche) Grafik konnte zwar dargestellt werden, die jedoch nicht immer diesen fehlenden Ansatz lieferte.
2	
3	Die Abtrennung von Kraft- und Bewegungsansatz ist etwas unklar, weil die Lösung der Bewegungsgleichung die Kräfte erfordert.
4	
5	
6	Zu viele Informationen im Text, die zu sehr an die klassischen Textaufgaben des Schulunterrichts erinnern.
7	Sehr wenige Angaben sind häufig schwierig, weil man wenig Informationen zum Filtern der Möglichkeiten hat.
8	
9	
10	
11	Wenn mehr (verschiedene) Größen in der Aufgabe vorkommen fällt es mir schwerer, alle physikalischen Vorgänge im Kopf zu behalten. Außerdem erkannte ich ähnliche Aspekte beim Vergleich verschiedener Aufgaben, wodurch ich glaubte sicher zu sein, dass auch der entsprechende Ansatz bei diesen ähnlichen Aufgaben zu verwenden ist.
12	Arbeiten mit Winkelangaben
13	Mehrere Angaben auf einmal
14	Zu lange keine Ähnlichen Aufgaben gerechnet
15	Die Unterscheidung zwischen Bewegungs- und Kraftansatz
16	Mechanikvorlesung ist schon lange her
17	Das Verständnis von den Aufgaben, man versteht nicht, was die Aufgabenstellung einem eigentlich vorgibt, oft kann ich komplexere Aufgaben erst lösen, wenn mir ein Kommilitone die Aufgabenstellung in verständlichem deutsch erklärt hat.
18	es fehlte an Intuition die gegebenen Informationen in optimalen Ansätzen
19	Manchmal war es sehr genau zu wissen welcher Ansatz leichter wäre, oder letztendlich sinnvoll an das Ziel führt, ohne die Rechnung wirklich zu probieren und dadurch auf etwige Fehler im Gedankengang zu kommen.
20	Unsicherheit, etwas übersehen zu haben, oder eine Vorgehensweise nicht zu kennen
21	Die Möglichkeit Aufgaben mit verschiedenen Ansätzen zu lösen, und die Überlegung, welcher Ansatz am schnellsten zum Ziel führt, oder ob ein Ansatz evtl. Gesetzmäßigkeiten eines anderen Ansatzes benötigt.
22	
23	Ohne die Aufgabe zu rechnen, ist es meist nicht leicht, den besten Ansatz auszuwählen. Es fehlt das Rumprobieren mit verschiedenen Ansätzen und das Aufzeichnen einer Skizze mit eingezeichneten Größen (gegebene Größen, gesuchte Größen).
24	Ohne Notizen war es schwierig, sich vorzustellen, ob genug Größen für einen Ansatz gegeben waren. Bei einem Ansatz war ich mir meistens sehr sicher, dass er funktionieren würde, aber ob auch ein zweiter Ansatz möglich war, war manchmal schwierig zu sagen.
25	Die Aufgaben mit zusätzlich angreifenden Winden oder Föhnen kamen mir unbekannt vor (ich erinnere nicht sie bisher im Studium schonmal in dieser Form gesehen zu haben), dennoch sollten sie kein großes Problem darstellen. Entsprechend fand ich besonders die Aufgaben, bei welcher ein Föhn mitgeführt wurde und man noch zusätzlich mit Massen, welche die Beschleunigung ändern rechnen musste, fand ich schwierig.
26	
27	Ich kann es nicht ausstehen, wenn bei Aufgaben die persönliche Interpretation eine Rolle spielt. Ein Ingenieur/Wissenschaftler muss sich meiner Meinung nach so ausdrücken, dass Interpretationsspielraum minimiert wird. Das sollte also auch von Dozierenden vermittelt werden.
28	Die fragen sind nicht immer sehr einleuchtend. Zum beispiel der Winkel der Wasserrutschbahn gegen Horizont hat mich verwirrt
29	Ich brauche immer Skizzen für das Beurteilen von Ansätzen. Ohne Papier und Stift oder ausreichend Zeit fällt mir die Beurteilung schwer
30	nichts Spezielles

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient.

E Ergänzende Tabellen aus Auswertungen zum quantitativen Zugang

E.1 Ergänzende Tabellen aus Auswertungen zu Personenmerkmalen der Studierenden

Tabelle 40

Mittelwerte der Einschätzungen zum Mechanikverständnis (Item SK.Ph) und zur Fähigkeit, mathematische Operationen durchführen zu können (Item SK.M) von $N = 30$ Studierenden

Mittelwert der		Mittelwert der		Mittelwert der	
ID	Einschätzung	ID	Einschätzung	ID	Einschätzung
1	4.0	11	4.0	21	4.0
2	5.0	12	3.5	22	5.0
3	5.0	13	4.5	23	4.0
4	3.5	14	4.0	24	4.5
5	5.0	15	4.5	25	4.0
6	4.0	16	4.5	26	4.5
7	4.5	17	4.5	27	4.5
8	5.0	18	3.5	28	2.5
9	4.5	19	4.5	29	4.5
10	4.0	20	3.5	30	4.0

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient.

Tabelle 41

Zuordnungsübersicht zur schrittweisen Clusterzusammenführung der hierarchischen Clusteranalyse bzgl. Einschätzungen der Studierenden zum Item SK.Ph

Schritt	Zusammengeführte Cluster		Koeffi- zienten	Erstes Vorkommen des Clusters		Nächster Schritt
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	29	30	.000	0	0	2
2	27	29	.000	0	1	4
3	18	28	.000	0	0	13
4	26	27	.000	0	2	5
5	25	26	.000	0	4	6
6	24	25	.000	0	5	7
7	23	24	.000	0	6	8
8	21	23	.000	0	7	10
9	16	22	.000	0	0	15
10	19	21	.000	0	8	12
11	4	20	.000	0	0	29
12	17	19	.000	0	10	14
13	12	18	.000	0	3	19
14	15	17	.000	0	12	16
15	9	16	.000	0	9	22
16	14	15	.000	0	14	17
17	13	14	.000	0	16	18
18	11	13	.000	0	17	20
19	6	12	.000	0	13	27
20	10	11	.000	0	18	21
21	7	10	.000	0	20	24
22	8	9	.000	0	15	23
23	5	8	.000	0	22	25
24	1	7	.000	0	21	27
25	3	5	.000	0	23	26
26	2	3	.000	0	25	28
27	1	6	1.529	24	19	28
28	1	2	2.403	27	26	29
29	1	4	7.372	28	11	0

Anmerkung. Die Cluster entsprechen vor den Zusammenführungen der ID der Studierenden, welche aus einer fortlaufenden Nummerierung zur pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden besteht. Die Koeffizienten stellen ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster dar. Das erste Vorkommen der Cluster gibt an, in welchem Schritt der Zusammenführung der Cluster in dieser Zusammensetzung als erstes vorkommt. In der Spalte „Nächster Schritt“ ist angegeben, in welchem Schritt der Zusammenführung der gerade neu zusammengeführte Cluster wieder auftritt. Die horizontale Linie zwischen Schritt 26 und 27 verdeutlicht die Beendigung der Zusammenführung nach Schritt 26 aufgrund des sprunghaften Anstieges der Koeffizienten.

Tabelle 42

Clusterzugehörigkeiten nach Beendigung der hierarchischen Clusteranalyse bzgl. Einschätzungen der Studierenden zum Item SK.Ph

Cluster bzgl. der Zustimmung zu dem SK-Item <i>SK.Ph</i>		Cluster bzgl. der Zustimmung zu dem SK-Item <i>SK.Ph</i>	
1	hoch	16	sehr hoch
2	sehr hoch	17	hoch
3	sehr hoch	18	mittel – hoch
4	mittel – niedrig	19	hoch
5	sehr hoch	20	mittel – niedrig
6	mittel – hoch	21	hoch
7	hoch	22	sehr hoch
8	sehr hoch	23	hoch
9	sehr hoch	24	hoch
10	hoch	25	hoch
11	hoch	26	hoch
12	mittel – hoch	27	hoch
13	hoch	28	mittel – hoch
14	hoch	29	hoch
15	hoch	30	hoch

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. In der Tabelle wurde die Abkürzung „SK“ für „Selbstkonzept“ und „Ph“ für „Physik“ zur Bezeichnung des Items genutzt.

Tabelle 43

Zuordnungsübersicht zur schrittweisen Clusterzusammenführung der hierarchischen Clusteranalyse bzgl. Einschätzungen der Studierenden zum Item SK.M

Schritt	Zusammengeführte Cluster		Koeffizienten	Erstes Vorkommen des Clusters		Nächster Schritt
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	25	30	.000	0	0	5
2	27	29	.000	0	0	3
3	26	27	.000	0	2	4
4	24	26	.000	0	3	6
5	23	25	.000	0	1	7
6	22	24	.000	0	4	8
7	21	23	.000	0	5	9
8	20	22	.000	0	6	10
9	18	21	.000	0	7	12
10	19	20	.000	0	8	11
11	17	19	.000	0	10	13
12	16	18	.000	0	9	14
13	15	17	.000	0	11	15
14	14	16	.000	0	12	16
15	13	15	.000	0	13	17
16	12	14	.000	0	14	18
17	8	13	.000	0	15	22
18	11	12	.000	0	16	19
19	10	11	.000	0	18	20
20	9	10	.000	0	19	21
21	1	9	.000	0	20	28
22	7	8	.000	0	17	23
23	6	7	.000	0	22	24
24	5	6	.000	0	23	25
25	4	5	.000	0	24	26
26	3	4	.000	0	25	27
27	2	3	.000	0	26	28
28	1	2	2.148	21	27	29
29	1	28	14.889	28	0	0

Anmerkung. Die Cluster entsprechen vor den Zusammenführungen der ID der Studierenden, welche aus einer fortlaufenden Nummerierung zur pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden besteht. Die Koeffizienten stellen ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster dar. Das erste Vorkommen der Cluster gibt an, in welchem Schritt der Zusammenführung der Cluster in dieser Zusammensetzung als erstes vorkommt. In der Spalte „Nächster Schritt“ ist angegeben, in welchem Schritt der Zusammenführung der gerade neu zusammengeführte Cluster wieder auftritt. Die horizontale Linie zwischen Schritt 27 und 28 verdeutlicht die Beendigung der Zusammenführung nach Schritt 27 aufgrund des sprunghaften Anstieges der Koeffizienten.

Tabelle 44

Clusterzugehörigkeiten nach Beendigung der hierarchischen Clusteranalyse bzgl. Einschätzungen der Studierenden zum Item SK.M

Cluster bzgl. der Zustimmung zu dem SK-Item SK.M		Cluster bzgl. der Zustimmung zu dem SK-Item SK.M	
1	hoch	16	hoch
2	sehr hoch	17	sehr hoch
3	sehr hoch	18	hoch
4	sehr hoch	19	sehr hoch
5	sehr hoch	20	sehr hoch
6	sehr hoch	21	hoch
7	sehr hoch	22	sehr hoch
8	sehr hoch	23	hoch
9	hoch	24	sehr hoch
10	hoch	25	hoch
11	hoch	26	sehr hoch
12	hoch	27	sehr hoch
13	sehr hoch	28	mittel – niedrig
14	hoch	29	sehr hoch
15	sehr hoch	30	hoch

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. In der Tabelle wurde die Abkürzung „SK“ für „Selbstkonzept“ und „M“ für „Mathematik“ zur Bezeichnung des Items genutzt.

Tabelle 45

Zuordnungsübersicht zur schrittweisen Clusterzusammenführung der hierarchischen Clusteranalyse bzgl. verschiedener Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben

Schritt	Zusammengeführte Cluster		Koeffizienten	Erstes Vorkommen des Clusters		Nächster Schritt
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	17	29	0.469	0	0	27
2	13	30	1.101	0	0	8
3	2	26	1.637	0	0	12
4	10	27	1.931	0	0	11
5	9	24	1.977	0	0	16
6	15	25	2.067	0	0	13
7	5	19	2.147	0	0	9
8	13	14	2.521	2	0	13
9	5	11	2.639	7	0	16
10	6	22	2.659	0	0	14
11	10	18	2.965	4	0	15
12	2	12	3.196	3	0	23
13	13	15	4.002	8	6	17
14	6	7	4.421	10	0	17
15	4	10	5.421	0	11	19
16	5	9	5.548	9	5	22
17	6	13	5.609	14	13	21
18	21	23	5.678	0	0	20
19	3	4	6.552	0	15	21
20	20	21	6.948	0	18	24
21	3	6	7.522	19	17	22
22	3	5	8.065	21	16	23
23	2	3	9.149	12	22	27
24	1	20	11.705	0	20	26
25	8	16	12.620	0	0	28
26	1	28	15.303	24	0	28
27	2	17	16.437	23	1	29
28	1	8	19.411	26	25	29
29	1	2	21.916	28	27	0

Anmerkung. Die Cluster entsprechen vor den Zusammenführungen der ID der Studierenden, welche aus einer fortlaufenden Nummerierung zur pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden besteht. Die Koeffizienten stellen ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster dar. Das erste Vorkommen der Cluster gibt an, in welchem Schritt der Zusammenführung der Cluster in dieser Zusammensetzung als erstes vorkommt. In der Spalte „Nächster Schritt“ ist angegeben, in welchem Schritt der Zusammenführung der gerade neu zusammengeführte Cluster wieder auftritt. Die horizontale Linie zwischen Schritt 27 und 28 verdeutlicht Beendigung der Zusammenführung nach Schritt 27 aufgrund des sprunghaften Anstieges der Koeffizienten.

Tabelle 46

Zugehörigkeit zu Clustern bzgl. der Einschätzung über das Auftreten verschiedener Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Rechenaufgaben

ID	Clusterzugehörigkeit	ID	Clusterzugehörigkeit	ID	Clusterzugehörigkeit
1	Typ 1	11	Typ 2	21	Typ 1
2	Typ 2	12	Typ 2	22	Typ 2
3	Typ 2	13	Typ 2	23	Typ 1
4	Typ 2	14	Typ 2	24	Typ 2
5	Typ 2	15	Typ 2	25	Typ 2
6	Typ 2	16	Typ 3	26	Typ 2
7	Typ 2	17	Typ 2	27	Typ 2
8	Typ 3	18	Typ 2	28	Typ 1
9	Typ 2	19	Typ 2	29	Typ 2
10	Typ 2	20	Typ 1	30	Typ 2

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient.

Tabelle 47

Gemittelte Einschätzung der Studierenden zur Aussage „Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu, den zum Lösen benötigten Ansatz zu identifizieren [...]“, bezogen auf je eine Rechenaufgabe vom Typ 3E, 3K und 3B

ID	Mittlere Einschätzung	ID	Mittlere Einschätzung	ID	Mittlere Einschätzung
1	3.50	11	4.00	21	3.33
2	5.00	12	3.67	22	5.00
3	4.33	13	5.00	23	5.00
4	4.67	14	4.33	24	5.00
5	5.00	15	4.67	25	4.33
6	3.67	16	5.00	26	5.00
7	4.67	17	5.00	27	4.67
8	4.33	18	5.00	28	5.00
9	5.00	19	5.00	29	5.00
10	5.00	20	3.33	30	2.67

Anmerkung. Der Grad der Zustimmung der Studierenden kann Werte von 0 bis 5 annehmen, wobei „0“ mit „trifft gar nicht zu“ und „5“ mit „trifft voll zu“ zu übersetzen ist. Die Rechenaufgabentypen 3E, 3K und 3B sind bzgl. der Aufgabensituation durch vertikale Flug- oder Fallbewegungen und durch die effizientesten Lösungsansätze 3E: Energie-, 3K: Kraft-, 3B: Bewegungsansatz charakterisiert.

Tabelle 48

Zuordnungsübersicht zur schrittweisen Clusterzusammenführung der hierarchischen Clusteranalyse über die gemittelten Einschätzung der Studierenden zur Aussage „Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu, den zum Lösen benötigten Ansatz zu identifizieren [...]“, bezogen auf je eine Rechenaufgabe vom Typ 3E, 3K und 3B

Schritt	Zusammengeführte Cluster		Koeffi- zienten	Erstes Vorkommen des Clusters		Nächster Schritt
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	23	27	0	0	0	2
2	22	23	0	0	1	3
3	21	22	0	0	2	4
4	17	21	0	0	3	5
5	16	17	0	0	4	6
6	15	16	0	0	5	7
7	12	15	0	0	6	8
8	9	12	0	0	7	9
9	4	9	0	0	8	10
10	1	4	0	0	9	11
11	1	18	0.822	10	0	12
12	1	25	0.986	11	0	17
13	3	8	2	0	0	14
14	3	26	3	13	0	19
15	6	14	5	0	0	18
16	7	10	5	0	0	20
17	1	13	5	12	0	18
18	1	6	6	17	15	19
19	1	3	8	18	14	20
20	1	7	11	19	16	21
21	1	24	15	20	0	22
22	1	19	16	21	0	23
23	1	2	19	22	0	24
24	1	11	29	23	0	26
25	5	20	34	0	0	26
26	1	5	39	24	25	27
27	1	28	157	26	0	0

Anmerkung. Die Cluster entsprechen vor den Zusammenführungen der ID der Studierenden, welche aus einer fortlaufenden Nummerierung zur pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden besteht. Die Koeffizienten stellen ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster dar. Das erste Vorkommen der Cluster gibt an, in welchem Schritt der Zusammenführung der Cluster in dieser Zusammensetzung als erstes vorkommt. In der Spalte „Nächster Schritt“ ist angegeben, in welchem Schritt der Zusammenführung der gerade neu zusammengeführte Cluster wieder auftritt.

Tabelle 49

Zugehörigkeit zu Clustern bzgl. der gemittelten Einschätzung zur Aussage „Bei dieser Aufgabe traue ich mir zu, den zum Lösen benötigten Ansatz zu identifizieren [...]“, bezogen auf je eine Rechenaufgabe vom Typ 3E, 3K und 3B

ID	Clusterzugehörigkeit	ID	Clusterzugehörigkeit	ID	Clusterzugehörigkeit
1	mäßig	11	hoch	21	mäßig
2	sehr hoch	12	mäßig	22	sehr hoch
3	hoch	13	sehr hoch	23	sehr hoch
4	sehr hoch	14	hoch	24	sehr hoch
5	sehr hoch	15	sehr hoch	25	hoch
6	mäßig	16	sehr hoch	26	sehr hoch
7	sehr hoch	17	sehr hoch	27	sehr hoch
8	hoch	18	sehr hoch	28	sehr hoch
9	sehr hoch	19	sehr hoch	29	sehr hoch
10	sehr hoch	20	mäßig	30	neutral

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Rechenaufgabentypen 3E, 3K und 3B sind bzgl. der Aufgabensituation durch vertikale Flug- oder Fallbewegungen und durch die effizientesten Lösungsansätze 3E: Energie-, 3K: Kraft-, 3B: Bewegungsansatz charakterisiert.

Tabelle 50

Aufbereitete Daten zur Bearbeitung des Mechaniktests (1: angemessene Bearbeitung, 0: unangemessene Bearbeitung)

ID	Testitem																	
	Mech.N.1	Mech.N.2	Mech.N.3	Mech.N.4	Mech.N.5	Mech.N.6	Mech.N.7	Mech.N.8	Mech.N.9	Mech.N.10	Mech.EU.11	Mech.EE.12	Mech.EU.13	Mech.EE.14	Mech.EU.15	Mech.EE.16	Mech.EU.17	Mech.EE.18
1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
5	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
6	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1
10	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
15	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
16	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
17	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1
19	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
21	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
24	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
29	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1
30	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Testitems setzt sich aus dem Kürzel *Mech* für den *Mechaniktest*, einem Kürzel für den Themenbereich *N: Newton*, *EU: Energieumwandlung* oder *EE: Energieerhaltung* und einer fortlaufenden Nummer zusammen.

Tabelle 51

Zuordnungsübersicht zur schrittweisen Clusterzusammenführung der hierarchischen Clusteranalyse bzgl. des korrigierten Anteils richtig beantworteter Mechanikitems

Schritt	Zusammengeführte Cluster		Koeffizienten	Erstes Vorkommen des Clusters		Nächster Schritt
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	22	30	0	0	0	9
2	20	29	0	0	0	11
3	23	28	0	0	0	8
4	25	27	0	0	0	6
5	14	26	0	0	0	14
6	13	25	0	0	4	15
7	21	24	0	0	0	10
8	5	23	0	0	3	21
9	18	22	0	0	1	21
10	19	21	0	0	7	12
11	12	20	0	0	2	16
12	11	19	0	0	10	23
13	10	17	0	0	0	24
14	8	14	0	0	5	18
15	7	13	0	0	6	19
16	9	12	0	0	11	17
17	6	9	0	0	16	24
18	1	8	0	0	14	26
19	3	7	0	0	15	20
20	2	3	0	0	19	23
21	5	18	0.087	8	9	25
22	4	15	0.087	0	0	28
23	2	11	0.087	20	12	27
24	6	10	0.087	17	13	26
25	5	16	0.255	21	0	27
26	1	6	0.272	18	24	28
27	2	5	0.54	23	25	29
28	1	4	0.594	26	22	29
29	1	2	4	28	27	0

Anmerkung. Die Cluster entsprechen vor den Zusammenführungen der ID der Studierenden, welche aus einer fortlaufenden Nummerierung zur pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden besteht. Die Koeffizienten stellen ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster dar. Das erste Vorkommen der Cluster gibt an, in welchem Schritt der Zusammenführung der Cluster in dieser Zusammensetzung als erstes vorkommt. In der Spalte „Nächster Schritt“ ist angegeben, in welchem Schritt der Zusammenführung der gerade neu zusammengeführte Cluster wieder auftritt. Die horizontale Linie zwischen Schritt 26 und 27 verdeutlicht Beendigung der Zusammenführung nach Schritt 27 aufgrund des sprunghaften Anstieges der Koeffizienten.

Tabelle 52*Zugehörigkeit zu Clustern bzgl. des korrigierten Anteils richtig beantworteter Mechanikitems*

ID	Clusterzugehörigkeit	ID	Clusterzugehörigkeit	ID	Clusterzugehörigkeit
1	niedrig	11	sehr hoch	21	sehr hoch
2	sehr hoch	12	niedrig	22	mittel-hoch
3	sehr hoch	13	sehr hoch	23	mittel-hoch
4	sehr niedrig	14	niedrig	24	sehr hoch
5	mittel-hoch	15	sehr niedrig	25	sehr hoch
6	niedrig	16	mittel-hoch	26	niedrig
7	sehr hoch	17	niedrig	27	sehr hoch
8	niedrig	18	mittel-hoch	28	mittel-hoch
9	niedrig	19	sehr hoch	29	niedrig
10	niedrig	20	niedrig	30	mittel-hoch

Tabelle 53*Daten über die Antworten der Studierenden zur Bearbeitung des Mathematiktests*

ID	Testitems							
	Math.UL.1	Math.UL.2	Math.UL.3	Math.UL.4	Math.UL.5	Math.UL.6	Math.UE.7	Math.T.8
1	1	1	1	1	1	1	0.75	0
2	1	1	1	1	0.5	1	0.75	1
3	1	1	1	1	1	1	1	0
4	1	1	1	0.75	1	1	0	1
5	1	1	1	1	0	0	0.75	0
6	1	1	1	1	1	1	0.75	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	0.75	1
9	0.75	1	0.75	1	0.75	1	0.75	0
10	1	1	0	1	0	1	0	1
11	1	1	1	1	1	1	0.75	1
12	0.75	0	0	1	0.5	1	0.75	1
13	1	1	1	1	0.5	1	0.75	0
14	1	1	1	1	1	1	0.75	1
15	1	1	1	1	1	1	0.75	1
16	1	1	1	1	0.5	1	0.75	1
17	1	1	1	1	1	1	0.75	1
18	1	1	1	1	1	0	0.75	1
19	0.75	1	1	1	1	1	0.75	1
20	1	1	1	0.75	0.25	0.75	0.75	0
21	1	1	1	1	1	1	0	1
22	1	1	1	1	1	1	0.75	1
23	1	1	1	1	1	1	0.75	1
24	1	1	1	1	1	0.75	0.75	1
25	1	1	1	1	1	1	0.75	1
26	0.75	1	1	1	0.5	1	0.75	0
27	1	1	1	1	1	1	0.75	1
28	1	1	0	0.75	0	0	0.25	1
29	0	0	1	1	1	1	0	1
30	1	1	1	1	1	1	0	1

Anmerkung. Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Testitems setzt sich aus dem Kürzel *Math* für den *Mathematiktest*, einem Kürzel für die Anforderungen *UL: Umformen und Lösen*, *UE: Umformen und Einsetzen* oder *T: Trigonometrische Beziehungen nutzen* und einer fortlaufenden Nummer zusammen.

Tabelle 54

Zuordnungsübersicht zur schrittweisen Clusterzusammenführung der hierarchischen Clusteranalyse bzgl. des im Mathematiktest erreichten Prozentsatzes

Schritt	Zusammengeführte Cluster		Koeffizienten	Erstes Vorkommen des Clusters		Nächster Schritt
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	21	30	0	0	0	9
2	12	29	0	0	0	15
3	25	27	0	0	0	5
4	9	26	0	0	0	20
5	23	25	0	0	3	7
6	19	24	0	0	0	19
7	22	23	0	0	5	8
8	17	22	0	0	7	11
9	3	21	0	0	1	22
10	4	18	0	0	0	18
11	15	17	0	0	8	13
12	2	16	0	0	0	24
13	14	15	0	0	11	14
14	11	14	0	0	13	16
15	10	12	0	0	2	21
16	8	11	0	0	14	17
17	6	8	0	0	16	19
18	1	4	0	0	10	22
19	6	19	0.049	17	6	23
20	9	13	0.049	4	0	27
21	5	10	0.049	0	15	25
22	1	3	0.049	18	9	24
23	6	7	0.073	19	0	26
24	1	2	0.122	22	12	26
25	5	20	0.257	21	0	27
26	1	6	0.496	24	23	29
27	5	9	0.895	25	20	28
28	5	28	2	27	0	29
29	1	5	4	26	28	0

Anmerkung. Die Cluster entsprechen vor den Zusammenführungen der ID der Studierenden, welche aus einer fortlaufenden Nummerierung zur pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden besteht. Die Koeffizienten stellen ein Maß für die Verschiedenheit der zusammengeführten Cluster dar. Das erste Vorkommen der Cluster gibt an, in welchem Schritt der Zusammenführung der Cluster in dieser Zusammensetzung als erstes vorkommt. In der Spalte „Nächster Schritt“ ist angegeben, in welchem Schritt der Zusammenführung der gerade neu zusammengeführte Cluster wieder auftritt. Die horizontale Linie zwischen Schritt 27 und 28 verdeutlicht Beendigung der Zusammenführung nach Schritt 27 aufgrund des sprunghaften Anstieges der Koeffizienten.

Tabelle 55*Zugehörigkeit zu Clustern bzgl. des im Mathematiktest erreichten Prozentsatzes*

ID	Clusterzugehörigkeit	ID	Clusterzugehörigkeit	ID	Clusterzugehörigkeit
1	sehr hoch	11	sehr hoch	21	sehr hoch
2	sehr hoch	12	mittel – hoch	22	sehr hoch
3	sehr hoch	13	mittel – hoch	23	sehr hoch
4	sehr hoch	14	sehr hoch	24	sehr hoch
5	mittel – hoch	15	sehr hoch	25	sehr hoch
6	sehr hoch	16	sehr hoch	26	mittel – hoch
7	sehr hoch	17	sehr hoch	27	sehr hoch
8	sehr hoch	18	sehr hoch	28	niedrig
9	mittel – hoch	19	sehr hoch	29	mittel – hoch
10	mittel – hoch	20	mittel – hoch	30	sehr hoch

E.2 Ergänzende Tabellen aus Auswertungen über Zuordnungen der Studierenden

Tabelle 56
Ergebnisse der Bewertung der angemessenen („1“), unangemessenen („0“) und fehlenden („99“) Zuordnungen

ID	Rechenaufgaben																						
	1.1.K	1.2.E	1.3.B	1.4.E	1.5.B	1.6.K	2.1.K	2.2.B	2.3.B	2.4.K	3.1.E	3.2.K	3.3.K	3.4.B	3.5.K	3.6.B	3.7.B	3.8.E	3.9.E	4.1.E	4.2.K	4.3.K	
1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
2	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	
3	0	1	1	1	1	1	99	99	99	99	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	
5	0	1	1	1	1	1	99	99	99	99	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	
6	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
7	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	
8	0	1	1	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	
9	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
10	1	0	0	1	1	0	99	99	99	99	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
11	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	
12	1	1	1	1	0	0	99	99	99	99	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	
13	1	1	0	1	0	1	99	99	99	99	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	
14	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	
15	0	1	0	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	
16	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	
17	0	0	0	0	1	1	99	99	99	99	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	
18	0	1	0	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	
19	0	1	1	1	1	0	99	99	99	99	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	
20	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	
21	1	0	1	1	1	0	99	99	99	99	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	
22	1	0	0	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	
23	0	1	1	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	
24	0	1	0	1	1	1	99	99	99	99	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	
25	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	
28	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	
29	0	1	0	0	1	0	99	99	99	99	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	
30	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	

Anmerkung: Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Rechenaufgaben erfolgt nach dem Schema „Aufgabensatz.Aufgabennummer.Lösungsansatz“, wobei „Lösungsansatz“ den effizientesten Lösungsansatz bedeutet. Die Abkürzungen der Lösungsansätze stehen für E: Energieansatz, K: Kraftansatz, B: Bewegungsansatz.

Tabelle 56

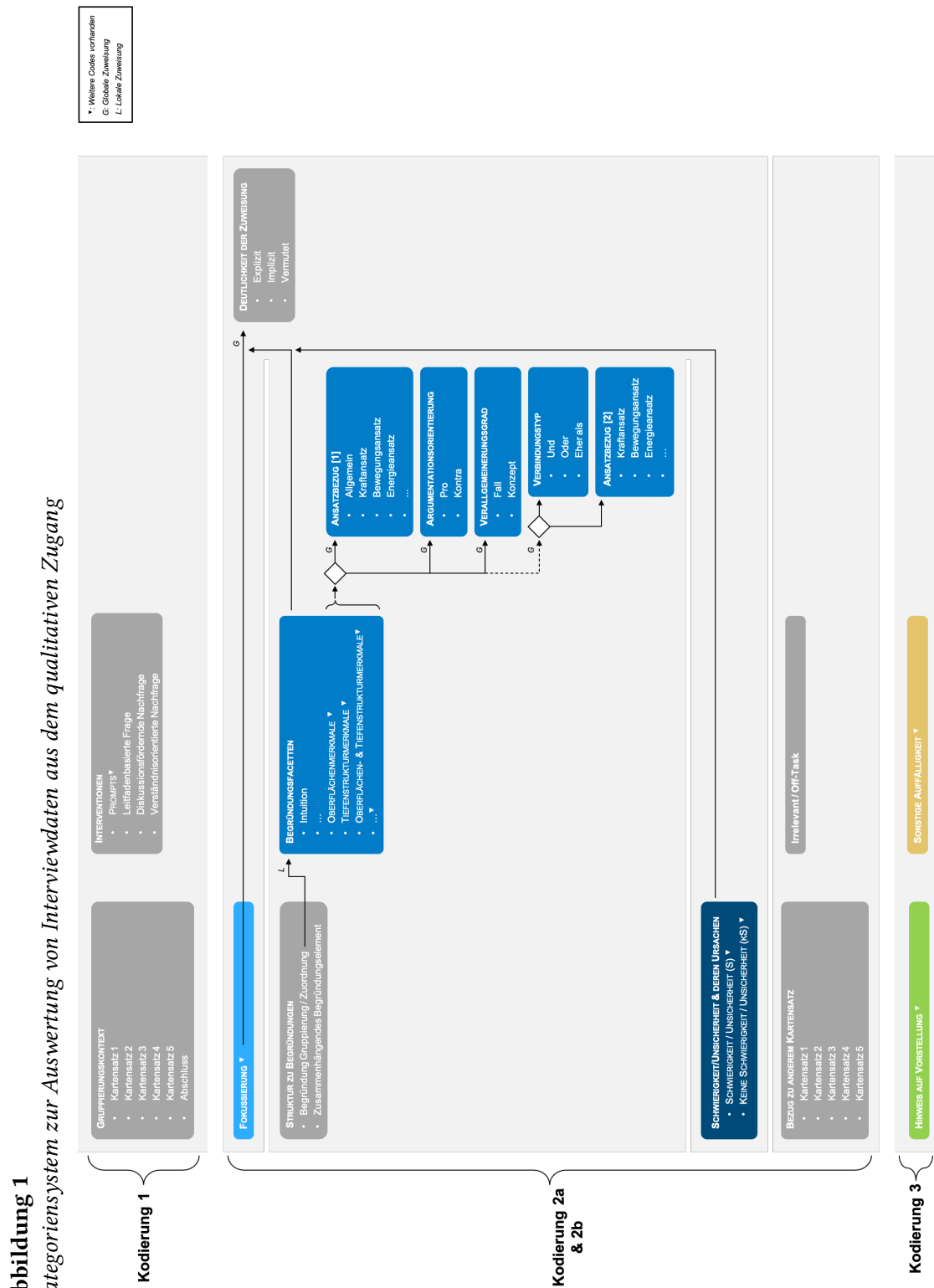
Ergebnisse der Bewertung der angemessenen („1“), unangemessenen („0“) und fehlenden („99“) Zuordnungen (Fortsetzung)

ID	Rechenaufgaben									
	4.4.B	4.5.B	4.6.E	5.1.BK	5.2.EK	5.3.BE	5.4.EK	5.5.BK	5.6.BE	
1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	
2	1	1	0	1	0	0	0	1	0	
3	1	1	0	1	0	0	0	1	0	
4	0	0	0	1	1	0	0	1	0	
5	1	1	1	0	0	0	0	0	1	
6	0	0	0	99	99	99	99	99	99	
7	1	0	0	1	0	0	0	0	0	
8	1	1	0	99	99	99	99	99	99	
9	0	0	0	99	99	99	99	99	99	
10	0	0	0	1	0	0	0	1	0	
11	1	1	1	0	0	0	1	0	0	
12	1	1	0	0	0	0	1	0	1	
13	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
14	1	1	0	0	0	1	1	0	1	
15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
17	1	1	0	1	0	0	1	1	0	
18	1	1	0	1	0	0	0	0	0	
19	1	1	0	1	0	0	0	0	0	
20	0	1	0	0	0	0	0	1	1	
21	1	1	0	99	99	99	99	99	99	
22	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
23	1	1	0	1	0	0	0	1	0	
24	1	1	0	99	99	99	99	99	99	
25	1	1	1	1	0	0	0	1	1	
26	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
27	0	1	0	0	0	1	0	0	1	
28	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
29	1	1	1	0	0	0	0	0	1	
30	1	0	0	99	99	99	99	99	99	

Anmerkung: Die ID besteht aus einer fortlaufenden Nummerierung, die der pseudonymisierten Beschreibung der Studierenden dient. Die Bezeichnung der Rechenaufgaben erfolgt nach dem Schema „Aufgabensatz.Aufgabennummer.Lösungsansatz“, wobei „Lösungsansatz“ den effizientesten Lösungsansatz bedeutet. Die Abkürzungen der Lösungsansätze stehen für E: Energieansatz, K: Kraftansatz, B: Bewegungsansatz.

F Ausgearbeitetes Kategoriensystem zur Analyse von Daten im qualitativen Zugang

Eine Beschreibung der im Kategoriensystem (s. Abb. 1) dargestellten Kategorien kann im Institut für Didaktik der Physik, Justus-Liebig-Universität Gießen angefragt werden.



DANKSAGUNG

Das Bearbeiten des Forschungsprojektes mit dem schließlichen Abfassen dieser Dissertation stellt für mich eine spannende Reise mit vielen Etappen dar, die mich in unterschiedlichen Weisen herausgefordert haben und mir Anreize zum Wachsen gegeben haben. Die Bewältigung dieser Herausforderungen wäre ohne die Unterstützung und das Engagement vieler Menschen nicht möglich gewesen. Diskussionen, Ratschläge sowie die freundschaftliche und emotionale Unterstützung von Kolleg*innen, Mentor*innen und meiner Familie waren dabei maßgeblich. Diese Interaktionen haben nicht nur meine wissenschaftliche Arbeit bereichert, sondern auch meine persönliche Entwicklung gefördert. Ich möchte daher allen Personen danken, die mich auf dieser Reise begleitet und unterstützt haben. Die folgenden Zeilen sind jenen Personen gewidmet, die mir in besonderem Maße zur Seite standen und zum Erreichen meines Ziels beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt meiner Betreuerin Claudia von Aufschnaiter, die mir während der gesamten Zeit meiner Promotion unermüdlich zur Seite stand. Liebe Claudia, herzlichen Dank für die vielen bereichernden Diskussionen, deine zahlreichen Ratschläge und deine stets konstruktive Kritik. Auch in schwierigen Zeiten konnte ich immer auf deine Unterstützung zählen – sei es beim Umorganisieren von Erhebungen aufgrund eines Cyberangriffs oder beim Anpassen von Erhebungsinstrumenten an schwierige Bedingungen in der Corona-Pandemie. Dein Engagement und deine Expertise haben wesentlich dazu beigetragen, dass ich alle Etappen auf meiner Promotionsreise erfolgreich durchlaufen konnte.

Des Weiteren möchte ich mich ganz herzlich bei aktuellen und ehemaligen Mitgliedern der Arbeitsgruppe bedanken. Vielen Dank für die interessanten und anregenden fachlichen Diskussionen, die auch Einfluss auf Elemente dieser Arbeit hatten. Zudem möchte ich euch für die freundschaftlichen und lustigen Gespräche danken, von denen viele unvergesslich in meiner Erinnerung weiterleben werden. Ihr habt mich stets inhaltlich als auch emotional unterstützt, selbst wenn ihr in eure eigenen Projekte vertieft wart. Dankeschön, Andreas, Anna, Ann-Kathrin, Christoph, Daniel, Doris, Jan, Jörn, Jonas, Julia, Julius, Kathi, Matthias, Romy, Sabrina, Sandra, Svenja und Verena. Vielen Dank zusätzlich an Romy, Sabrina und Doris für die Erledigung aller möglichen Dinge organisatorischer Natur und Matthias für alles Technische.

Mein Dank gilt auch Frau Prof. Dr. Claudia Höhne, die das Erheben von Daten im qualitativen Zugang trotz schwieriger Bedingungen möglich gemacht hat, sowie den Studierenden, die an meinen Erhebungen teilgenommen haben.

Zum Schluss möchte ich meiner Familie und meinen Freunden danken. Im besonderen Maße gilt mein Dank meinen Eltern Silke und Christoph sowie Anna, Jan, Agnes und Klaus. Ihr habt mich bereits im Studium sowie während der Promotionszeit jederzeit unterstützt und mich in meinem Forschungsvorhaben bestärkt. Mein Dank gilt auch meinem Sohn Finn und meiner Tochter Lea, die mich unbewusst in schwierigen Phasen der Promotion immer aufzumuntern wussten und mir geholfen haben, den nötigen Abstand zum Forschungsprojekt zu finden. Mein letzter Dank gebührt meinem Mann Nico. Dank deines Zuspruchs habe ich zur Forschung gefunden und konnte meinen Weg bis zum Ziel „Dissertation“ gehen. Du hast mir stets den Rücken freigehalten, mich nicht nur emotional sondern sogar inhaltlich als wertvoller Gesprächspartner unterstützt, wenn mich zu später Stunde ein Gedanke nicht losgelassen hat. Es war und ist gewiss nicht immer einfach mit mir, darum bin froh, dass ich dich an meiner Seite haben darf – Vielen Dank für alles!

EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Ich stimme einer evtl. Überprüfung meiner Dissertation durch eine Antiplagiat-Software zu. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Ort, Datum

Unterschrift (Nina von Bucholtz)