

Entwicklung des fachlichen Wissens angehender Physiklehrkräfte

Patrick Enkrott

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
„doctor rerum naturalium“
(Dr. rer. nat.)
in der Wissenschaftsdisziplin „Didaktik der Physik“

eingereicht an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
Institut für Physik und Astronomie
der Universität Potsdam

September 2020

Soweit nicht anders gekennzeichnet ist dieses Werk unter einem Creative Commons Lizenzvertrag lizenziert:

Namensnennung – Nicht-kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International. Dies gilt nicht für zitierte Inhalte anderer Autoren.

Um die Bedingungen der Lizenz einzusehen, folgen Sie bitte dem Hyperlink:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de>

1. Gutachter: Prof. Dr. Andreas Borowski

2. Gutachter: Dr. habil. Christoph Kulgemeyer

3. Gutachter: Prof. Dr. Helmut Prechtl

Datum der Disputation: 28.01.2021



Online veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
<https://doi.org/10.25932/publishup-50040>
<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-500402>

Ich versichere, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie die Zitate kenntlich gemacht habe.

Zusammenfassung

Das Professionswissen einer Lehrkraft gilt als Voraussetzung für erfolgreichen Unterricht. Trotz großer Unterschiede der Professionswissensmodelle ist die Forschung sich aus theoretischer Sicht weitestgehend einig darüber, dass das fachliche und fachdidaktische Wissen wichtige Bestandteile des Professionswissens und damit bedeutsam für Unterrichtserfolg sind. Zurecht gibt es daher die Forderung, dass Lehrkräfte unter anderem ein ausgeprägtes fachliches Wissen benötigen, das sie in den verschiedensten Situationen ihres Berufslebens, wie z.B. dem Erklären von Konzepten und dem Planen von Unterricht einsetzen. Die Forschung untersucht aus diesem Grund schon seit über 30 Jahren die Bedeutung des Fachwissens einer Lehrkraft. Dabei werden die Betrachtungen des Fachwissens immer differenzierter. So hat sich in vielen Forschungsansätzen der Physikdidaktik eine Dreiteilung des Fachwissens in schulisches Wissen, vertieftes Schulwissen und universitäres Wissen durchgesetzt. Während das Schulwissen als jenes Wissen verstanden wird, das in der Schule gelehrt und gelernt wird, beschreibt die Facette des universitären Wissens die stark akademisch geprägte Wissensform, die zukünftige Physiklehrkräfte in den Fachveranstaltungen an der Universität erwerben sollen. Das vertiefte Schulwissen ist hingegen eine spezielle Form des fachlichen Wissens, die aus Forschungssicht als besonders wichtig für Lehrkräfte angenommen wird. Zusammengenommen sollen angehende Physiklehrkräfte alle genannten Facetten des Fachwissens, also Schulwissen, vertieftes Schulwissen und universitäres Wissen, während des Lehramtsstudiums Physik erwerben. Neben dem fachlichen Wissen benötigt eine Lehrkraft als wichtigen Bestandteil des Professionswissens auch noch fachdidaktisches Wissen, welches ebenfalls während des Studiums erworben werden soll. Gleichzeitig geht man in der Forschung davon aus, dass für die Entwicklung des fachdidaktischen Wissens fachliches Wissen eine Grundvoraussetzung ist. Es ist jedoch empirisch nahezu ungeklärt, wie sich das beschriebene Fachwissen und das fachdidaktische Wissen im Verlauf des Lehramtsstudiums Physik entwickeln oder wie sich diese Wissensformen gegenseitig beeinflussen. Darüber hinaus ist unklar, welche Herausforderungen sich aus der Leistungsheterogenität der Studienanfänger:innen ergeben. Bisherige Untersuchungen aus der Studienerfolgsvorschung legen nahe, dass besonders das Vorwissen prognostisch für Studienerfolg ist. Die vorliegende Arbeit untersucht daher zunächst, wie sich das fachliche Wissen (Schulwissen, vertieftes Schulwissen, universitäres Wissen) von Lehrkräften im Verlauf des Bachelor- und Masterstudiums entwickelt. In einem nächsten Schritt wurde untersucht, wie sich Studierende mit einem geringen, mittleren bzw. hohen Fachwissen zum Beginn des Studiums über das Bachelorstudium entwickeln. Darüber hinaus wurde die Entwicklung des fachdidaktischen Wissens betrachtet und Zusammenhänge zum fachlichen Wissen in

den Blick genommen. Durchgeführt wurde die vorliegende Studie im Längsschnitt im Verlauf von drei Jahren an 11 Hochschulen mit 145 Bachelorstudierenden und 73 Masterstudierenden. Die Bachelorstudierenden haben jährlich an einer Testung des fachlichen und fachdidaktischen Wissens teilgenommen. Die Masterstudierenden nahmen jeweils vor und nach einem einsemestrigen Schulpraktikum an den Erhebungen teil. Zur Testung wurde jeweils ein schriftliches Testinstrument verwendet. Das weiterentwickelte Fachwissensinstrument wurde zusätzlich ausführlichen Validierungsuntersuchungen unterzogen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich das Schulwissen, das vertiefte Schulwissen und das universitäre Wissen sowohl im Bachelor- als auch Masterstudium signifikant weiterentwickeln. Auch für das fachdidaktische Wissen können signifikante Zuwächse über das Bachelor- und Masterstudium berichtet werden. Interessant ist dabei, dass eine starke Korrelation zwischen dem fachlichen Wissen zu Beginn des Studiums und dem Zuwachs des fachdidaktischen Wissens vom ersten zum dritten Semester erkennbar ist. Es liegen also erste Hinweise dafür vor, dass – wie in der Forschung vermutet – das fachliche Wissen eine Voraussetzung für die Entwicklung von fachdidaktischem Wissen ist. Die angesprochene Leistungsheterogenität zu Beginn des Studiums stellt dabei jedoch ein Hindernis für die Entwicklung des fachlichen Wissens dar. So holt die Gruppe der zu Beginn schwächeren Studierenden nicht einmal das Mittelfeld im Lauf des Studiums ein. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass die Gruppe der stärksten Studierenden im Vergleich zu den übrigen Studierenden vom ersten zum dritten Semester überproportional dazulernt. Insgesamt bleibt das heterogene Leistungsbild im Verlauf des Studiums erhalten, was die Forderung nach Unterstützung für leistungsschwächere Studierende gerade zu Beginn des Studiums betont. Wie sich innerhalb der vorliegenden Untersuchung zeigte, könnte insbesondere ein ausgeprägtes mathematisches Vorwissen hilfreich sein, um fachliches Wissen zu entwickeln. Die bisher angebotenen Vorkurse scheinen dem Bedarf nicht gerecht zu werden und so könnte es lohnenswert sein, zusätzliche Veranstaltungen auch in Bezug auf fachliches Wissen in der gesamten Studieneingangsphase anzubieten. Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass insbesondere schwächere Studierende von einer klaren Strukturierung innerhalb dieser zusätzlichen Kurse profitieren könnten. Auch ein allgemeines Vorstudium könnte helfen, die Vorkenntnisse anzugleichen.

Abstract

A teacher's professional knowledge is a prerequisite for successful teaching. Despite major differences in the models of professional knowledge, research agrees to a large extent from a theoretical perspective that content knowledge and pedagogical content knowledge is an important component of a teacher's professional knowledge and thus essential for teaching successfully. There is a justified demand that teachers need, among other things, extensive content knowledge that they can use in various situations in their professional life, such as when explaining or planning lessons. This has generated over thirty years of research investigating the importance of a teacher's professional knowledge.

In the process, the description of content knowledge has become increasingly differentiated. A three-way division of content knowledge into school knowledge, deeper school knowledge and university knowledge has become established in many research approaches to physics education/the teaching of physics. While school knowledge is understood as knowledge that is taught and learned in school, the concept of university knowledge describes the strongly academic form of knowledge that pre-service physics teachers should acquire in the course of university teacher training. Deeper school knowledge, on the other hand, is a special form of content knowledge that is assumed from a research perspective to be particularly important for teachers. Taken together, future physics teachers should acquire all the different types of knowledge mentioned above during their teacher training in physics. In addition to content knowledge, a teacher also needs pedagogical content knowledge as an important part of his or her professional knowledge, which should also be acquired during university teacher training. At the same time, research assumes that content knowledge is a basic requirement for the development of pedagogical content knowledge.

There is, however, almost no empirical evidence for the development of this content knowledge or pedagogical content knowledge over the course of teacher training in physics, nor for the ways in which these forms of knowledge influence each other. Furthermore, it is unclear which challenges arise from the heterogeneity of performance exhibited by first-year students. Previous studies of student success suggest that previous knowledge is particularly prognostic for academic success. This study therefore first examines how teachers' content knowledge (school knowledge, deeper school knowledge, university knowledge) develops over the course of bachelor's and master's degrees. This study then investigates how students who start with low, medium, or high levels of content knowledge develop over the course of the bachelor's program. It also examines the development of pedagogical content knowledge and considers how this relates to content knowledge.

This study was carried out in a longitudinal section over a period of three years at eleven universities with 145 bachelor's students and 73 master's students. The bachelor's students took part in an annual test of their content knowledge and pedagogical content knowledge. The master's students took part in the survey before and after a one semester internship at a school. A written test instrument was used for each survey. The refined test instrument for content knowledge was additionally subjected to extensive validation studies.

The results show that school knowledge, deeper school knowledge and university knowledge are significantly developed in both the bachelor's and master's programs. Significant increases in pedagogical content knowledge can also be reported for the bachelor's and master's programmes. It is interesting to note that there is a strong correlation between content knowledge at the beginning of the programme and the increase in pedagogical content knowledge from the first to the third semester. Thus, there are initial indications that, as assumed in research, content knowledge is a prerequisite for the development of pedagogical knowledge. However, the heterogeneity of performance at the beginning of university teacher training is an obstacle to the development of content knowledge. The group of underperforming students failed to catch up with the midfield over the course of their degree. At the same time, it can be observed that the group of best-performing students learned disproportionately more from the first to the third semester compared to the other students. This heterogeneous performance pattern remains throughout the course of university teacher training in physics, which emphasises the need for support for underperforming students, especially at the beginning of their studies.

The study showed that deep mathematical knowledge could be particularly helpful in order to develop content knowledge. Yet the preliminary courses offered so far do not seem to meet demand; hence it could be worthwhile to offer additional courses that also build content knowledge during the entire introductory phase of university teacher training. Research results indicate that especially underperforming students could benefit from a clear structure within these additional courses. A general pre-study program could also help to align previous knowledge.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Fachwissen in der Professionswissensforschung.....	4
2.1 Professionswissen von Lehrkräften	4
2.2 Genese des Fachwissensbegriffs.....	9
2.3 Fachkompetenz versus Fachwissen	11
2.4 Modellierung von Fachwissen	14
2.5 Das vertiefte Schulwissen.....	17
2.6 Zusammenhänge zwischen Fachwissen der Lehrkraft, Unterrichtsqualität und Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler	20
3. Wissenserwerb und Lernen im Lehramtsstudium Physik.....	22
3.1 Allgemeine Modelle des Wissenserwerbs	22
3.2 Fachwissenserwerb im Lehramtsstudium.....	24
4. Untersuchungen im Lehramtsstudium Physik.....	27
4.1 Studienabbruch & Studienerfolg	28
4.2 Längsschnittuntersuchung im Lehramtsstudium Physik	30
5. Das ProfiLe-P+ Projekt.....	32
5.1 Projektaufbau & Ziele.....	32
5.2 Testinstrumente des ProfiLe-P+ Projekts	34
5.2.1 Reflexionsfähigkeit.....	35
5.2.2 Planungsfähigkeit.....	35
5.2.3 Erklärfähigkeit	36
5.2.4 Fachdidaktisches Wissen	36
6. Forschungsfragen.....	37

7. Methode und Design	39
7.1 Längsschnitterhebung.....	39
7.2 Der Fachwissenstest	41
7.3 Dimensionalität des Fachwissensinstruments	44
7.4 Allgemeine Hinweise zu Testgütekriterien	47
7.5 Validierung von Testinstrumenten	48
7.6 Validitätsuntersuchungen zum Fachwissenstest.....	50
7.6.1 Inhaltliche Überprüfung – Lehrbuchanalyse	51
7.6.2 Untersuchung der beruflichen Relevanz – Interviewstudie.....	53
7.6.3 Untersuchung der Lösungsinhalte sowie Lösungsprozesse - Think- Aloud-Studie.....	56
8. Datenanalyse	60
8.1 Datengrundlage: Stichprobenbeschreibung.....	60
8.2 Zusammensetzen der Längsschnittstichprobe	62
8.3 Rasch-Analyse im Längsschnitt	64
8.4 Imputation der fehlenden Daten	67
8.5 Überprüfung der Dimensionalität und Rasch-Modell-Passung.....	70
9. Ergebnisse	72
9.1 Ergebnisse Forschungsfrage 1	72
9.2 Ergebnisse Forschungsfrage 2	74
9.3 Ergebnisse Forschungsfrage 3	79
9.4 Ergebnisse Forschungsfrage 4	86
10. Diskussion	90
10.1 Zusammenfassung & Diskussion der Ergebnisse.....	90
10.2 Ausblick.....	98
Literaturverzeichnis	100
Anhang	112

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Aufbau des Testinstruments zur Erhebung des fachlichen Wissens	42
Tab. 2	Übersicht der verwendeten Testitems im Fachwissenstest	43
Tab. 3	Einsatz der ProfiLe-P+ Testinstrumente im Längsschnitt	61
Tab. 4	Stichprobe des Bachelorstudiums aufgeteilt nach Teilnahme am Fachdidaktik- bzw. Fachwissenstest	62
Tab. 5	Stichprobenzusammensetzung	62
Tab. 6	Missinganteil in der Bachelor- und Masterstichprobe. Aufgeteilt nach nach dem Fachdidaktik- bzw. Fachwissenstest	63
Tab. 7	Empirische Dimensionalität des Fachwissenstests	70
Tab. 8	Fachliches Wissen im Bachelor- und Masterstudium	74
Tab. 9	Bachelor-Studium (Complete Cases)	77
Tab. 10	Effektgrößen der Veränderung des fachlichen Wissens im Längsschnitt Bachelor- und Masterstudium	78
Tab. 11	Effektgrößen der Veränderung des fachlichen Wissens im Längsschnitt Bachelorstudium (Complete Cases)	78
Tab. 12	Rechenfähigkeit im Bachelor- und Masterstudium	79
Tab. 13	Effektgrößen der Veränderung der Rechenfähigkeit im Längsschnitt Bachelor- und Masterstudium	80
Tab. 14	Bereinigte Korrelationen zwischen dem Zuwachs des fachlichen Wissens vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt und der Rechenfähigkeit zum ersten Messzeitpunkt	81
Tab. 15	Korrelationen der Fachwissensdimensionen zum ersten Messzeitpunkt mit ausgewählten demografischen Variablen	82
Tab. 16	Schulisches Wissen (SW) im Bachelorstudium (aufgeteilt nach Extremgruppen des schulischen Wissens zu Mzp1)	83
Tab. 17	Vertieftes Schulwissen (VSW) im Bachelorstudium (aufgeteilt nach Extremgruppen des vertieften Schulwissen zu Mzp1)	83
Tab. 18	Universitäres Wissen (UW) im Bachelorstudium (aufgeteilt nach Extremgruppen des universitären Wissens zu Mzp1)	84
Tab. 19	Fachdidaktisches Wissen im Bachelor- und Masterstudium	87
Tab. 20	Effektgrößen der Veränderung des fachdidaktischen Wissens im Längsschnitt Bachelor- und Masterstudium	88
Tab. 21	Bereinigte Korrelationen zwischen fachlichem und fachdidaktischem Wissen	88
Tab. 22	Bereinigte Korrelationen zwischen Zuwachs des fachdidaktischen Wissens vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt und dem fachlichen Wissen zum ersten Messzeitpunkt	89

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Modell der Professionellen Handlungskompetenz	7
Abb. 2	Refined Consensus Modell of PCK (Carlson et al., 2019)	8
Abb. 3	Domains of Mathematical Knowledge for Teaching	16
Abb. 4	Aufteilung innerhalb des Lehramtsstudiums	25
Abb. 5	ProfiLe-P+ Rahmenmodell (Buschhüter et al., 2018)	33
Abb. 6	Erhebungsplan in der Bachelorkohorte	39
Abb. 7	Erhebungsplan Masterkohorte, Prä-Post Praxissemester	39
Abb. 8	Übersicht der verwendeten Testitems im Fachwissenstest	45
Abb. 9	Grafische Darstellung der Ergebnisse zur Think-Aloud Untersuchung	58
Abb. 10	Mehrdimensionale Modellierung von längsschnittlichen Untersuchungen	66
Abb. 11	Veränderung des dreidimensional beschriebenen fachlichen Wissens im Bachelor- und Masterstudium, mit zugehörigen Itemschwierigkeiten	75
Abb. 12	Vergleich der Entwicklungsverläufe des fachlichen Wissens in der zusammengesetzten (links) und vollständigen Stichprobe (rechts)	77
Abb. 13	Veränderung der Rechenfähigkeit im Bachelor- und Masterstudium	80
Abb. 14	Entwicklung des schulischen Wissens in Abhängigkeit der Extremgruppe des Schulwissens zum ersten Messzeitpunkt	84
Abb. 15	Entwicklung des vertieften Schulwissens in Abhängigkeit der Extremgruppe des vertieften Schulwissens zum ersten Messzeitpunkt	85
Abb. 16	Entwicklung des universitären Wissens in Abhängigkeit der Extremgruppe des universitären Wissens zum ersten Messzeitpunkt	85
Abb. 17	Veränderung des fachdidaktischen Wissens im Bachelor- und Masterstudium	87

1. Einleitung

Das Lehrer:innenbildungssystem ist immer wieder Thema politischer Diskussionen und wird in diesen auch immer wieder Ziel deutlicher Kritik (Baumert et al., 2007). Dabei haben die Ergebnisse der 2000er PISA-Untersuchung den allgemeinen Druck noch erhöht und den Blick stärker auf die Lehrer:innenbildung und deren Erforschung gerichtet (Rothland, 2013). Um mögliche Probleme dieser Ausbildungsphase zu identifizieren war und ist jedoch eine ausgedehnte Forschung notwendig und so folgte zu Beginn der 2000er Jahre eine Expansion der Bildungsforschung. Die Forschungsansätze in der Lehrer:innenbildung sind dabei so unterschiedlich wie zahlreich. Vielfacher Untersuchungsgegenstand war und ist dabei jedoch das Professionswissen von Lehrkräften, da es als wichtig für den Lernerfolg der Schüler:innen (e.g. Abell, 2007; Fischer et al., 2012; Shulman, 2004) und damit letztendlich für die PISA-Ergebnisse angenommen wird.

Die Modellierung von Professionswissen ist sehr heterogen, doch zugleich wird häufig fachliches, fachdidaktisches und pädagogisches Wissen als wichtiger Bestandteil des Professionswissens von Lehrkräften beschrieben. Besondere Aufmerksamkeit erfährt gemeinsam mit dem Pedagogical Content Knowledge (PCK) häufig das fachliche Wissen. So betonte Lee Shulman bereits 1987, dass das fachliche Wissen einer Lehrkraft von besonderer Bedeutung sei, da es die primäre Quelle des fachlichen Wissens von Schüler:innen sei (Shulman, 1987). Unklar ist jedoch, welches Wissen oder wie viel Fachwissen Lehrkräfte haben sollen (e.g. Ball et al., 2008; Heinze et al., 2016; Hill et al., 2005). Auch empirisch konnte die von Shulman (1986 & 1987) und den darauffolgenden Arbeiten postulierte Bedeutung des fachlichen Wissens kaum nachgewiesen werden. Es wird jedoch häufig angenommen, dass das fachliche Wissen als Grundlage für den Erwerb des fachdidaktischen Wissens zu sehen ist (Krauss et al., 2008; Riese, 2009; Riese & Reinhold, 2010; Sadler et al., 2013) und hat damit aus theoretischer Sicht zusätzliche Bedeutung für eine weitere wichtige Komponente des Professionswissens.

Akzeptiert man die herausragende Bedeutung des fachlichen Wissens aus theoretischer Sicht, stellt sich schnell die Frage, wo das nötige Wissen erworben wird. Aus der Sicht der Kultusministerkonferenz sollen Lehrkräfte vor allem im Verlaufe des Studiums ein anschlussfähiges Fachwissen erwerben (Kultusministerkonferenz, 2008). Jedoch lässt die sehr akademisch geprägte Ausbildung von Lehrkräften die Frage zu, welches fachliche Wissen im Lehramtsstudium tatsächlich erworben wird, da Lehrkräfte in der Schule vor allem Inhalte des schulischen Curriculums vermitteln sollen. Damit ist unklar ob an der Universität berufsrelevantes Fachwissen erworben wird.

Neben dem schulischen Wissen, also jenem Wissen, das an der Schule gelernt bzw. vermittelt wird, und dem universitären Wissen, also jenem sehr akademisch geprägten Wissen, geht die Forschung davon aus, dass es eine weitere für den Lehrberuf spezielle Wissensform gibt. Zu dieser speziellen Wissensform gibt es insbesondere in der Mathematik Untersuchungen (e.g. Ball et al., 2008). Im Projekt von Ball et al. (2008) wird dieses Wissen als *specialized content knowledge* bezeichnet und umfasst unter anderem einen sicheren Umgang mit Modellen. Aus empirischer Sicht fehlen jedoch auch hier Forschungsergebnisse dazu, wo dieses Wissen erworben wird. Um dieser Frage nachgehen zu können sind Längsschnitt-Untersuchungen notwendig. Nur so können Erkenntnisse darüber gewonnen werden, an welchen Stellen des Studiums die verschiedenen Facetten des fachlichen Wissens erworben werden bzw. sich über die Zeit entwickeln. Solche Untersuchungen fehlen bisher jedoch nahezu gänzlich. Lediglich Quasilängsschnitte oder echte Längsschnitte über kürzere Zeiträume lassen sich für die Entwicklung des fachlichen Wissens in der Physik finden (Sorge et al., 2017; Vogelsang & Woitkowski, 2017; Woitkowski, 2015). Dabei liegen insbesondere im Bereich des Studienerfolgs interessante Ergebnisse vor, die ein sehr unterschiedliches Leistungsniveau der Studierenden in der Studieneingangsphase deutlich machen (Binder et al., 2019). Ob dieses Leistungsbild im Verlaufe des Studiums erhalten bleibt ist jedoch ebenfalls unklar. Binder et al. (2019) verfolgen die Studierenden bisher nur über ein Studienjahr.

Die vorliegende Arbeit geht daher zunächst der Frage nach, wie sich das fachliche Wissen über das Physiklehramtsstudium entwickelt. In einem zweiten Schritt werden Entwicklungsverläufe in den Blick genommen und Faktoren identifiziert, die die Entwicklung des fachlichen Wissens begünstigen könnten.

Darüber hinaus wird ebenfalls untersucht, wie sich das fachdidaktische Wissen im Verlaufe des Studiums entwickelt, um empirische Hinweise zur Bedeutung des fachlichen Wissens für die Entwicklung fachdidaktischen Wissens geben zu können.

Um diesen Fragen nachgehen zu können wird in Kapitel 2 zunächst geklärt, welche Modelle des Professionswissens vorliegen und welche Rolle das fachliche Wissen in diesen spielt. Daraufhin wird der Fachwissensbegriff selbst näher in den Blick genommen, um ihn im Anschluss gegenüber dem Terminus der Fachkompetenz abgrenzen zu können. Da in der vorliegenden Arbeit das fachliche Wissen als mehrdimensionales Konstrukt verstanden wird, wird der Blick auch auf bisherige Forschungsansätze zur Modellierung des fachlichen Wissens gerichtet. So konnten begründete Entscheidungen für die verwendeten Facetten des Fachwissens getroffen werden und zusammen mit der Einordnung in die Professionswissensforschung Ansätze für die Bedeutung des fachlichen Wissens identifiziert werden.

Da insbesondere die Entwicklung des fachlichen Wissens in den Fokus gerückt werden soll, wird in Kapitel 3 geklärt, welche Modelle für den Erwerb des fachlichen Wissens vorliegen und welche Formate in der universitären Ausbildung maßgeblichen Anteil an dieser Entwicklung nehmen. Auch die Vorarbeiten zum Studienerfolg und Studienabbruch, sowie zu bisherigen längsschnittlichen Untersuchungen werden in Kapitel 4 dargestellt, da diese wertvolle Hinweise für das geplante Vorgehen und das zu bearbeitende Forschungsdesiderat geben können. So können beispielsweise Bedingungsfaktoren für Studienerfolg auch den Lernerfolg der Studierenden hinsichtlich des fachlichen Wissens beeinflussen.

Da die vorliegende Arbeit Teil des ProfiLe-P+ Projektes ist, wird in Kapitel 5 das Projekt selbst kurz skizziert, um methodische Entscheidung hinsichtlich der Gestaltung der vorliegenden Untersuchung und des genutzten Testinstruments deutlich zu machen. Nach einer kurzen Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Theorie werden in Kapitel 6 die Forschungsfragen vorgestellt.

Da es sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine im Längsschnitt durchgeführte Untersuchung handelt, werden in Kapitel 7 zunächst die Herausforderungen eines solchen Designs vorgestellt. Innerhalb dieses Kapitels werden ebenfalls das entwickelte Testinstrument und die durchgeführten Validierungsstudien präsentiert. Letztere werden insbesondere in Hinblick auf die Bedeutung des fachlichen Wissens diskutiert werden. In Kapitel 8 wird dann die genutzte Datenanalyse beschrieben. Dies beinhaltet auch eine ausführliche Beschreibung der Stichprobe, die aufgrund des längsschnittlichen Designs besondere Beachtung benötigt. Ebenfalls vorgestellt wird die Rasch-Analyse, da für den Längsschnitt leichte Modifikationen vorgenommen werden mussten. Wie in fast allen Längsschnitten kam es auch in der vorliegenden Untersuchung zu einem größeren Stichprobenausfall. Um dieses Problem zu adressieren, wurden multiple Imputationen genutzt, die ebenfalls in Kapitel 7 diskutiert werden.

Kapitel 9 und 10 widmen sich den Ergebnissen, der Zusammenfassung, der Diskussion und dem Ausblick.

2. Fachwissen in der Professionswissensforschung

Das fachliche Wissen wird als zentraler Bestandteil des Professionswissens von Lehrkräften verstanden. Es stellt damit einen von mehreren Bedingungsfaktoren für erfolgreichen Unterricht dar.

Daher soll zunächst vom allgemeinen Begriff des Professionswissens ausgehend herausgestellt werden, welche Bedeutung dessen Komponenten für erfolgreichen Unterricht haben. Dabei soll insbesondere aufgezeigt werden, welche Rolle das Fachwissen innerhalb des Professionswissens einnimmt. So wird beispielsweise eine Einordnung des Fachwissensbegriffs in Professionswissensmodelle wie das Refined Consensus Modell of Pedagogical Content Knowledge, kurz RCM of PCK, vorgenommen (Carlson et al., 2019). Um den Fachwissensbegriff jedoch besser zu verstehen, ist es darüber hinaus sinnvoll, seine Genese näher zu beleuchten. Dazu soll unter anderem eine der am häufigsten zitierten Arbeiten in der Professionswissensforschung von Lee Shulman (1986) dienen. Da es in der späteren Genese des Begriffs immer wieder zu einer Vermischung der Begrifflichkeiten Fachkompetenz und Fachwissen kommt, sollen diese im Anschluss voneinander abgegrenzt werden. Mit diesem Verständnis um die Abgrenzung kann dann die differenzierte Modellierung von Fachwissen in verschiedenen Projekten in den Blick genommen werden. Diese Modellierung, insbesondere die Einführung des Begriffs des vertieften Schulwissens, soll die Vorteile für die Forschung hinsichtlich Entwicklungsverläufen und Bedingungen für erfolgreichen Unterricht aufzeigen.

2.1 Professionswissen von Lehrkräften

Das Professionswissen von Lehrkräften gilt unabhängig von der gewählten Fachrichtung als Voraussetzung für erfolgreiches Unterrichten (Abell, 2007; Fischer et al., 2012; Shulman, 2004). Doch häufig ist diese Annahme nur theoretischer Natur und empirische Daten liegen bisher in nur wenigen Fällen vor. Dies liegt nicht zuletzt an der Komplexität des Professionswissens und der damit verbundenen Schwierigkeit, eindeutige Wirkketten aufzuzeigen. Studien, die diese Problematik untersuchen, kommen in den seltensten Fällen zu einem einheitlichen Ergebnis. So scheinen die Ergebnisse häufig nur auf sehr eng umgrenzte Fälle anwendbar zu sein und können nicht oder nur schwer auf andere Fachrichtung übertragen werden (Baumert & Kunter, 2011b; Cauet, 2015; Ohle-Peters et al., 2011; Vogelsang, 2014). Das Professionswissen von Lehrkräften wird jedoch nicht nur im Zusammenhang mit der Wirkung auf Unterrichtsqualität untersucht. Häufiger Untersuchungsgegenstand

sind dabei zumeist die Struktur, der Erwerb oder die Entwicklung des Professionswissen (Borowski et al., 2010; Grangeat, 2016; Riese, 2009, 2010; Sorge et al., 2017; Woitkowski et al., 2011).

In den wenigsten Fällen bedienen sich Untersuchungen zum Professionswissen jedoch eines gemeinsamen Modells. Dabei erfolgt weder die Beschreibung des Professionswissens noch die Einordnung desselben in ein größeres Zusammenhangsmodell einheitlich. In vielen Fällen werden jedoch die Arbeiten von Lee Shulman (1986 & 1987) als eine Art Initialzündung für die Forschung zum Professionswissen von Lehrkräften gesehen, da Shulman diese Thematik erstmals in aller Deutlichkeit adressierte. Es ist daher insgesamt nicht verwunderlich, dass Shulmans sieben Kategorien des Professionswissens immer wieder Eingang in verschiedene Modelle finden. In dem von Shulman (1987, S.227) festgemachten Kategorien des Professionswissens finden sich:

- “content knowledge
- general pedagogical knowledge [...]
- curriculum knowledge [...]
- pedagogical content knowledge [...]
- knowledge of learners [...]
- knowledge of educational context [...]
- knowledge of educational ends [...]”

Dabei betont Shulman, dass das pedagogical content knowledge (PCK) von besonderem Interesse sei, da es charakteristisch für das Wissen einer Lehrkraft sei (Shulman, 1987), wobei er betont, dass die erste Ressource einer Lehrkraft zunächst das fachliche Wissen sei. Shulman beschreibt dies als: „the knowledge, understanding, skill, and disposition that are to be learned by school children“ (Shulman, 1987, S. 228) und geht damit weit über das Fachwissen als reines Faktenwissen hinaus.

Das fachliche Wissen einer Lehrkraft gründet sich nach Shulman auf die Summe der Literatur und dem Studium im jeweiligen Inhaltsbereich. Dabei sollte das Fachwissen der Lehrkraft ermöglichen, „alternative theories of interpretation and criticism“ und die Verbindung zum Curriculum zu verstehen (Shulman, 1987, S. 228). Shulman betont außerdem die Bedeutung, die der Lehrkraft hinsichtlich des fachlichen Wissens der Schüler:innen zukommt, da sie die vorrangige Quelle ist. Mit der Einführung des „Pedagogical Reasoning“, also dem Prozess, begründete Entscheidungen für den Unterricht zu treffen, werden die genannten sieben Wissensfacetten von Shulman zusätzlich in das eigentliche Unterrichtsgeschehen eingebettet (Shulman, 1987).

Es ist daher insgesamt nicht verwunderlich, dass die ausführlichen Arbeiten von Shulman einen Startpunkt für viele darauf folgende Modelle des Professionswissens

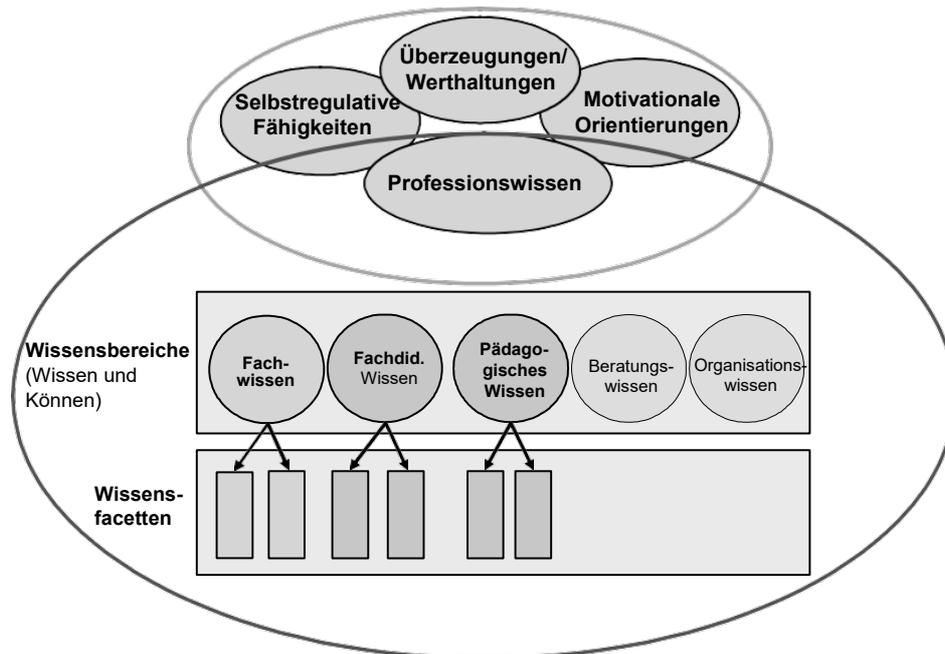
sind. Er charakterisiert nicht nur die Wissensbasis einer Lehrkraft sehr ausführlich, sondern verbindet dies auch noch mit einer Art Handlungskompetenz für den Unterricht.

Heute liegt eine sehr heterogene Forschungslage zum Professionswissen vor (Cauet, 2016), die vielfach an die Vorarbeiten von Shulman anknüpft.

Als ein in der deutschen Forschungslandschaft sehr häufig zitiertes Modell ist das Modell der professionellen Handlungskompetenz von Baumert und Kunter (2006) zu nennen. Innerhalb dieses Modells wird das Professionswissen neben der motivationalen Orientierung, den Überzeugungen und Werthaltungen, sowie der selbstregulativen Fähigkeiten als Teil der professionellen Handlungskompetenz verstanden. Nach Baumert und Kunter (2006) zergliedert sich das Professionswissen in pädagogisches, fachliches und fachdidaktisches Wissen (Abb. 1). Dies entspricht der klassischen Aufteilung der Veranstaltungen im Lehramtsstudium. Neben diesen drei Wissensbereichen findet sich innerhalb des Modells noch das Orientierungs- und Beratungswissen als Bestandteil der Wissensbereiche. Eine differenzierte Beschreibung der einzelnen Bereiche wird in der darunterliegenden Stufe, den eigentlichen Wissensfacetten, vorgenommen. Es wird schnell deutlich, dass es sich bei diesem Modell, so wie die Autoren selbst klar machen, um ein sehr allgemeines Modell handelt, das sich jedoch stark auf bisherige Modellierungen von professioneller Handlungskompetenz stützt (Baumert & Kunter, 2006).

Mit dem COACTIV-Modell (Baumert & Kunter, 2011a) beschreiben Baumert und Kunter ihr ursprünglich 2006 veröffentlichtes Modell spezifisch für das Fach Mathematik. In ihrem Modell beschreiben sie, dass: „professionelles Handeln aus dem Zusammenspiel von spezifischem, erfahrungsgesättigten [sic] deklarativen und prozeduralen Wissen (Kompetenzen im engeren Sinne: Wissen und Können); professionellen Werten, Überzeugungen, subjektiven Theorien, normativen Präferenzen und Zielen; motivationalen Orientierungen sowie Fähigkeiten der professionellen Selbstregulation“ (Baumert & Kunter, 2011a, S. 33) besteht. Im Kern der Professionalität einer Lehrkraft steht damit das Wissen und Können. Mit Blick auf das fachliche Wissen für den Mathematikunterricht beschreiben Baumert und Kunter ähnlich wie Shulman (1987) ein allgemeines Konzept, welches das fachliche Wissen als ein „tiefes Verständnis der Schulmathematik“ (Baumert & Kunter, 2011a, S. 32) umreißt. Auch hier wird damit fachliches Wissen über reines Faktenwissen hinaus beschrieben.

Abb. 1 Modell der Professionellen Handlungskompetenz
(Baumert & Kunter, 2006)

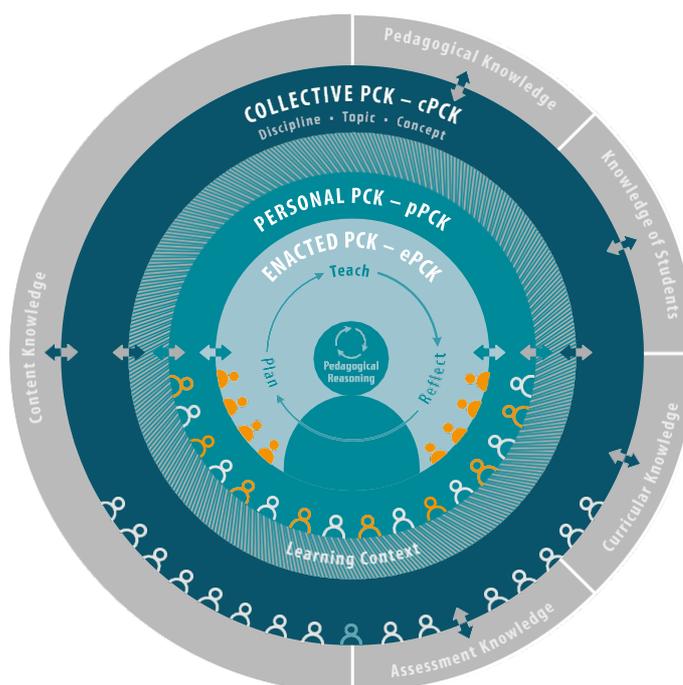


Trotz einer insgesamt sehr heterogenen Forschungslandschaft werden in nahezu allen Modellen die Wissensbereiche als disjunkte Facetten des Professionswissens verstanden, welche sich jedoch gegenseitig beeinflussen (Krauss et al., 2008). Genauer gefasst bedeutet dies, dass in der Unterrichtssituation beispielsweise das fachdidaktische Wissen Einfluss auf die Nutzung des fachlichen Wissens und umgekehrt nimmt.

Dem Problem der großen Heterogenität innerhalb der Modelle des Professionswissens begegnen insbesondere neueste Arbeiten im Bereich des Pedagogical Content Knowledge (PCK). Zu nennen ist hier vor allem die Veröffentlichung des Refined Consensus Modell of PCK (Carlson et al., 2019). Dieses Modell spiegelt eine langjährige internationale Zusammenarbeit verschiedenster Bildungsforscher:innen im Bereich des Professionswissens wider. Es stellt den Versuch einer Vereinheitlichung des Professionswissens von Lehrkräften dar. Als wichtige Vorarbeit für dieses Modell ist die Veröffentlichung „Re-examining pedagogical content knowledge in science education“ (Berry et al., 2015) zu nennen. Das Professionswissensmodell, das im Rahmen des PCK-Summit von 2015 (Gess-Newsome, 2015) entstand, beschreibt das Professionswissen in einem komplexen Ablaufdiagramm, bei dem ähnlich wie bei Shulman (1987) mehrere Wissensbasen existieren. Diese sind neben dem Content Knowledge und Pedagogical

Knowledge auch noch Knowledge of Students, Assessment Knowledge und Curricular Knowledge. Mit dem Modell wurde der Versuch unternommen, unter anderem eine theoretisch fundierte Verknüpfung zwischen der Leistung von Schüler:innen und dem Professionswissen zu schaffen. Die sehr komplexen Wirkketten innerhalb dieses Modell machen es jedoch schwer, direkte Verknüpfungen zu untersuchen. So spielen beispielsweise „amplifiers and filters“, also beispielsweise die Überzeugungen der Lehrkraft und das Vorwissen der Lernenden eine entscheidende Rolle für den Lernerfolg (Gess-Newsome, 2015). Die Weiterentwicklung dieses Modells, also das Refined Consensus Modell, beinhaltet immer noch die genannten Wissensbasen (Abb. 2), versucht aber die Zusammenhänge stringenter und damit besser verständlich darzustellen. Innerhalb des Refined Consensus Modell of Pedagogical Content Knowledge werden die komplexen Wirkzusammenhänge in einem kreisförmigen Modell dargestellt, bei dem wie von Kraus et al. (2008) und im Vorgängermodell von 2015 beschrieben, die verschiedenen Teilaspekte des Professionswissens aufeinander Einfluss nehmen bzw. ein Austausch zwischen ihnen stattfindet. Interessant in diesem Modell ist, dass das Wissen abhängig von Personengruppen oder Settings beschrieben wird. Das heißt, in jeder spezifischen Situation werden andere Anteile des pedagogical content knowledge (PCK) aktiv oder stellen die Basis für die Form des vorliegenden PCK dar.

Abb. 2 *Refined Consensus Modell of PCK* (Carlson et al., 2019)



So ist beispielsweise das Fachwissen als eine Basis für das Collective PCK zu sehen, jenes Wissen, das als PCK-Fundus des jeweiligen Faches verstanden werden kann und durch die jeweilige Fachcommunity vertreten wird. Gleichzeitig knüpft das Modell damit an die gängige Überzeugung an, dass Fachwissen eine notwendige Bedingung für den Erwerb fachdidaktischen Wissens ist (Krauss et al., 2008; Riese, 2009; Riese & Reinhold, 2010; Sadler et al., 2013). Innerhalb des Modells gelingt es darüber hinaus auch, die konkrete Unterrichtssituation abzubilden und die nötigen Wissensfacetten zu skizzieren. Danach wird in der Unterrichtssituation das Enacted PCK wirksam, welches das Reflektieren, Planen und Unterrichten eines Faches bzw. verschiedener Inhalte ermöglicht. Dabei stellt das Enacted PCK nur einen Teilbereich des Personal PCK dar, welches jede Lehrkraft besitzt und das in einer wechselseitigen Beziehung mit dem jeweiligen Lernkontext steht.

Das Modell verdeutlicht erneut sehr gut, wie komplex die Zusammenhänge sind. Es ist die Summe der einzelnen Teile, die das Professionswissen ausmachen und vermutlich zum Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler führt. Jeder einzelne Bestandteil hat eine entscheidende Bedeutung und wird in unterschiedlichsten Forschungsprojekten in den Fokus gerückt. Bisher ist empirisch dennoch unklar, welche Anteile entscheidend für erfolgreichen Unterricht sind (Cauet, 2015).

Natürlich sollte man an dieser Stelle bedenken, dass der Begriff des PCK nicht in seiner Gänze übertragbar ist. In der deutschsprachigen Forschung wird PCK häufig als Synonym für das fachdidaktische Wissen genutzt. Bei genauer Betrachtung lässt sich schnell feststellen, dass das fachdidaktische Wissen zwar einen Teil des PCK darstellt, letzteres jedoch viel umfassender definiert ist. So zählt, wie bereits beschrieben, beispielsweise das fachliche Wissen zur Basis für das pedagogical content knowledge (PCK).

2.2 Genese des Fachwissensbegriffs

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Professionswissensmodelle sind häufig in ihrer detaillierten Ausgestaltung unterschiedlich. Gemeinsam ist jedoch stets das Fachwissen, welches als ein zentraler Bestandteil des Professionswissens aufgefasst wird. In der Bedeutung und Ausgestaltung des Fachwissens sind die Modelle jedoch ebenfalls höchst unterschiedlich und erste Überlegungen zu dieser Thematik lassen sich bereits in den Anfängen des 20. Jahrhunderts finden, wie die Überlegungen von Felix Klein zu einer Arithmetik- und Algebra-Vorlesung aus dem Jahr 1908 belegen (Klein, 1968).

Bereits Klein kritisiert den Bruch zwischen universitärer und schulischer Mathematik und versucht daher genau eben diese Brücke innerhalb seiner Vorlesung zu schlagen.

Er schlägt dazu vor, die Mathematik in ihrer Gänze zu betrachten um ein tieferes Verständnis zu erlangen (Klein, 1968). Man könnte damit vermuten, dass hier erste Ansätze für ein fachliches Wissen über akademisches oder schulisches Wissen hinaus gemeint sind. Für den innerhalb der vorliegenden Arbeit verfolgten Forschungsansatz des mehrdimensionalen Fachwissens erscheint es jedoch sinnvoll mit Lee Shulman zu beginnen (1986 & 1987), dessen Arbeiten häufig die Grundlage verschiedener Modelle des Professionswissens und damit auch des Fachwissens bilden.

Shulman beschreibt das Fachwissen (Content Knowledge) als „the knowledge, understanding, skill, and disposition that are to be learned by school children” (Shulman, 1987, S. 228). Damit macht Shulman bereits 1986 deutlich, dass fachliches Wissen über reines Faktenwissen hinausgeht. Er geht davon aus, dass dieses Fachwissen auf zwei Fundamenten ruht, den „accumulated literature and studies in the content areas, and the historical and philosophical scholarship on the nature of knowledge in those fields of study” (Shulman, 1987, S. 228). Mit Blick auf das erstgenannte Zitat, beschreibt Shulman das Fachwissen also zunächst aus einer Zielperspektive als jenes Wissen, das Schüler:innen im Verlaufe der Schullaufbahn erwerben sollten. Insgesamt eröffnet Shulman somit zwei Perspektiven, die des Ziels, welche Inhalte gelernt werden müssen, und die, dass Lehrkräfte mehr als nur reines Faktenwissen besitzen müssen. Zugleich ist keine direkte Formulierung dazu zu finden, dass Lehrkräfte einen deutlichen Wissensvorsprung gegenüber ihren Schüler:innen haben müssen. Denkt man allerdings weiter, so lassen sich in der beschriebenen Wissensbasis für das Fachwissen jedoch erste Hinweise auf ein weiterführendes Verständnis finden, das insbesondere auf ein Wissen um die Struktur des Faches abzielt. Shulman formuliert dies sogar noch deutlicher: „the teacher must have not only depth of understanding with respect to the particular subjects taught, but also a broad liberal education that serves as a framework for old learning and as a facilitator for new understanding“ (Shulman, 1987, S. 229). Eine besondere Begründung für dieses flexible und fundierte Fachwissen sieht er insbesondere darin, dass das Fachwissen der Lehrkraft als primäre Quelle für Fachwissen der Schülerinnen und Schüler dient.

Das Wissen über das Fach selbst fordert auch Bromme (2002). Hier lassen sich starke Parallelen zu Shulman finden. Innerhalb von Brommes Verständnis des Professionswissens werden insbesondere drei Facetten des fachlichen Wissens beschrieben: „Content Knowledge about Mathematics as a Discipline, School Mathematical Knowledge und Philosophy of School Mathematics“ (Bromme, 2002, S. 74). Bei Bromme ist damit insgesamt eine eher inhaltliche Definitionen des fachlichen Wissens als eine Zielstellungen bezüglich der Schüler:innen oder der Lehrerbildung zu finden. In vielen darauffolgenden Arbeiten wird das Fachwissen jedoch häufig wenig inhaltlich definiert, sondern eher über seine Zielstellung.

So fordert Krauss et al. (2008) beispielsweise, dass Lehrpersonen ein tiefes Verständnis der Inhalte besitzen und den Schüler:innen voraus sein sollten. Eine inhaltliche Beschreibung ist damit nur impliziert. Vielmehr wird hier das Ziel der Lehrer:innenbildung angesprochen. Ähnliche Formulierungen finden sich auch in den darauffolgenden Forschungsprojekten. Als vielfach zitierte Forschungsarbeit sind hier beispielsweise die Überlegungen von Baumert und Kunter (2006) zu nennen. Auch hier wird gefordert, dass Lehrkräfte mindestens über das Wissen verfügen sollen, das sie Schüler:innen vermitteln wollen.

Die inhaltliche Definition erfolgt also auch hier indirekt über die Bildungsstandards, die das zu vermittelnde Wissen festlegen. Auch bei Riese (2009) oder Borowski et al. (2011) wird weniger über konkrete Inhalte, als über die Bedeutung des Fachwissens diskutiert. Borowski et al. (2011) betonen jedoch, dass es ein Problem darstellt, dass Fachwissen häufig nicht betrachtet wird.

Zusammenfassend kann man daher festhalten, dass in vielen Fällen das Fachwissen nicht theoretisch fundiert hergeleitet wird, sondern als Teil eines größeren Modells genutzt wird, bei dem es nicht näher spezifiziert wird. Zumeist wird nur eine grobe Zielperspektive verwendet oder das Fachwissen nur als kleiner Teil des pedagogical content knowledge (PCK) betrachtet. Eine gute Zusammenfassung zu dieser Problematik lässt sich bei Park und Oliver finden (2008). In dieser Arbeit wird ebenfalls deutlich, dass Fachwissen häufig nur als Teil des PCK betrachtet und nur selten als eine eigenständige Kategorie gesehen wird. Nach Shulman, der häufig als maßgebliche Instanz für das Fachwissen gesehen wird (Baumert & Kunter, 2011a), lassen sich erst in neueren Arbeiten (z.B. Riese et al., 2015; Schaper, 2009; Woitkowski, 2015; Woitkowski et al., 2011; Woitkowski & Borowski, 2017) vermehrt inhaltliche Dimensionen des fachlichen Wissens erkennen. Hier eröffnet sich jedoch ein neues Problem, denn vielfach ist dort die Rede von Fachkompetenz und nicht vom fachlichen Wissen. Daher soll im nachfolgenden Kapitel das Thema Kompetenz näher in den Fokus gerückt werden.

2.3 Fachkompetenz versus Fachwissen

Die Frage danach, wie Kompetenz definiert ist, gefördert und gemessen werden kann, ist ein hoch aktuelles Thema. Noch 2006 war es eines der 5000 häufigsten genutzten Wörter in der Bildungsforschung (Klieme & Hartig, 2008). Aber nicht nur in der Forschung ist der Begriff der Kompetenz von zentraler Bedeutung. So finden sich beispielsweise innerhalb der fachspezifischen Bildungsstandards und Rahmenlehrpläne zentrale Kompetenzen für den jeweiligen Unterricht. Man könnte davon ausgehen, dass der Begriff der Kompetenz in den letzten Jahren eine

einheitliche Ausschärfung erfahren hat, doch insgesamt ist der Begriff auch heute noch stark diskutiert und in seiner Bedeutung nicht abschließend geklärt. Bereits 2002 äußern Arnold (2002), Geißler und Orthey (2002), dass der Begriff überfrachtet ist. Bis heute lässt sich eine solche Überfrachtung erkennen, sehen es doch zahlreiche Forschungsvorhaben als notwendig an, den genutzten Kompetenzbegriff zu Beginn erneut zu umreißen. Trotz aller Schwierigkeiten, die mit einer überfrachteten Definition des Begriffs einhergehen, eignet er sich zugleich gut, um innerhalb der Lehramtsausbildung Fertigkeiten und Fähigkeiten einschließlich dem zugrundeliegenden Wissen zu evaluieren (Klieme & Leutner, 2006; Woitkowski, 2015). Schließlich möchte die Lehrer:innenbildung handlungsfähige Lehrkräfte ausbilden und nicht nur träges Wissen vermitteln. Insofern macht es Sinn Kompetenzen zu überprüfen (Klieme & Hartig, 2008). Die darin liegende Chance macht es innerhalb der vorliegenden Arbeit sinnvoll, die Begrifflichkeiten Kompetenz und Wissen voneinander abzugrenzen, um deutlich zu machen, was innerhalb des Studiums gelernt bzw. getestet werden soll. Zugleich sollte die Abgrenzung der Begrifflichkeiten keinen Gegensatz aufzeigen, sondern Wissen und Kompetenz als aufeinander aufbauende Konstrukte beschreiben. Zunächst lässt sich feststellen, dass es in der Forschung im Allgemeinen häufig keine klare Abgrenzung bzw. Trennung zwischen Kompetenz und Wissen gibt (Baumert & Kunter, 2011a).

Es scheint daher an dieser Stelle wichtig, sich mit der häufig zitierten Definition von Weinert (2001) auseinanderzusetzen. Dieser beschreibt Kompetenz als die *„bei Individuen verfügbaren oder von ihnen erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen, motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“* (Weinert, 2001, S. 27).

Um sich dieser komplexen Definition zu nähern ist es zielführend, eine Aufschlüsselung in drei Bereiche vorzunehmen. Der Begriff der Kompetenz beinhaltet a) die kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten Probleme zu lösen. Diese sind wiederum abhängig von b) motivationalen, willentlichen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten. Entscheidend ist, dass sich nach Weinert Kompetenzen c) in variablen Situationen einsetzen lassen können. Hier könnte man die variablen Situationen auch als Realsituationen verstehen, also Situationen, die z.B. der beruflichen Anforderungssituation nahe kommen. Damit wird deutlich, dass Kompetenz unter anderem eine Verbindung zwischen Wissen und Können darstellt. Wie bereits angedeutet, ist es jedoch nicht bei dieser Definition geblieben. Vielfach von Weinert ausgehend haben sich verschiedene Ausprägungen und Nutzungen des Kompetenzbegriffs ergeben, die die empirische Forschung vor große Herausforderungen stellen (Klieme & Hartig, 2008). Ein Problem lässt sich bereits

darin finden, dass die zuweilen unklaren Begrifflichkeiten von Weinert (2001) mit Bedeutung gefüllt werden müssen und zugleich ungeklärt bleibt, welche Fähigkeiten im Detail als Basis für Kompetenz gesehen werden können. Klieme und Hartig beschreiben den Begriff beispielsweise mit den Worten „kontextspezifische Leistungsdispositionen, die sich funktional auf Situationen und Anforderungen“ (Klieme & Hartig, 2008, S. 4) in bestimmten Domänen beziehen. Blömeke et al. (2015) knüpfen mit ihrer Definition deutlich stärker an die Realsituation an und fordern eine Verknüpfung von Kompetenz an die Handlung in einer Berufssituation. Zugleich wird innerhalb der Beschreibung von Blömeke et al. (2015) Wissen als zentrale Dimension von Kompetenz gesehen. Diese Bedeutungszuschreibung von Wissen für Handeln lässt sich bereits bei Shulman (1987) erkennen. Er beschreibt, dass Handeln nur mit einer umfangreichen Wissensbasis möglich ist. Möchte man also Fachkompetenz oder Fachwissen betrachten, ist dies demzufolge eine Frage danach, welcher Aspekt näher betrachtet werden soll: Handeln in der Realsituation oder die nötige Wissensbasis? Genauer gefasst, könnte man die fachliche Kompetenz damit als willentliches Handeln in einer Berufssituation unter Zuhilfenahme des fachlichen Wissens verstehen.

Wollen wir nun Fachkompetenz mithilfe eines Paper-Pencil-Testinstruments innerhalb der Universität testen, entsteht das Problem, eine nur sehr allgemeine und wenig berufsspezifische Situation kreieren zu können. Es erscheint daher deutlich sinnvoller, fachliches Wissen und damit einen Teilaspekt von Kompetenz zu erheben. Die gewonnenen Erkenntnisse über den Teilaspekt von Kompetenz können dann im Anschluss mit einer weiteren beruflichen Anforderungssituation verknüpft werden. Gleichzeitig wird über die Aufteilung des Kompetenzbegriffs in einzelne Ressourcen unter anderem auch die Erlernbarkeit innerhalb des Lehramtsstudiums erreicht (Blömeke et al., 2015), was damit einem der Grundgedanken von Weinert (2001) entspricht. Angelehnt an das Blömeke Modell (2015) verfolgt die vorliegende Arbeit daher das Ziel, einen Teil der Fachkompetenz, nämlich Fachwissen, zu erheben. Wie bereits beschrieben, handelt es sich beim Fachwissen nicht um reines Faktenwissen. Vielmehr folgt die vorliegende Untersuchung einem differenzierten Verständnis des fachlichen Wissens. Dieses Konzept wird von Neuweg (2014) für den Lehrer:innenberuf beschrieben. Neuweg teilt fachliches Wissen in drei Bereiche (Wissen I, II, III) auf. Wissen I wird als jenes kodifizierte Wissen bezeichnet, das in Büchern oder ähnlichem zu finden ist. Damit ließe sich Wissen I sehr gut in der Schnittmenge der Fachliteratur des jeweiligen Faches finden. Wissen II bezeichnet er als psychologisches Konstrukt, also als „Ergebnis des Lernens und die Grundlage des kompetenten Handelns“ (Neuweg, 2014, S. 584). Im psychologischen Sinne versteht er dies als prozedurales Wissen. Wissen III hingegen sind Dispositionen, die nicht explizierbar sind, aber Handeln ermöglichen können. Es kann laut Neuweg nur in der

Handlung beobachtet und von einem Dritten auf den Wissensbestand geschlossen werden.

Möchte man nun also fachliches Wissen untersuchen, so wird ein Instrument auf der Grundlage von Wissen I, dem in gewisser Weise kodifizierten Wissen, entwickelt. Untersucht wird mit einem solchen Instrument aber das Wissen II, also das Wissen eines jeden Individuums, das kompetentes Handeln ermöglicht (Neuweg, 2014). Fasst man die gewonnenen Erkenntnisse zusammen so lässt sich festhalten, dass die Kompetenzorientierung einen guten Zugang bietet um Bildungsprogramme zu evaluieren, denn so können Handlungsdispositionen erhoben werden, die über reines Faktenwissen hinaus gehen. Die Umsetzung solcher Testinstrumente ist jedoch anspruchsvoll. An dieser Stelle sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass es eine große Testbatterie für das fachliche Wissen von Studierenden in der Physik gibt. Die Testinstrumente erheben verschiedenste Themenbereiche der Physik und können beispielsweise auf der Website von PhysPort eingesehen werden. Unter diesen Testinstrumenten befindet sich auch der bekannte FCI oder ECI.

Insgesamt kann Wissen als Grundlage für kompetentes Handeln gesehen werden. Im Rahmen dieser Arbeit soll daher der Fokus auf jenem fachlichen Wissen liegen, das kompetentes Handeln ermöglicht. Doch auch der Fachwissensbegriff benötigt, wie bereits angeklungen, eine weitere Differenzierung. Diese wird im nächsten Kapitel Beachtung finden.

2.4 Modellierung von Fachwissen

Fachwissen wird, wie in [Kapitel 2.1](#) beschrieben, als wichtiger Bestandteil des Professionswissens verstanden. Gleichzeitig ist, wie in [Kapitel 2.2](#) dargestellt, häufig eine nur unzureichende inhaltliche Definition zu finden. Daher ist es entscheidend, das in dieser Arbeit verwendete Verständnis von Fachwissen näher zu umreißen. Mit Blick auf die Forschungslandschaft wird dabei schnell deutlich, dass Fachwissen häufig auf verschiedenste Weise unterteilt wird. Möglichkeiten bieten hier Niveaustufen bzw. Schwierigkeitsstufen oder Kompetenzstufen, sowie Definitionen den Umfang betreffend (Kauertz, 2008; Woitkowski, 2015). Die Modellierung von Fachwissen ist sehr vielfältig. Es ist jedoch zu beobachten, dass die Physikdidaktik sich häufig Forschung aus der Mathematikdidaktik bedient und für eigene Zwecke weiterentwickelt (Cauet, 2015; Riese, 2009; Woitkowski, 2015). Häufig verwendete Modellierungen von fachlichem Wissen aus der Mathematik sind das COACTIV-Modell (Krauss et al., 2008) und das Modell von Ball et al. (Ball et al., 2008). Innerhalb des Modells von Krauss et al. (2008) werden 4 Ebenen oder Niveaustufen unterschieden:

„Ebene 1:

Mathematisches Alltagswissen, über das grundsätzlich alle Erwachsene verfügen sollten

Ebene 2:

Beherrschung des Schulstoffs so wie es von einem durchschnittlichen bis guten Schüler der jeweiligen Klassenstufe erwartet wird

Ebene 3:

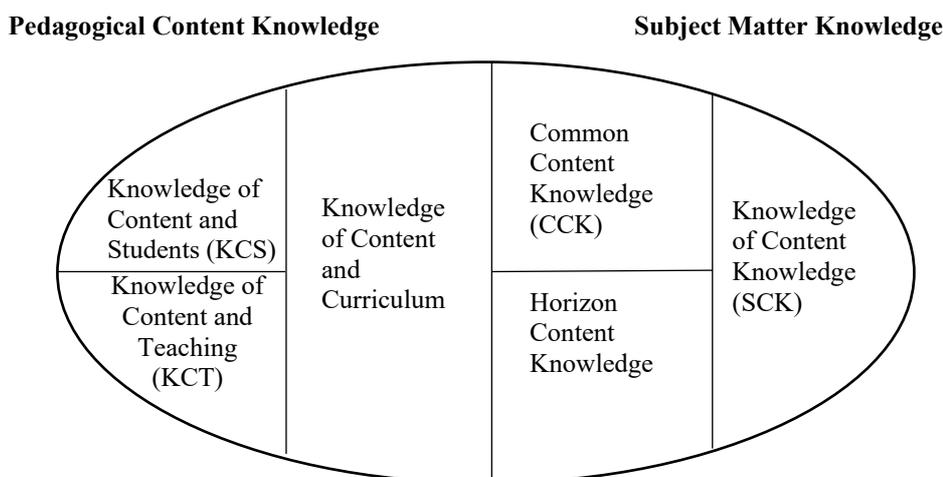
Tieferes Verständnis der Fachinhalte des Curriculums der Sekundarstufe (z.B. auch "Elementarmathematik vom höheren Standpunkt aus", wie sie an der Universität gelehrt wird)

Ebene 4:

Reines Universitätswissen, das vom Curriculum der Schule losgelöst ist (z.B. Galoistheorie, Funktionalanalysis)“ (Krauss et al., 2008, S. 237).

Innerhalb der Untersuchung wurde das fachliche Wissen auf Ebene 3 erhoben (Krauss et al., 2008). Damit wird eine Art Schnittstelle zwischen schulischer und universitärer Mathematik erhoben, da es zwar noch um die Inhalte des schulischen Curriculums geht, diese aber vertieft verstanden werden sollen. Helfen sollen dabei universitäre Zugänge zu den jeweiligen Inhalten. Im Modell von Ball et al. (2008) lassen sich ebenfalls so etwas wie Niveaustufen erkennen. Im Bereich des Subject Matter Knowledge, also dem fachlichen Wissen, werden drei Bereiche genannt (Abb.3). Mit dem Common Knowledge wird jenes Wissen bezeichnet, das nötig ist, um mathematische Probleme zu lösen. Die Autor:innen machen dabei jedoch deutlich, dass es sich explizit um Wissen handelt, das nicht nur im Feld des Unterrichts benötigt wird (Ball et al., 2008). Es ähnelt damit dem Alltagswissen aus dem COACTIV-Projekt. Das Horizon Content Knowledge wird als jenes Wissen beschrieben, das die übergeordneten Zusammenhänge innerhalb des Faches deutlich macht. Es kann für Lehrkräfte also gerade an solchen Stellen sinnvoll sein, wenn Grundsteine für spätere Inhalte gelegt werden, da so der richtige Fokus gewählt werden kann. Es ist damit an die ältere Arbeiten von Ball (1993) angelehnt. Auch hier lassen sich Parallelen zum COACTIV-Projekt finden. Als dritten Bereich definieren Ball et al. 2008 noch das Specialized Content Knowledge, das sie als für Lehrkräfte einzigartig bezeichnen. Es soll jedoch erst im nächsten Kapitel nähere Beachtung finden, da dort die verschiedenen Formen eines speziellen Fachwissens für Lehrkräfte verglichen werden.

Abb. 3 *Domains of Mathematical Knowledge for Teaching*
(Ball et al., 2008, S. 403)



Insgesamt lässt sich im vorliegenden Modell eine große Ähnlichkeit zu Shulman erkennen, worauf die Autor:innen in der zitierten Arbeit auch abzielen. Pedagogical Content Knowledge (PCK), welches ebenfalls Teil des vorliegenden Modells ist, wird ebenfalls an späterer Stelle Beachtung finden. Aufbauend auf die Arbeiten aus der Mathematikdidaktik wird das fachliche Wissen innerhalb der Physikdidaktik ebenfalls in verschiedene Niveau- oder Inhaltsbereiche aufgeteilt. Viel zitierte Beispiele für eine solche Unterteilung sind die Arbeiten von Riese (2009), dem ProwiN-Projekt (Borowski et al., 2010; Cauet, 2015; Liepertz, 2017), sowie das FaWis-Projekt (Borowski et al., 2011) oder das COACTIV-Projekt (Baumert & Kunter, 2011a). Dabei lassen sich zwischen den Facetten des Fachwissens der einzelnen Projekte häufig große Ähnlichkeiten finden, wobei die Einrahmung der Facetten sehr unterschiedlich ausfällt. Bei Riese (2009) wird das fachliche Wissen in Schulwissen, vertieftes Schulwissen und universitäres Wissen unterteilt. Damit liegt eine stark inhaltlich geprägte Aufteilung des fachlichen Wissens vor. In der darauf aufbauenden Untersuchung des FaWis-Projekts (Borowski et al., 2011) sind dieselben Facetten des fachlichen Wissens zu finden.

Sehr ähnlich, aber mit einer zusätzlichen Facette, wird innerhalb des ProwiN-Projekts aufgeteilt. Hier besteht das fachliche Wissen aus den Facetten des fachlichen Alltagswissens, Schulwissens, vertieften Schulwissens und des universitären Wissens. Innerhalb der angerissenen Projekte wird das schulische Wissen als jenes Wissen beschrieben, über das Schüler:innen am Ende der Oberstufe verfügen sollen. Bei dem universitären Wissen handelt es sich hingegen um jenes Wissen, das Teil der universitären Ausbildung ist. Hier besteht kein direkter Schulbezug mehr. Es lässt sich schnell erkennen, dass diese beiden

Fachwissensdimensionen über ihre Inhalte definiert werden. Dabei sind die Operationen dieser Fachwissensdimensionen nicht näher definiert. Das vertiefte Schulwissen ist jedoch über seine sehr spezifischen Operationen definiert. Dieser als vielfach sehr bedeutend beschriebenen Facette des Fachwissens widmet sich das nachfolgende Kapitel.

2.5 Das vertiefte Schulwissen

Neben dem schulischen und universitären Wissen wird in den unterschiedlichen Projekten immer wieder eine spezielle Form des Fachwissens operationalisiert. Die Bezeichnung dieser Facette des fachlichen Wissens ist ebenso unterschiedlich wie die innerhalb der verschiedenen Projekte vorliegende Beschreibung.

In der Physik wird jedoch vielfach das vertiefte Schulwissen als eine spezielle Form des fachlichen Wissens beschrieben (e.g. Borowski et al., 2011; Cautet, 2015; Riese, 2009).

Ausgangspunkt dieser Überlegungen sind, wie schon im vorherigen Kapitel angeklungen, Überlegungen aus der Mathematik. Als häufig zitierte und weiterentwickelte Beschreibung ist sicherlich das Projekt um Ball et al. (2008) zu nennen. Dieses beschreibt die Facette des Specialized Content Knowledge als eine Facette des fachlichen Wissens, die von besonderer Bedeutung für effektiven Unterricht ist. Dabei wird davon ausgegangen, dass jenes Wissen stark mit der Fähigkeit des guten Erklärens zusammenhängt. Dazu passende Ergebnisse veröffentlichen Kulgemeyer und Riese (2018) aus der Physik, wobei in dieser Untersuchung auch das schulische Wissen von großer Bedeutung für die Fähigkeit zum Erklären ist. Gleichzeitig unterscheidet sich die Operationalisierung des vertieften Schulwissens, wie sie Kulgemeyer und Riese (2018) nutzen, leicht von der von Ball vorgeschlagenen Definition. Von Ball et al. (2008) wird das Specialized Content Knowledge als jenes Wissen beschrieben, das ein Sichtbarmachen von Strukturen und Zusammenhängen innerhalb des Faches möglich macht und über das von Schüler:innen hinaus geht. Damit wird eine Art Fachwissen über das Fachwissen bzw. Strukturierungswissen über Fachwissen beschrieben. Zusätzlich beschreiben Ball et al. (2008) auch noch das Wissen zu Lösungs- und Herleitungsansätzen als Teil des Specialized Content Knowledge.

Die Arbeiten von Ball et al. (2008) sind jedoch nicht die einzig existierenden Arbeiten aus dem Bereich der Mathematik. So setzen sich beispielsweise Dreher et al. (2016) und Heinze et al. (2016) ebenfalls mit dieser Thematik auseinander. Hier wird die Facette des Fachwissens für Lehrkräfte als School Related Content Knowledge (SRCK) bezeichnet. Es umfasst unter anderem : „Wissen über die Struktur der Schulmathematik“, „Wissen über Zusammenhänge zwischen

akademischer und schulischer Mathematik in top-down-Richtung“, sowie „Wissen über Zusammenhänge zwischen akademischer und schulischer Mathematik in bottom-up-Richtung“ (Heinze et al., 2016, S. 5). Dieses Wissen wird von den Autoren also insbesondere als eine Brücke zwischen dem sehr akademischen Wissen bzw. der akademischen Ausbildung von Mathematiklehrkräften und dem in der Schule benötigten Fachwissen beschrieben. Dies betonen die Autoren in einem darauffolgenden Artikel noch deutlicher (Dreher et al., 2018).

Die Formulierung von speziellem Fachwissen für Lehrkräfte ist jedoch kein Alleinstellungsmerkmal der Mathematik. Auch die Physikdidaktik und weitere Disziplinen bedienen sich solcher Konstrukte. Ein gutes Beispiel für das spezielle Wissen einer Lehrkraft ist das erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext, wie es im interdisziplinären Projekt „Professionalisierung – Schulpraktische Studien – Inklusion: Potsdamer Modell der Lehrerbildung“ (PSI) definiert wurde (Borowski et al., 2018). Hier wurde das erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext fächerübergreifend als Wissen *„über Konzepte und ihre Anwendung im jeweiligen Fach, Wissen über Erkenntnisprozesse unter Einbezug von Theorie, Fachsprache, Erkenntnis- und Gültigkeitsprinzipien im Fach, Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren“* (Woehlecke et al., 2017, S. 418) definiert.

In der Physik findet sich ebenfalls in verschiedenen Forschungsprojekten eine spezielle Form des fachlichen Wissens von Lehrkräften.

Josef Riese beschreibt es als vertieftes Wissen bzw. Wissen von einem „höheren Standpunkt aus, Wissen multipler Zugänge“ (Riese, 2009, S. 80). Er geht jedoch davon aus, dass Items zu dieser Fachwissensfacette noch von sehr guten Schüler:innen gelöst werden können. Auch die Arbeiten von Woitkowski et al. bedienen sich dieses Konstruktes (Woitkowski et al., 2011).

Dort wird es wie folgt beschrieben:

1. *„Explizite Kombination von Schul- und universitärem Wissen.*
2. *Anwendung von universitären Denkweisen auf typische Probleme der Schulphysik.*
3. *Systematisierung und Herstellung von Zusammenhängen des Schulwissens vor dem Hintergrund universitärer Physik; eine umfassende Sicht auf die Physik als Ganzes (im Sinne Kleins für die Mathematik).*
4. *Einübung (bzw. Erfassung) von elaborierten Denk-, Sprech- und Verhaltensweisen im Umgang mit Physik anhand von Gegenständen der Schulphysik.*
5. *Reflexion von Bedeutung, Genese und Verwendung von Begriffen der Schulphysik.*
6. *Als Konkretisierung der vorhergehenden beiden Punkte: Items, die gezielt Fehlvorstellungen abtesten.“* (Woitkowski et al., 2011, S. 303)

Auch hier lässt sich sehr gut erkennen, dass das von Woitkowski et al. (2011) definierte vertiefte Wissen eine Art Meta-Wissen darstellt und somit seinem Namen gerecht wird, da die einzelnen Facetten dieser Fachwissensdimension tatsächlich eine Art vertieftes fachphysikalisches Wissen, über reine Inhalte hinausgehend, darstellten. Davon abweichend wird das spezielle fachliche Wissen von Lehrkräften von Gigl et al. (2015) als vertieftes Schulwissen beschrieben und es wird als notwendig erachtet, um die Transformation von universitärem Wissen in den schulischen Kontext zu ermöglichen. Nach Gigl et al. (2015, S. 1) besteht es aus folgenden Facetten:

- *„Verschiedene Wege zur Lösung einer Aufgabe identifizieren und anwenden*
- *Lösung einer Aufgabe aus theoretischer Sicht planen*
- *Randbedingungen einer Schulaufgabe erkennen*
- *Aufgaben fachlich korrekt vereinfachen*
- *Zusammenhänge, Gemeinsamkeiten und Unterschiede physikalischer Phänomene erkennen.“*

Damit wird ähnlich wie nach den Ansätzen aus der Mathematik das vertiefte Schulwissen als eine Art Transformationswissen verstanden, was einer Übertragung universitärer Fachwissensinhalte auf den schulischen Kontext ermöglichen soll. Gleichzeitig ist nicht zwangsläufig davon auszugehen, dass es sich beim vertieften Schulwissen bzw. den in der Mathematik definierten Facetten des speziellen Wissens um eine disjunkte Facette des fachlichen Wissens handeln muss. So geht beispielsweise Riese (2009) wie bereits beschrieben davon aus, dass das vertiefte Schulwissen auch von sehr guten Schülerinnen und Schülern beherrscht werden könnte. Damit könnte ein Überlapp zum schulischen Wissen bestehen. Blickt man noch tiefer in die Definitionen der einzelnen Projekte, so lässt sich erkennen, dass das spezielle Wissen nicht über Inhalte, sondern über Operationen definiert ist und in vielen Fällen eine Beweglichkeit in den übrigen Fachwissensfacetten ermöglichen soll. So z.B. die Teildefinition von Woitkowski „Anwendung von universitären Denkweisen auf typische Probleme der Schulphysik“ (Woitkowski et al., 2011, S. 303) oder die Teildefinition des SRCK aus der Mathematik: „Wissen über Zusammenhänge zwischen akademischer und schulischer Mathematik in top-down-Richtung“ (Heinze et al., 2016, S. 5). Damit wird nochmals deutlich, dass es sich nicht in jedem Fall um eine inhaltlich disjunkte Facette des fachlichen Wissens handeln muss. Denn die Operationen innerhalb dieser Facette lassen multiple inhaltliche Zugänge zu und fordern eine Beweglichkeit in allen Fachwissensfacetten. Es wäre daher durchaus denkbar, dass Fachstudierende der Physik dieses Wissen erlangen, da sie meistens Veranstaltungen gemeinsam mit den Lehramtsstudierenden belegen.

Mit Blick auf die Ausschärfung der Facetten zum speziellen Wissen lässt sich feststellen, dass für die Physik keine genaueren Beschreibungen zu finden sind (vgl. Cauet, 2016). Dies hängt sicherlich damit zusammen, dass jenes fachliche Wissen insbesondere für die Testkonstruktion definiert und verwendet wird (e.g. Woitkowski, 2015). Jedoch wird in nahezu allen Forschungsarbeiten diese spezielle Facette als besonders bedeutsam für den Lehrberuf genannt. Ein einfacher Wissensvorsprung wird häufig als nicht ausreichend angesehen (e.g. Ball et al., 2008). Darüber hinaus haben Studien, die lediglich einen Gesamtscore des Fachwissens angeben, oft Schwierigkeiten, einen Zusammenhang zwischen dem fachlichen Wissen der Lehrkraft und dem Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler aufzuzeigen. Eine gute Übersicht über solche Arbeiten bietet Cauet (2015). Es lässt sich an dieser Stelle begründet vermuten, dass eindimensionale Zugänge zum fachlichen Wissen von Lehrkräften wenig zielführend sind und der lineare Zusammenhang zwischen Wissen und Lernerfolg nicht gegeben ist, sondern differenzierte Modelle nötig sind, um Aussagen über die Bedeutung des Fachwissens in unterrichtsrelevanten Situationen wie Erklären, Planen oder Reflektieren generieren zu können. Es ist daher kaum verwunderlich, dass zahlreiche Forschungsvorhaben das Fachwissen detailliert aufschlüsseln und so genauere Ergebnisse erzielen wollen (Ball et al., 2008; Gigl et al., 2015; Riese, 2009; Woitkowski, 2015; Woitkowski et al., 2011). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass vertieftes Wissen (oder Facetten mit ähnlicher Bezeichnung) als bedeutsamer Teil des Professionswissens angesehen werden. Dieses Wissen wird in verschiedensten Forschungszweigen als Brücke zwischen dem universitären und dem schulischen Fachwissen betrachtet. Damit ist es aufgrund der sehr stark akademisch geprägten fachwissenschaftlichen Ausbildung von großer Bedeutung (Deng, 2007; H.-H. Wu, 2011). Explizite Lerngelegenheiten für dieses Wissen sind jedoch nicht zu vermuten (Ball et al., 2008; Vogelsang et al., 2019).

2.6 Zusammenhänge zwischen Fachwissen der Lehrkraft, Unterrichtsqualität und Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler

Wie in [Kapitel 2.1](#) bereits angeklungen, wird das Professionswissen als Voraussetzung für erfolgreichen Unterricht angenommen (e.g. Abell, 2007; Fischer et al., 2012; Shulman, 2004). Einigkeit herrscht bei vielen darüber, dass die Lehrkraft Wissen benötigt, das über das der Schülerinnen und Schüler hinaus geht (Baumert & Kunter, 2006; Grossman, 1990; Shulman, 1986, 1987). Zusätzlich wird das vertiefte

Schulwissen vielfach als zentraler Bestandteil des Fachwissens gesehen, also jenes fachliche Wissen, das speziell für den Lehrberuf ist (Baumert & Kunter, 2011a; Dreher et al., 2018; Kirschner, 2013; Riese, 2009). Wie Cauet (2016) und Liepertz (Liepertz & Borowski, 2019) in ihren jeweiligen Untersuchungen gut zusammenfassen, fehlen jedoch häufig Studien, die den tatsächlichen Einfluss von fachlichem Wissen auf Unterrichtsqualität messen. Damit fehlen eindeutige empirische Hinweise auf die theoretisch fundierte Annahme, Fachwissen habe einen Einfluss auf Unterrichtsqualität. In verschiedensten Untersuchungen und damit auch verschiedensten Ansätzen wurde dieser und ähnliche Zusammenhänge untersucht (Abell, 2007). Die Ergebnisse legen zwar nahe, dass Fachwissen einen positiven Einfluss auf den Unterricht nimmt (Gess-Newsome & Lederman, 1995), eindeutige Ergebnisse liegen dabei jedoch nicht vor. In diesem Sinne positive Ergebnisse liegen im Bereich der Mathematik vor. So berichten Hill et al. (2005) einen Lernvorsprung von Schüler:innen bei einer positiven Abweichung des Fachwissens der Lehrkraft um eine Standardabweichung nach oben. Auch die Ergebnisse der COACTIV-Studie deuten einen positiven Zusammenhang zwischen dem fachlichen Wissen einer Lehrkraft und dem Lernzuwachs der Schüler:innen an (Baumert & Kunter, 2006). Mit der Rahmung des bereits vorgestellten Modells ([Kapitel 2.4](#)) wurde das fachliche und fachdidaktische Wissen von Mathematiklehrkräften erhoben. Gleichzeitig wurden mittels des Testinstruments aus der PISA-Studie die Leistungszuwächse der Klassen 9 zu 10 erhoben. Nach Klasse 10 wurden zusätzliche Aufgaben eingesetzt (Baumert & Kunter, 2011a). Dabei ist wichtig festzuhalten, dass der Unterricht jedoch nicht begleitet wurde, sondern später mittels verschiedener Materialien rekonstruiert wurde. Betrachtet wurden kognitive Aktivierung, die durch die Schüler:innen wahrgenommene Lernunterstützung, sowie Effektivität der Klassenführung. Dabei konnten insgesamt Einflüsse des fachlichen und fachdidaktischen Wissens auf Schülerleistungen nachgewiesen werden (Baumert et al., 2010). Die Ergebnisse in der Physik sehen hingegen weniger aussagekräftig aus. So konnten in der PLUS-Studie beispielsweise „keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Fachwissen einer Lehrkraft und der Sequenzierung von Lernprozessen oder der inhaltlichen Sachstruktur im Unterricht gefunden werden“ (Ohle-Peters et al., 2011, S. 382). In Bezug auf das fachdidaktische Wissen hatte das QuIP-Projekt ähnliche Befunde vorzuweisen. Auch hier konnten keine Zusammenhänge zu Schülerleistungen gefunden werden (Fischer et al., 2014). Ebenso wenig aussagekräftige Ergebnisse können Sadler et al. (2013) vorlegen, denn auch hier gelingt es nicht, Zusammenhänge von Fachwissen auf Lernzuwächse abzubilden. Prädiktiv für den Lernerfolg scheint innerhalb dieser Untersuchung dabei jedoch das Wissen über Schülerfehlvorstellungen zu sein. Das ProWiN-Projekt, das unter anderem versuchte, Teile des Professionswissens mit Lernerfolg der Schüler:innen zu verbinden, konnte ebenfalls keine eindeutigen Zusammenhänge darstellen.

Gefunden wurden korrelative Zusammenhänge zwischen Fachwissen und kognitiver Aktivierung für zwei Unterrichtsstunden im Bereich von $r = 0.36$ und 0.37 . Einen Unterschied zur Korrelation mit pädagogischem Wissen ($r = 0.38$ und 0.36) konnte dabei nicht gefunden werden. Das fachdidaktische Wissen wies hingegen keinen signifikanten ($p > 0.1$) korrelativen Zusammenhang zu kognitiv aktivierendem Unterricht auf. Insgesamt leistet jedoch lediglich das pädagogische Wissen einen signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung der Lernenden hinsichtlich ihres Fachwissens. Ein Zusammenhang zwischen allgemeinem Unterrichtserfolg im Zusammenhang mit Fachwissen konnte daher nicht beobachtet werden (Cauet, 2015). Auch Liepertz und Borowski (2019), die ebenfalls Teil des ProwiN-Projekts waren, konnten diesen Zusammenhang nicht aufdecken. Insgesamt bleibt der Zusammenhang zwischen fachlichem Wissen oder Teilaspekten und Unterrichtserfolg bzw. Lernerfolg ein Forschungsdesiderat.

3. Wissenserwerb und Lernen im Lehramtsstudium Physik

3.1 Allgemeine Modelle des Wissenserwerbs

Eines der zentralen Ziele der vorliegenden Arbeit ist es zu untersuchen, wie sich das fachliche Wissen von angehenden Physiklehrkräften im Laufe der universitären Hochschulausbildung weiterentwickelt. Dazu ist es sinnvoll, den Lernprozess aus theoretischer Sicht zu beschreiben, um die möglichen Entwicklungsverläufe besser einordnen zu können. Gleichzeitig wird durch ein besseres Verständnis des Lernprozesses nochmals deutlich, dass der in dieser Arbeit verwendete Fachwissensbegriff nicht auf das Verständnis von reinen Fakten abzielt.

Als besonders schlechtes Beispiel für die Vermittlung von Wissen wird sehr häufig der Nürnberger Trichter genannt. Häufig zu sehen ist dabei der bekannte Charakter des Lehrer Lämpel, der mittels eines Trichters verschiedenste Inhalte in Köpfe seiner Schüler:innen einfüllt (Hirschfelder, 2006). Diese Karikatur des Lernens ist damit Sinnbild für den im Volksmund bezeichneten Frontalunterricht geworden, bei dem die Lehrkraft die aktive Vermittlerrolle einnimmt und die Schüler:innen lediglich passive Gefäße darstellen sollen. Es ist offensichtlich, dass der Nürnberger Trichter keine ernst zu nehmende Methode der Vermittlung oder des Lernens ist, sondern abschrecken soll. Lernen sollte hingegen als eine aktive (Re)Konstruktion von Strukturen bzw. Inhalten verstanden werden (Klauer & Leutner, 2007). In diesem

Prozess geht es darum, gemachten Erfahrungen Sinn zu verleihen (Mietzel, 2017). Lernen wird damit zu einem Prozess des Aufbaus, der Elaboration und Organisation von Wissen (Mayer, 2011). Damit geht es weniger um die Frage was Wissenserwerb ist, als um die Frage, welche Prozesse hinter dem Wissenserwerb stehen (Mietzel, 2017). Klar ist dabei, dass das Erlernen stets eine Lernaktivität voraussetzt (Kunter & Trautwein, 2013). Somit wird jedes Individuum als verantwortlich für den eigenen Lernprozess gesehen. Es gibt jedoch auch Annahmen, dass implizites Lernen, also Lernen ohne Bewusstmachung des Lernprozesses, möglich ist (Frensch & Rüniger, 2003). Dieser Prozess wird jedoch vielfach als wenig sinnvoll angesehen, da es zu Schwierigkeiten kommen kann, die Inhalte später wieder abzurufen (Stadler & Frensch, 1998).

Eines der häufigsten genutzten Modelle des Wissenserwerbs bzw. des Gedächtnisses stellt das Drei-Speicher-Modell von Atkinson und Shiffrin dar (1971). Es wird auch 2013 noch von Kunter und Trautwein verwendet. Innerhalb des Modells wird davon ausgegangen, dass Informationen, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen können, zunächst im sensorischen Gedächtnis verarbeitet werden. Danach erfolgt eine Weiterverarbeitung im Arbeitsgedächtnis. Hier erfolgt eine bewusste Verarbeitung der über die Sinne gesammelten Informationen. Dort wird schließlich auch entschieden, was wie weiterverarbeitet wird. Das Arbeitsgedächtnis unterliegt jedoch einigen Einschränkungen, so z.B. einer Begrenzung der Inhalte, die gleichzeitig verarbeitet werden können, sowie einer stark begrenzte Dauer der Informationsspeicherung. Daher machen die Autoren darauf aufmerksam, dass es sinnvoll ist, wichtige Informationen im Langzeitgedächtnis zu verankern (Atkinson & Shiffrin, 1971). Dies gelingt, indem Inhalte des Arbeitsgedächtnis gezielt wiederholt werden und so im Langzeitgedächtnis ab- bzw. angelegt werden. Interessant ist, dass man auch 2013 noch davon ausgeht, dass das Langzeitgedächtnis keinerlei Beschränkung hinsichtlich der Kapazität zu unterliegen scheint (Kunter & Trautwein, 2013). Die Informationen innerhalb des Langzeitgedächtnisses werden zusammenhängend in sogenannten semantischen Netzwerken gespeichert (Collins & Loftus, 1975). Publikationen aus der Fachdidaktik gehen davon aus, dass erst durch die Einbettung in ein Wissenssystem eine Bedeutungszuschreibung erfolgt und damit Lernen ermöglicht wird (Schecker et al., 2018). Deutlicher wird dies noch mit dem Begriff des Konzepts, der deutlich machen soll, das Wissen nicht isoliert vorliegt, „sondern in Form verschiedener grundlegender Schemata für Verstehen und Schlussfolgerungen“ (Kunter & Trautwein, 2018, S. 40).

Wichtig ist es in den Blick zu nehmen, um welches Wissen es sich handelt. Häufig geht man nicht von reinem Faktenwissen aus, sondern überprüft elaborierte Wissensnetzwerke (Neumann et al., 2008).

Vielfach verwendete Modelle des Wissenserwerbs stellen die Basismodelle von Fritz Oser (Oser & Baeriswyl, 2001), sowie die „zwölf Grundformen des Lehrens“ von Aebli (2011) dar.

Innerhalb der Basismodelltheorie von Oser (2001) werden verschiedene besonders relevante Modelle für den Physikunterricht genannt. So das Lernen durch Eigenerfahrung, Entdeckendes Lernen, Problemlösen sowie Begriffs- und Konzeptbildung. Dabei bestehen alle Basismodelle aus verschiedenen zu durchlaufenden Schritten. Für die Begriffs- und Konzeptbildung sind es fünf Schritte. Nach einer Bewusstmachung des Vorwissens (1) erfolgt das Durcharbeiten eines Prototyps, also eines exemplarischen Beispiels (2). Danach werden neue Elemente der bisherigen Struktur hinzugefügt, also Eigenschaften, die über den Prototyp hinausgehen (3). Die neuen Elemente werden dann durch verschiedene Aktivitäten verarbeitet (4). Schließlich wird das Erlernte auf ein neues Gebiet angewendet (5) (Oser & Baeriswyl, 2001). Auch bei Oser wird deutlich, dass Wissen konstruiert und in bestehende Strukturen eingegliedert werden muss. Damit deckt sich die Basismodelltheorie auch mit den allgemeinen Beschreibungen aus der Psychologie.

Gleichzeitig bleibt die Frage bestehen, an welchen Stellen diese Konstruktion vollzogen wird. Um dem nachzugehen, werden im nächsten Abschnitt mögliche Stellen für das Lernen von fachwissenschaftlichen Inhalten diskutiert.

3.2 Fachwissenserwerb im Lehramtsstudium

In Deutschland gliedert sich die Lehramtsausbildung unabhängig von der Fächerkombination oder Schulform in drei Phasen. In der ersten Phase, welche an der Universität oder Pädagogischen Hochschule stattfindet, werden „grundlegende Kompetenzen hinsichtlich der Fachwissenschaften, ihrer Erkenntnis- und Arbeitsmethoden sowie der fachdidaktischen Anforderungen [...] aufgebaut“ (Kultusministerkonferenz, 2008, S. 3). Die zweite Phase der Lehramtsausbildung findet im Anschluss an das Studium im Vorbereitungsdienst des jeweiligen Bundeslandes statt. Im Allgemeinen wird diese Phase als die praktische Phase bezeichnet, wobei auch hier in den jeweiligen Fach- und Hauptseminaren theoretische Inhalte vermittelt werden. Die Kultusministerkonferenz definiert diese Phase als eine Phase zur „Vermittlung mehr unterrichtspraktisch definierter Kompetenzen“ (Kultusministerkonferenz, 2008, S. 3).

Die dritte Phase, die Phase der Fort- und Weiterbildung verläuft während der gesamten anschließenden beruflichen Laufbahn und dient der Qualifizierung und Entwicklung „mit Blick auf neue Herausforderungen in der Bildung“

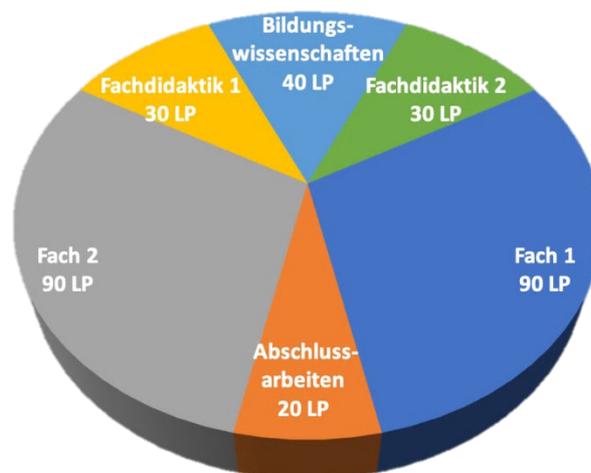
(Kultusministerkonferenz, 2008, S. 3). Von besonderer Bedeutung im Rahmen dieser Arbeit ist die erste Phase der Lehrer:innenbildung, da hier die theoretische Vermittlung fachlicher Inhalte und damit auch die Fachwissensentwicklung stattfindet.

Doch diese Phase verfolgt neben der Vermittlung fachlicher Inhalte noch weitere Ziele, die in weiteren Säulen des Lehramtsstudiums abgebildet werden.

Insgesamt gliedert sich das Lehramtsstudium klassischer Weise in drei Säulen: Erziehungswissenschaften, Fachdidaktik, Fach.

Das Studium für das gymnasiale Lehramt umfasst im Bachelor-Master-System 300 LP, wobei 90 LP pro Fach auf den fachwissenschaftlichen Teil fallen. Mit anderen Worten umfasst der mit 180 LP besetzte fachliche Teil mehr als die Hälfte des Lehramtsstudiums.

Abb. 4 Aufteilung innerhalb des Lehramtsstudiums
(Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., 2014)



Innerhalb des fachlichen Anteils des Studiums sollen die Lehramtsstudierenden ein anschlussfähiges Fachwissen erwerben. Genauer gefasst bedeutet dies, dass Absolventen:innen ein umfassendes Fachwissen und zugleich einen Überblick über das jeweilige Fach besitzen sollen. Darüber hinaus sollen wichtige erkenntnistheoretische Grundlagen, sowie die grundlegenden ideengeschichtlichen und wissenschaftstheoretischen Konzeptionen beherrscht werden (Saterdag, 2012). Das Bachelorstudium Physik Lehramt umfasst im fachwissenschaftlichen Anteil des Studiums Themen wie „Mechanik, Elektrodynamik und Optik, Thermodynamik und Statistik, Atom- und Molekülphysik, Physik der kondensierten Materie, Kern- und Elementarteilchenphysik, Quantenmechanik“ (Korneck et al., 2010). Dabei wird am häufigsten das Lehrformat Vorlesung genutzt

(Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., 2014), obwohl dies im Rahmen der Hochschuldidaktik durchaus kritisch gesehen werden kann (Arnold, 2002). Mit der Anerkennung der Bildungsrealität an deutschen Hochschulen ist damit klar, dass die Fachwissensvermittlung hauptsächlich in den Vorlesungen stattfindet. Mit Blick auf die theoretischen Grundlagen, die bereits im vorangegangenen Kapitel gelegt wurden, ist jedoch entscheidend, dass die eigentliche Konstruktion des Wissens in Eigenverantwortung der Lernenden vollzogen wird. Dabei müssen die Inhalte der Vorlesung vom Arbeitsgedächtnis in das Langzeitgedächtnis transferiert werden, um in bestehende Strukturen eingegliedert zu werden. Nur wenn dieser Schritt vollzogen wird, können Wissenselemente tatsächlich erlernt und im Verlaufe der vorliegenden Forschungsarbeit untersucht werden. Für den Prozess des eigenverantwortlichen Lernens spielen die an die Vorlesung angegliederten Übungsgruppen ebenfalls eine große Rolle. Hier könnte man beispielsweise das Basismodell der Konzept- und Begriffsbildung von Oser anlegen, da die Studierenden insbesondere prototypische Probleme bzw. Aufgaben lösen müssen und damit das allgemeine Konzept verstehen sollen.

Die Vorlesungen werden in den meisten Fällen von Mono-Fachstudierenden und Lehramtsstudierenden gemeinsam belegt (Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V., 2014). Damit werden Inhalte sehr häufig auf einem sehr hohen fachlichen Niveau mit großer Distanz zum Schulcurriculum vermittelt. Aus dieser starken Differenz entsteht häufig ein Problem mit der wahrgenommenen Relevanz der vermittelten Inhalte (Massolt & Borowski, 2020). Die wahrgenommene Relevanz der fachlichen Inhalte streift darüber hinaus ein weiteres zentrales Thema des Lehramtsstudiums Physik, den Studienabbruch. Diese Thematik soll im nachfolgenden Kapitel untersucht werden. Auch hier könnten motivationale Effekte eine Rolle spielen. So können Inhalte, die als sehr schuldistant wahrgenommen werden, das Lernen erschweren.

Zugleich ist trotz der großen Distanz zwischen schulischen und universitär vermittelten Inhalten sehr wahrscheinlich, dass dennoch schulische Inhalte vermittelt werden, da ein Teil der Vorlesung aus Wiederholung des Schulstoffes besteht oder schulische Inhalte aus einer höheren Position betrachtet. Eine höhere Position könnte hier beispielsweise die mathematische Modellierung sein. Gleichzeitig ist in der Lehramtsausbildung auch davon auszugehen, dass auch während verschiedener Praxisphasen schulische Fachwissenselemente wiederholt bzw. neu gelernt werden. Eine der größten Praxisphasen im Lehramtsstudium ist das Praxissemester, in dem die Studierenden in verschiedener Form und Dauer an der Schule arbeiten. Dabei könnte beispielsweise das Lernen durch Eigenerfahrung eine Rolle spielen, da sich die Studierenden unter anderem aktiv mit den zu vermittelnden Inhalten auseinandersetzen müssen, Experimente vor- und nachbereiten und diese verstehen müssen. Die Stundenzahlen und Bedingungen des Praxissemesters variieren von

Bundesland zu Bundesland jedoch, was ebenfalls einen Einfluss auf das Wiederholen von Inhalten haben könnte. Häufig sind es jedoch mehr als 20 Unterrichtsstunden pro Fach. Diese Praxiserfahrung und die Auseinandersetzung mit den fachlichen Inhalten für die Vorbereitung des Unterrichts können auch hier, neben der vormals genannten Vorlesungen, eine Veränderung im Fachwissen zur Folge haben. Auch das Praxissemester wird mit verschiedensten Ansätzen beforscht. So stellen Ulrich und Gröschner (2020) beispielsweise eine Metastudie von 187 empirisch fokussierten Konferenzbeiträgen und 47 veröffentlichten Studien vor und weisen darauf hin, dass bisher vor allem Ergebnisse im Bereich der selbsteingeschätzten Fähigkeiten und Kompetenzen vorliegen.

4. Untersuchungen im Lehramtsstudium Physik

Bisher wurden vor allem Ergebnisse der Forschung zum Professionswissen und dessen Wirksamkeit vorgestellt. Damit müssten diese Kapitel im eigentlichen Sinne auch Teil des vorliegenden Kapitels sein, denn auch jenseits der Forschung zum Professionswissen wird die Lehramtsausbildung stark beforscht. Ausgangspunkt vieler Untersuchungen sind die nicht zufriedenstellenden Ergebnisse großer Vergleichsstudien (PISA, TIMSS, IGLU) (Czerwenka & Nölle, 2014). Daraufhin erfolgte eine verstärkte Beforschung des Lehrer:innenberufs, auch durch die bereits genannten Projekte wie COACTIV oder TEDS-M (Czerwenka & Nölle, 2014). Insbesondere in den 2000er Jahren erschienen viele Studien zum Stand der Lehrer:innenausbildung (e.g. Döbrich et al., 2003; Terhart, 2000). Aber auch durch die Qualitätsoffensive Lehrer:innenbildung, die durch das BMBF finanziert wird, sind in den vergangenen Jahren zahlreiche Forschungsprojekte im Lehramt ins Leben gerufen worden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist es neben den Untersuchungen zum Professionswissen ebenfalls sinnvoll, sich mit solchen Forschungsvorhaben zu beschäftigen, die Bedingungsfaktoren für die Fachwissensentwicklung identifizieren oder bereits längsschnittliche Untersuchungen präsentieren. Allen voran sind dies Studien zum Studienabbruch und Studienerfolg, da sie die Herausforderungen, vor denen das Lehramt steht, sehr deutlich machen. Stark verbunden mit Studienerfolg und Studienabbruch ist der Fachwissenserwerb im Lehramtsstudium, wobei insbesondere längsschnittliche Untersuchungen interessant sind, da diese Entwicklungsverläufe deutlich machen. Denn die Untersuchung dieser Entwicklungsverläufe bietet die Chance, Gründe für Erfolg und Misserfolg nachzuvollziehen, aber auch die Wirksamkeit der Lehrer:innenbildung insgesamt nachzuvollziehen. Damit stellen

Längsschnittuntersuchungen und Untersuchungen zum Studienabbruch wichtige Vorarbeiten zur vorliegenden Untersuchung dar.

4.1 Studienabbruch & Studienerfolg

Das Fach Physik kämpft allgemein mit hohen Abbruchquoten im Bereich von bis zu 45% (Neugebauer et al., 2019). Dieser hohe Prozentsatz gehört im bundesweiten Vergleich mit anderen Studienfächern zu den höchsten, wobei die Abbruchquoten für die Naturwissenschaften mit durchschnittlich 34% allgemein sehr hoch sind (Neugebauer et al., 2019).

Im Mittel sind Studienabbrecher:innen 3.8 Fachsemester im Bachelorstudium immatrikuliert. Von diesen Studienabbrecher:innen beenden bereits 47% nach den ersten Semestern ihr Studium (Heublein et al., 2017).

Ein Problem stellen die „Parkstudierenden“ dar, also solche Studierende, die zwar immatrikuliert sind, jedoch das Studium nicht tatsächlich aufnehmen. Verlässliche Zahlen gibt es bisher nicht (Düchs & Ingold, 2015). Stichproben lassen jedoch vermuten, dass die Quoten der Parkstudierenden im Bereich von 60% bei den Frauen und 25% bei den Männern liegen. Diese Studierenden beeinflussen jedoch sehr wahrscheinlich die Abbruchquoten, da häufig nur schwer zwischen Abbrechenden und Parkstudierenden unterschieden werden kann.

Für das Abbruchverhalten gibt es zahlreiche und zugleich vielschichtige Gründe. Exemplarisch erwähnt seien an dieser Stelle die schulische Vorbildung und Leistungsschwierigkeiten. Während ältere Studien (Albrecht & Nordmeier, 2010) besonders Leistungsprobleme als eines der häufigsten Abbruchmotive sehen, zeigen neueste Studien eine differenzierte Befundlage (Isleib et al., 2019). Aber auch hier stellen die schulische Vorbildung und Leistungsprobleme wichtige Indikatoren für einen möglichen Studienabbruch dar. Wurde die Hochschulzugangsberechtigung beispielsweise an einem Gymnasium erworben oder wurde grundsätzlich eine sehr gute Abiturnote erreicht, stellt die Studie von Sären Isleib et. al (2019) einen signifikanten Einfluss hinsichtlich einer sinkenden Abbruchwahrscheinlichkeit fest. Dabei führt eine Verbesserung der Durchschnittsnote um 0,1 Punkte zur Senkung der Abbruchwahrscheinlichkeit um 2% (Isleib et al., 2019). Fällt die Abschlussnote hingegen nicht so gut aus, können anschließend Leistungsprobleme während des Studiums auftreten, die wiederum selbst zum Studienabbruch führen. Nimmt man diesen Umstand an und folgt man beispielsweise den Zahlen von Albrecht und Nordmeier (2010), so muss man davon ausgehen, dass 46% der Studierenden die inhaltlichen Anforderungen und damit Leistungsdefizite als ausschlaggebenden Grund für ihre Exmatrikulation angeben. Damit liegt die Vermutung nahe, dass das

Abbruchverhalten im engen Zusammenhang zum Fachwissenserwerb in Vorlesungen steht. Die Leistungsdefizite können darüber hinaus auch mit mangelnder Motivation durch eine zu geringe wahrgenommene Relevanz der vermittelten Inhalte innerhalb der Vorlesung in Verbindung stehen. Die Studie von Massolt und Borowski (2020) versucht dieser Frage nachzugehen und untersucht die durch die Studierenden wahrgenommene Relevanz verschiedener Aufgabentypen in den zur Vorlesung gehörenden Übungsgruppen. Dabei stellt sich heraus, dass klassische physikalische Aufgabenstellungen von Lehramtsstudierenden als weniger relevant gesehen werden. Als klassische Aufgaben werden in dieser Untersuchung solche Aufgaben verstanden, die klassischer Weise Teil der Übungszettel sind. Sie zeichnen sich häufig durch einen hohen Rechenanteil und weniger Problemorientierung aus. Es können jedoch auch keine Aufgaben gestellt werden, die nur auf die speziellen Bedürfnisse der Lehramtsstudierenden ausgerichtet sind und stets eine Relevanz für den späteren Berufsalltag aufzeigen, da die fachwissenschaftlichen Kurse häufig von Lehramts- und Mono-Fachstudierenden gemeinsam belegt werden (Massolt & Borowski, 2020). Zugleich deuten die Ergebnisse von Massolt und Borowski daraufhin, dass Mono-Fachstudierende ebenfalls konzeptuelle Aufgaben mit Schulbezug für relevant halten. Die Autoren plädieren daher dafür, eine stärkere Mischung der Aufgaben vorzunehmen und gleichzeitig auf das Konstrukt des erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext zu fokussieren, so wie es in dem Artikel von Woehlecke et al. (2017) beschrieben ist. Mit diesem Vorgehen könnte man auch dem Problem begegnen, dass sich die Inhalte der Vorlesung häufig stark von den später zu unterrichtenden Inhalten unterscheiden (Bass, 2005; Deng, 2007; H.-H. Wu, 2011). Der große Bruch zwischen den Vorlesungsinhalten und dem späteren Berufsalltag einer Lehrkraft, den Studierende häufig sehen, kann schließlich in einer geringeren Leistungsbereitschaft und damit im schlimmsten Fall zum Studienabbruch führen (Heublein, 2017). Geht man den umgekehrten Weg, ist man in der Forschung zu Erfolgsbedingungen für das Physikstudium angelangt. Hier sind zunächst Studien zu nennen, die sich mit der schulischen Vorbildung beschäftigen. Dabei hat sich herausgestellt, dass ein entscheidender Faktor für naturwissenschaftliche Fächer wie Physik die mathematische Vorbildung zu sein scheint. Gemessen wird diese häufig an der Abschlussnote in der Mathematik, die einen positiven Einfluss auf Studienerfolg zu haben scheint (Buschhüter et al., 2017; Müller, 2019; Tai et al., 2006). Aber auch die die Abiturnote allgemein ist für die meisten Studiengänge ein guter Prädiktor für Studienerfolg (Rach & Heinze, 2017), sowie für die Physik auch (Sorge et al., 2017). Wenn die mathematischen Vorkenntnisse in dem beschriebenen Maße einen Einfluss auf Studienerfolg nehmen, macht es zusätzlich Sinn, die tatsächliche Vorbildung direkter über einen Fähigkeitstest zum Beginn des Studiums zu erheben.

4.2 Längsschnittuntersuchung im Lehramtsstudium Physik

Geht man davon aus, dass der wie in [Kapitel 3.2](#) beschriebene Fachwissenserwerb zu großen Teilen in den Vorlesungen vollzogen wird, so wird schnell ersichtlich, dass hier ein wichtiger Ansatzpunkt für die aktuelle Forschung vorliegt. Dabei kann natürlich auch angenommen werden, dass Inhalte sowohl im Selbststudium als auch in den Übungsgruppen gelernt bzw. vertieft werden. Als Ausgangspunkt für diese Formen des Lernens kann jedoch die Vorlesung gesehen werden.

Nicht nur die hohe Abbruchquote, die in Verbindung mit fachlichen Inhalten steht, ist dabei von Interesse, sondern auch die Entwicklung des Fachwissens als wichtiger Bestandteil des Professionswissens und der professionellen Handlungskompetenz sind in der Forschung von Bedeutung. Es wäre daher zu vermuten, dass es zahlreiche Längsschnitterhebungen im Lehramt geben müsste, um den Lernfortschritt abbilden zu können. Dies ist jedoch nicht der Fall. Während in den letzten Jahren die Beforschung der Lehramtsausbildung auch durch die Qualitätsoffensive Lehrer:innenbildung des BMBF in verschiedensten Fächern stark zugenommen hat, gibt es nahezu keine echten Längsschnitte im Lehramt Physik (Vogelsang & Woitkowski, 2017; Woitkowski, 2015). Ein Beispiel für einen echten Längsschnitt stellt das Projekt von Baer et al. (2007) dar. Hier wurde mittels Selbsteinschätzung und Unterrichtsbeobachtungen die Kompetenzentwicklung verfolgt. Die Studie zeigte signifikante Zuwächse hinsichtlich verschiedener Aspekte des von Oser (Oser, 2001; Oser & Renold, 2005) vorgeschlagenen Kompetenzbegriffs über das Studium. Einschränkend ist hier zu sagen, dass die Ergebnisse sich maßgeblich auf zwei Messzeitpunkte beziehen und kein weiterreichender Längsschnitt berichtet wird. Insgesamt lässt sich festhalten, dass vorwiegend Quasilängsschnitte oder Untersuchungen über kurze Zeiträume vorliegen. Ein gutes Beispiel für ein solches Vorgehen ist das Kil- und KeiLa-Projekt (Sorge et al., 2017, 2019), in dem insbesondere querschnittliche Untersuchungen mit 200 Teilnehmenden vorgenommen wurden. Ein echter Längsschnitt fehlt also auch hier, um tatsächliche Entwicklungsverläufe abzubilden. Hier wurden Zusammenhänge und Entwicklungsverläufe des fachlichen und fachdidaktischen Wissens, sowie motivationale Aspekte in den Blick genommen. Mittels linearer Regression konnte die signifikante Bedeutung des Selbstkonzepts bzw. der Motivation für den Erwerb fachlichen und fachdidaktischen Wissens herausgearbeitet werden. Für das fachliche Interesse konnte beispielsweise ein mittlerer Effekt ($d = 0.29$) des Fachwissens, mediiert über das fachliche Selbstkonzept, nachgewiesen werden. Der Effekt des fachdidaktischen Wissens, mediiert über das fachdidaktische Selbstkonzept, war mit $d = 0.41$ sogar noch leicht größer.

Der von Woitkowski (2015) durchgeführte Quasilängsschnitt untersuchte unter anderem Niveauunterschiede verschiedener Fachwissensskalen zwischen unterschiedlichen Lehramtsstudiengängen und Fachphysikern. Dabei macht sich Woitkowski über Regressionsanalysen und Itemschwierigkeiten gebildete Niveaustufen der fachlichen Skalen zu nutze. Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Lehramtsstudiengängen zu Gunsten des fachlichen Wissens des höheren Lehramts. Insbesondere die von Woitkowski als unteres Lehramt bezeichnete Teilstichprobe wies größere Anteile in problematischen Niveaustufen auf. So lagen beispielsweise 61.9% der 151 Proband:innen im problematischen Bereich der vertieften Wissensskala und 55% in der universitären Wissensskala. Deutlich wurden diese Unterschiede auch im Wissensvorsprung des vertieften Wissens ($\beta = 0.46$), wobei dieser Effekt durch die Nutzung des universitären Wissens zustande kommt. Gleichzeitig wiesen die Proband:innen im Mittel sowohl schlechtere Abitur- als auch Physiknoten (2.4 und 2.1) im Vergleich zum oberen Lehramt (2.1 und 1.8) auf. Die gleichzeitig untersuchten Fachstudierenden wiesen insbesondere ein hohes universitäres Fachwissen auf. Das schulische Wissen stagnierte hingegen im Verlaufe des Studiums. Darüber wurden noch die Einflüsse verschiedener Hintergrundvariablen untersucht. Dabei stellten insbesondere die Abiturnote ($\beta = 0.29$) und das Geschlecht ($\beta = 0.32$) gute Prädiktoren innerhalb der linearen Regression für die Gesamtskala des fachlichen Wissens dar.

Das K2teach-Projekt, das die FU Berlin durchführt, deutet ebenfalls einen Längsschnitt an. Mit einem Mixed-Method Ansatz soll unter anderem das fachliche- und fachdidaktische Wissen vom ersten, zweiten und vierten Semester untersucht werden. Eine anschließende Follow-up-Untersuchung erfolgt im Referendariat. Bisher liegen jedoch nur vereinzelte Ergebnisse aus einer sehr kleinen Stichprobe vor, die bisher keine Rückschlüsse auf Veränderungen des fachlichen Wissens zulassen (Milster & Nordmeier, 2018). Ebenfalls ein im kleinen Rahmen durchgeführtes Projekt, ist das (N = 34) Kemo-Projekt (Woitkowski & Reinhold, 2018). Auch hier fehlen weiterführende Erkenntnisse über ein Semester hinaus. Es zeigte sich, dass insbesondere die Abiturnote sowie die mathematischen Vorkenntnisse prädiktiv für den Fachwissenserwerb sind. Darüber hinaus war insbesondere für schwache Proband:innen kaum ein Fachwissenszuwachs zu verzeichnen. Genauere Ergebnisse fehlen aber auch hier.

Das ALSTER-Projekt der Universität Duisburg-Essen untersucht ebenfalls das Vorwissen von Studierenden und versucht damit Studienerfolgsbedingungen zu charakterisieren. Dabei handelt es sich jedoch nicht um Lehramtsstudierende, sondern um Mono-Fachstudierende. Neben Studienerfolgsbedingungen wurden auch Zuwächse des fachlichen Wissens untersucht (Binder et al., 2019). Auch hier zeigen sich über verschiedene Studiengangskonzeptionen signifikante Zuwächse

unterschiedlicher Fachwissensdimensionen. Eine Post-Hoc-Aufteilung in Leistungsgruppen zeigte darüber hinaus, dass ein heterogenes Leistungsbild im Verlaufe der Untersuchungen erhalten bleibt. Vergleicht man die vorgestellten Studien miteinander, lässt sich festhalten, dass insgesamt Daten über langfristige, also Entwicklungsverläufe über mehrere Semester bzw. Jahre, zum fachlichen Wissen nahezu völlig fehlen.

5. Das ProfiLe-P+ Projekt

Das innerhalb dieser Arbeit vorgestellte Forschungsvorhaben ist Teil des BMBF Forschungsprojekts Professionskompetenz im Lehramtsstudium Physik, kurz ProfiLe-P+.

Dieses Projekt stellt somit den Rahmen der vorliegenden Arbeit dar und muss daher eine nähere Betrachtung erfahren. Der Forschungsverbund verfolgte das Ziel, Entwicklungsverläufe und Performanz in unterrichtlichen Anforderungssituationen zu untersuchen. Auch wenn die vorliegende Arbeit eine eigenständige Untersuchung darstellt, ist es dennoch sinnvoll, die Entwicklung des Projekts sowie dessen Ziele zu beschreiben, um inhaltliche und methodische Entscheidungen innerhalb der vorliegenden Untersuchung besser verständlich zu machen. Denn nicht zuletzt profitiert das Verbundprojekt von einer engen Zusammenarbeit, die sich beispielsweise in einem gemeinsamen theoretischen Unterbau und in einer ähnlichen inhaltlichen Ausrichtung der Testinstrumente wiederfindet. Die genaue Einordnung der vorliegenden Untersuchung schafft zusammen mit der Vorarbeit in vorangegangenen Kapiteln die Hinführung zu den Forschungsfragen in [Kapitel 6](#).

5.1 Projektaufbau & Ziele

Das Projekt Professionskompetenz im Lehramtsstudium Physik, kurz ProfiLe-P+, ist bereits die zweite Phase des ursprünglichen Forschungsverbundes ProfiLe-P. In der zweiten Phase beteiligen sich vier deutsche Hochschulstandorte aktiv an der Durchführung des Projekts. Dabei übernimmt jeder Standort ein anderes Teilforschungsvorhaben des Gesamtprojekts. Am Standort Bremen wird die „Auswirkung fachlicher und fachdidaktischer Kompetenz auf die Analyse von Physikunterricht und Veränderung der Analysefähigkeit durch Praxisphasen“ untersucht.

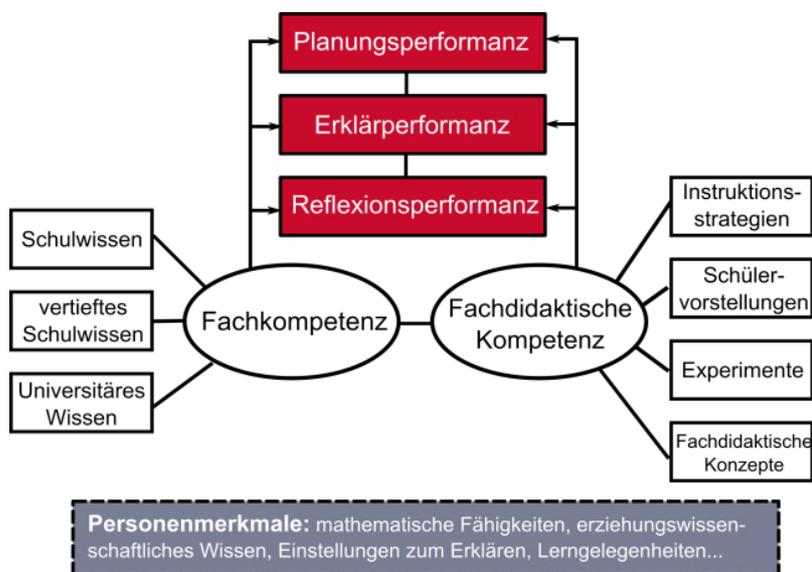
Am Standort Aachen wird die „Auswirkung fachlicher und fachdidaktischer Kompetenz auf die Planung von Physikunterricht und Veränderung der Planungsfähigkeit in Praxisphasen“ betrachtet.

Das dritte Teilvorhaben untersucht die Entwicklung des fachlichen Wissens im Physik-Lehramtsstudium und stellt damit das vorliegende Dissertationsvorhaben dar. Darüber hinaus wird das Projekt am Standort Paderborn koordiniert. Das ProfiLe-P+ Projekt ist zugleich Teil des BMBF-Transferprojekts „Kompetenzmodelle und Instrumente der Kompetenzerfassung im Hochschulsektor – Validierung und methodische Innovation“, kurz KokoHs.

Wie schon aus den einzelnen Teilvorhaben sowie dem Titel des ProfiLe-P+ Projekts ersichtlich, ist das übergeordnete Ziel, Entwicklungsverläufe und Performanz in unterrichtlichen Situationen zu untersuchen. Dazu wurde eine Reihe von Testinstrumenten neu entwickelt und aus der ersten Phase des Projekts weiterentwickelt. Eine Übersicht zu den Testinstrumenten der einzelnen Standorte findet sich ab [Kapitel 5.2](#). Die Testinstrumente sind jeweils so aufgebaut, dass sie einen gemeinsamen inhaltlichen Schwerpunkt haben, der eine anschließende gemeinsame Interpretation ermöglicht. Ausgewählt wurde die fachliche Thematik Mechanik, da zum einen ein breiter Aufgabenpool in diesem Bereich vorliegt und zum anderen diese Inhalte bereits früh im Studium behandelt werden. Die Mechanik wird darüber hinaus auch in ihren Grundlagen wirksam in vielen nachfolgenden Themenfeldern der Physik.

Die Testinstrumente sind, wie in Abb. 5 zu sehen, darüber hinaus über ein gemeinsames Rahmenmodell miteinander verbunden.

Abb. 5 ProfiLe-P+ Rahmenmodell (Buschhüter et al., 2018)



Das Modell bildet die Vorstellung ab, dass fachliche und fachdidaktische Kompetenz mit ihren Teilfacetten in Standardsituationen des Lehrer:innenberufs wirksam werden. Dabei hat sich das Rahmenmodell im Verlaufe des Projekts leicht verändert. So wird nun nicht mehr von fachlicher oder fachdidaktischer Kompetenz gesprochen, sondern von Fachwissen und fachdidaktischem Wissen. Die Begründung für dieses Vorgehen ist in [Kapitel 2.3](#) wiederzufinden und lässt sich kurz mit der besseren Passung der zu testenden Strukturen innerhalb der Testinstrumente begründen. Die vormals genannten Standardsituationen des Lehrer:innenberufs werden im Projekt als Planen, Reflektieren und Erklären umschrieben. Dieses Vorgehen ist damit gleichzeitig anschlussfähig an aktuelle Modelle des Professionswissen, wie dem Refined Consensus Modell of PCK, in dem im Zentrum des Lehrer:innenhandelns neben dem Unterrichten selbst ebenfalls das Planen und Reflektieren stehen (vgl. Carlson et al., 2019). Diese Standardsituationen des Lehrer:innenhandelns werden als Performanz beschrieben, also In-Aktion-Fähigkeiten und sind damit an vergleichbare Tests in der Medizinerbildung angelehnt (Miller, 1990). Mit den der Definition entspringenden Testinstrumenten wird das Ziel verfolgt, möglichst nah an der Realsituation zu bleiben und gleichzeitig Performanz untersuchbar zu machen. Daher wird insbesondere auf den jeweiligen Kontext geachtet, in dem das Testinstrument bzw. die Testsituation eingebettet ist. Nähere Informationen zu diesem Vorgehen finden sich wie bereits erwähnt im nachfolgenden Kapitel zu den einzelnen Testinstrumenten. Während die Performanzinstrumente ausschließlich im Masterstudium eingesetzt werden, um die Wirkung des Praxissemesters auf die Reflexions-, Erklär- und Planungsfähigkeit zu untersuchen, werden die Testinstrumente für fachliches und fachdidaktisches Wissen zusätzlich im Bachelorstudium eingesetzt. Eine nähere Beschreibung zu diesem Vorgehen findet sich in [Kapitel 7.1](#). Neben den angedeuteten Dissertationsvorhaben der einzelnen Standorte sollen im Rahmen des Projekts ausgewählte Zusammenhänge analysiert werden, was das vorgestellte Rahmenmodell zwingend erforderlich macht.

5.2 Testinstrumente des ProfiLe-P+ Projekts

Um einen Überblick über das ProfiLe-P+ Projekt zu geben, sollen im vorliegenden Kapitel die eingesetzten Testinstrumente kurz vorgestellt werden. Dieser Überblick soll es ermöglichen, methodische Entscheidungen im Verlaufe der Untersuchung besser zu begründen bzw. zu verstehen. Der Fachwissenstest, der maßgeblicher Bestandteil der vorliegenden Arbeit ist, wird an späterer Stelle Beachtung finden.

5.2.1 Reflexionsfähigkeit

Das Instrument zur Erhebung der Reflexionsfähigkeit wurde in Bremen entwickelt. Untersucht werden soll die Fähigkeit, Unterricht zu reflektieren. Genauer gefasst wird innerhalb des Projekts darunter die Fähigkeit verstanden, Unterricht hinsichtlich seiner Wirkung und Weiterentwicklung zu analysieren (Vogelsang et al., 2019). Dazu wurde ein mehrstufiges Reflexionsmodell entwickelt, das mittels eines Videovignettentests erhoben wird (Kempin et al., 2019; Nowak et al., 2018). Innerhalb des Videovignettentests wird eine Situation kreiert, in der die Proband:innen in die Lage eines Gesprächs mit einem Kollegen versetzt werden, der Rat zu seiner Stunde sucht. Das Thema der Stunde ist, angelehnt an den gemeinsamen Inhaltsbereich Mechanik, das dritte newtonsche Axiom. Die Proband:innen erhalten dazu Videoausschnitte einer Unterrichtsstunde und bekommen zu diesen Ausschnitten von dem fiktiven Kollegen Robert konkrete Reflexionsanlässe, wie beispielsweise die Frage danach, ob der Einstieg als gelungen empfunden wird. Die Proband:innen antworten dann im Anschluss mündlich auf die von Robert gestellte Frage. Diese Antwort wird aufgezeichnet. Der gesamte Test verläuft online und das Gesagte, sowie der Bildschirm der Proband:innen werden mittels der Software OBS aufgezeichnet. Die Testzeit beträgt 70 min. Eingesetzt wird das Testinstrument jeweils vor und nach dem mehrmonatigen Praxissemester. Im Anschluss an die Durchführung mit Aufzeichnung wird mittels eines in Bremen entwickelten Kodiermanuals qualitativ ausgewertet.

5.2.2 Planungsfähigkeit

Das Instrument zur Erhebung der Planungsfähigkeit wurde in Aachen entwickelt. Untersucht werden soll die Fähigkeit, Physikunterricht zu planen. Eingesetzt wird das Instrument vor und nach dem Praxissemester im Masterstudium. Die Proband:innen sollen sich in die Lage versetzen, kurzfristig eine Stunde planen zu müssen (Vogelsang et al., 2019). Sie werden vor die Aufgabe gestellt, einen Kollegen im Unterricht zu vertreten. Lediglich das Thema der Stunde, sowie grobe Informationen zur Klasse wie Alter, Klassenstufe und Vorbildung sind vorhanden. Für die vollständige Planung bzw. Erstellung eines schriftlichen Entwurfs inklusive eines Tafelbildes haben die Studierenden 60 Minuten Zeit. Als zusätzliche Hilfe erhalten die Teilnehmenden Auszüge aus zwei Schulbüchern und einer Internetseite als Materialgrundlage. Das Thema der zu planenden Unterrichtsstunde liegt mit dem dritten newtonschen Axiom ebenfalls im Bereich Mechanik. Die Unterrichtsplanung soll zentrale Punkte wie die Umsetzung des fachlichen Inhalts, Schülerkognition,

Aufgaben, Experimente, sowie ein Tafelbild beinhalten. Ausgewertet werden die schriftlichen Ausarbeitungen ebenfalls mittels eines entwickelten Kodiermanuals.

5.2.3 Erklärfähigkeit

Das Instrument zur Erhebung der Erklärfähigkeit aus einer älteren Phase des Projekts wurde maßgeblich von Christoph Kulgemeyer entwickelt (Kulgemeyer, 2016). Wie auch bei den bereits vorgestellten Performanzinstrumenten zur Planung und Reflexion von Physikunterricht geht es auch hier um eine möglichst authentische Situation. Dazu erhalten Proband:innen einen fachlichen Inhalt, den sie einem Schüler oder einer Schülerin erklären sollen. Für die Vorbereitung haben sie 10 Minuten Zeit, inhaltliche Hilfestellung gibt es keine. Damit müssen sich die Teilnehmenden auf ihr vorhandenes fachliches und fachdidaktisches Wissen stützen. Die verschiedenen Inhalte der jeweiligen Erklärsituationen liegen ausschließlich im Bereich Mechanik und betrachten Phänomene im Rahmen der newtonschen Axiome. Nach der genannten Vorbereitungszeit erklärt der oder die Teilnehmende das Phänomen einem Schüler oder einer Schülerin. Wichtig ist, dass es sich bei dem Schüler bzw. der Schülerin um eine trainierte Person handelt, die standardisierte Fragen stellt, um die Testungen miteinander vergleichbar zu machen. Dieses Gespräch wird videographiert und anschließend qualitativ ausgewertet. Betrachtet werden unter anderem fachliche Qualität und wie sehr sich die Proband:innen auf ihr Gegenüber einstellen konnten. Dieses Testinstrument wird ebenfalls ausschließlich im Masterstudium vor und nach dem Praxissemester eingesetzt.

5.2.4 Fachdidaktisches Wissen

Im Bachelor- und Masterstudium wird neben dem Testinstrument für das fachliche Wissen noch ein schriftliches Testinstrument zur Erhebung des fachdidaktischen Wissens eingesetzt. Wie auch schon der Performanztest zur Erhebung der Erklärfähigkeit stammt dieser Test aus einer älteren Phase des ProfiLe-P Projekts. Er wurde maßgeblich von Yvonne Gramzow in Paderborn (Gramzow, 2015; Riese et al., 2015) entwickelt. Bei dem vorliegenden Testinstrument handelt es sich um einen schriftlichen Leistungstest mit einer Mischung aus offenen Fragestellungen und Multiple-Choice-Aufgaben. Neben dem fachdidaktischen Wissen wird mit dem Testinstrument noch das erziehungswissenschaftliche Wissen abgefragt. So wie im Fachwissenstest werden ebenfalls demografische Daten abgefragt. Eine genaue

Übersicht dazu findet sich sowohl im Anhang als auch im Kapitel zum Fachwissenstest. Die Gesamttestzeit beträgt 90 min. Davon entfallen 65 min auf das fachdidaktische Wissen, 15 min auf das erziehungswissenschaftliche Wissen und 10 min auf die demografischen Daten. Wie bei allen Testinstrumenten des Projekts werden auch hier Items im Bereich Mechanik, insbesondere zu den newtonschen Axiomen verwendet. Inhaltlich werden darüber hinaus Schülervorstellungen, Instruktionsstrategien, Experimente und fachdidaktische Konzepte mit den Items abgedeckt. Da es sich maßgeblich um ein Testinstrument für das fachdidaktische Wissen handelt, gibt es natürlicherweise Überschneidungen zwischen fachphysikalischen und fachdidaktischen Themen.

6. Forschungsfragen

Das Professionswissen gilt als zentraler Bestandteil der professionellen Handlungskompetenz (Kapitel 2.1). Dabei ist die Wirksamkeit des Professionswissens für Unterricht in der Physik noch weitestgehend ungeklärt (Kapitel 2.1). Auf theoretischer Ebene herrscht jedoch Einigkeit darüber, dass dem Fachwissen eine zentrale Bedeutung innerhalb des Professionswissens zukommt (Kapitel 2.2 & 2.3), auch wenn die Wirkung von Fachwissen auf Unterrichtsqualität oder Lernerfolg ebenfalls noch größtenteils ungeklärt ist (Kapitel 2.5). Um die Wirkung von Fachwissen besser untersuchen zu können, wird das Fachwissen häufig mehrdimensional beschrieben. Dabei hat sich eine Dreiteilung des Fachwissens in der Physik durchgesetzt (Kapitel 2.4). Aus theoretischer Sicht ist vor allem das vertiefte Schulwissen von besonderer Bedeutung. Erste Ergebnisse scheinen dies zu bestätigen (Kapitel 2.4.1).

Insgesamt wird Fachwissen in verschiedenen Formen über die Zeit des Studiums hauptsächlich in den Vorlesungen im Bachelor-Studium erworben (Kapitel 3.2), wobei die Vermutung besteht, dass sich in Praxisphasen wie beispielsweise dem Praxissemester das fachliche Wissen von Lehramtsstudierenden ebenfalls verändert. Zugleich ist jedoch unklar, wie genau sich das Fachwissen im Verlauf weiterentwickelt. Bisherige Untersuchungen zielen häufig in die Richtung von Studienerfolgsprognosen (Kapitel 4.1 & 4.2), doch breiter angelegte Längsschnitte hinsichtlich der Fachwissensentwicklung fehlen zumeist (Kapitel 4.2).

Damit stellen längerfristige Längsschnitte ein Forschungsdesiderat dar, um jenseits der Untersuchungen zum Studienerfolg auch Entwicklungsverläufe des fachlichen Wissens im Studium sichtbar zu machen. Dazu muss ein valides Testinstrument genutzt werden. Mit Blick auf Studienerfolg und Vorstudien ist dabei klar, dass es Bedingungsfaktoren für den Fachwissenserwerb wie mathematische Vorbildung gibt

(Kapitel 3.2 & 4.1). Hier können mögliche Risikofaktoren für die Fachwissensentwicklung identifiziert werden und zugleich Entwicklungsunterschiede begründet beschrieben werden. Darüber hinaus stellt das Fachwissen, wie in der Forschung begründet vermutet, die Grundlage für die Entwicklung fachdidaktischen Wissens dar, welches ebenfalls zentraler Bestandteil des Professionswissens ist (Kapitel 2.1). Daher ergeben sich insgesamt folgende Forschungsfragen:

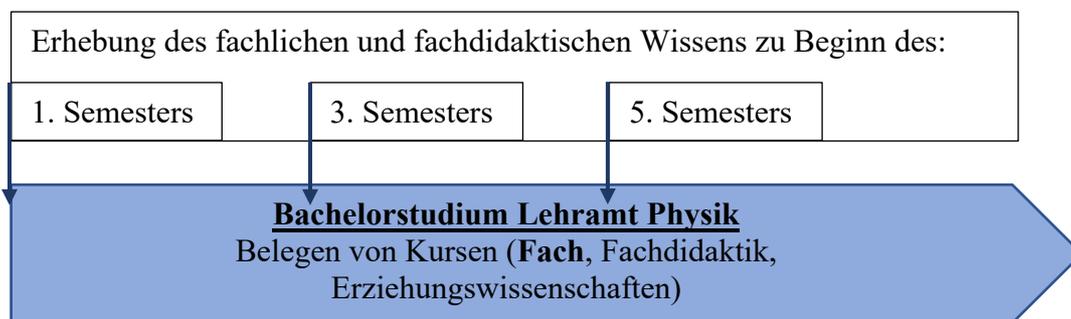
1. Ist das postulierte 3D-Modell für physikalisches Fachwissen (Schulwissen, vertieftes Schulwissen, universitäres Wissen) ein empirisch valides Modell zur Erfassung von Fachwissen und Fachwissensentwicklung angehender Physiklehrkräfte?
2. Wie entwickelt sich das Fachwissen auf den drei beschriebenen Fachwissensdimensionen (Schulwissen, vertieftes Schulwissen, universitäres Wissen):
 - a) im Verlaufe des Bachelorstudiums;
 - b) über das Praxissemester?
3. Welche Bedingungsfaktoren können für die Entwicklung der drei Fachwissensdimensionen identifiziert werden?
4. Stellt der Erwerb von Fachwissen eine notwendige Voraussetzung für den Erwerb fachdidaktischen Wissens dar?

7. Methode und Design

7.1 Längsschnitterhebung

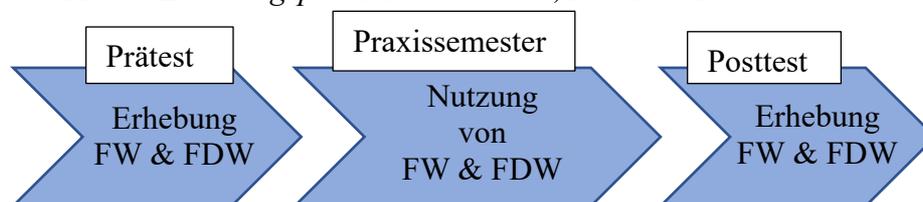
Wie in [Kapitel 4.2](#) beschrieben, wurden bisher vor allem Quasilängsschnitte durchgeführt, um Zuwächse von fachlichem oder fachdidaktischem Wissen abzubilden. Um jedoch die tatsächlichen Veränderungen einer Kohorte im Verlaufe des Bachelorstudiums untersuchen und im späteren verallgemeinern zu können, ist eine längsschnittliche Untersuchung besonders sinnvoll (Döring & Bortz, 2016). Im Gegensatz zu quasilängsschnittlichen Untersuchungen werden mittels Messwiederholungen Proband:innen über längere Zeit begleitet. In der vorliegenden Studie wird diese Messung zum Beginn des ersten, dritten und fünften Semesters des Bachelorstudiums durchgeführt (Abb. 6). Dazu werden jeweils die schriftlichen Leistungstests der ProfiLe-P+ Studie eingesetzt.

Abb. 6 Erhebungsplan in der Bachelorkohorte



In einer zweiten Kohorte soll darüber hinaus vor und nach dem Praxissemester erhoben werden (Abb. 7). Ein genauerer Ablauf der Erhebungen findet sich in [Kapitel 8.1](#). Eingesetzt wird das vorgestellte Instrument zum fachlichen (FW) und fachdidaktischen Wissen (FDW).

Abb. 7 Erhebungsplan Masterkohorte, Prä-Post Praxissemester



Eine solche Längsschnittuntersuchung stellt aus verschiedenen Gründen eine große Herausforderung dar, die nicht nur stark mit den in [Kapitel 7.4](#) beschriebenen

klassischen Gütekriterien verbunden, sondern auch ganz praktischer Natur ist. Das größte Problem ist klassischerweise die Stichprobenmortalität, also der Verlust von Proband:innen aus dem Längsschnitt über die Zeit (Müller, 2019). Um diesem Problem zu begegnen sollen im Rahmen des Profile-P+ Projekts zum einen finanzielle Anreize geschaffen und zum anderen individualisierte Rückmeldungen erstellt und ausgegeben werden. Im Detail bedeutet dies, dass für die Testteilnahme zum ersten Messzeitpunkt im Bachelor 10 € für 90 min Testzeit gezahlt werden und dieser Betrag im Verlauf der Untersuchung leicht gesteigert wird. Die individuellen Rückmeldungen sollen darüber hinaus zusätzlich zur Teilnahme motivieren, indem Ergebnisse detailliert aufgeschlüsselt werden und so eine Selbsteinschätzung der Veränderungen über mehrere Messzeitpunkte hinweg möglich ist. Diese Rückmeldungen sollen im jeweils zeitlichen Abstand nach den Erhebungen anonym an die Teilnehmenden ausgegeben werden. Über diese zwei Mechanismen hinaus ist es sinnvoll, die Erhebungen in Pflichtveranstaltungen durchzuführen, da freiwillige Termine trotz finanziellem Anreiz von deutlich weniger Studierenden wahrgenommen werden. Die unangekündigte Durchführung in einer Pflichtveranstaltung ist hier die vielversprechendste Vorgehensweise.

In der Masterstichprobe wird ein leicht anderes Vorgehen zum Einsatz kommen. Dort laufen die Erhebungen des fachdidaktischen und fachlichen Wissens außerhalb der regulären Veranstaltungen ab, da innerhalb der Veranstaltungen bereits die Erhebungen der Planungs- und Reflexionsfähigkeit stattfinden. Ein Anreiz für die Teilnahme auch außerhalb der Veranstaltung soll hier über eine gesteigerte finanzielle Vergütung erfolgen, sollten die Proband:innen am vollständigen Erhebungspaket der ProfiLe-P+ Studie teilnehmen.

Die Erhebungen im Bachelorstudium finden an zwölf deutschen und einer österreichischen Hochschule statt, während die Erhebungen im Master nur an den vier Projektstandorten durchgeführt werden. Eine genauere Aufstellung der Erhebung findet sich ebenfalls in [Kapitel 8.1](#).

Die Vorbereitung, Koordination und Durchführung von zwölf parallelen Erhebungen im Bachelorstudium stellt eine organisatorisch anspruchsvolle Aufgabe dar. Neben dem Drucken der nötigen Testhefte müssen die Erhebungen mit den jeweiligen Standorten terminlich und räumlich abgeklärt werden, da man, wie bereits beschrieben, in den Lehrveranstaltungen erheben sollte.

In einigen Fällen kann es darüber hinaus vorkommen, dass die Erhebung nicht von Doktorierenden des Projekts durchgeführt werden kann, sondern von Ansprechpartnern:innen vor Ort durchgeführt wird. Um in allen Fällen die Qualität bzw. die Vergleichbarkeit der Erhebung zu gewährleisten, wird ein Testleitermanual

verwendet. Das Testleitermanual¹ beschreibt unter anderem die Vorbereitung der Testung, die Durchführung sowie die Nachbereitung. Bei der Vorbereitung des Tests wird den Durchführenden beispielsweise deutlich gemacht, dass Sie den Teilnehmenden die Rahmenbedingungen wie Freiwilligkeit, Anonymität und Zweck der Erhebung, sowie die Vergütung deutlich machen. Bei der Durchführung ist darauf zu achten, dass die zeitlichen Vorgaben eingehalten werden und in Einzelarbeit bzw. ohne Hilfsmittel gearbeitet wird. Die zeitlichen Vorgaben beziehen sich hier auf die Verteilung pro Testteil. Eine genauere Aufstellung findet sich im anschließenden Kapitel. Zur Erhebung wird zusätzlich ein Sitzungsprotokoll² von den Durchführenden ausgefüllt, um so mögliche Einflüsse auf die Testung festzuhalten. Denkbar wäre beispielsweise ein vorzeitiger Abbruch der Erhebung aufgrund eines Feuersalarms.

Nach der Testung geht es darum, alle Testhefte wieder einzusammeln, damit keine Kopien der Testhefte von Teilnehmenden angelegt werden können. Für mehr Details sind beide entwickelten Dokumente wie bereits beschrieben im Anhang beigefügt.

7.2 Der Fachwissenstest

Das in dieser Untersuchung verwendete Testinstrument zur Erhebung des fachlichen Wissens stellt eine Weiterentwicklung der Version aus der ersten Phase der Profile-P-Studie dar. Er wurde für den Einsatz im Längsschnitt mit besonderem Blick auf das vertiefte Schulwissen entwickelt. Das Instrument berücksichtigt darüber hinaus noch zwei weitere Fachwissensdimensionen: Schulwissen und universitäres Wissen. Aufgebaut ist das Instrument aus drei Teilen: einem Rechentest, demografischen Daten und dem eigentlichen Fachwissenstest. Eine genauere Aufstellung bezüglich des Aufbaus findet sich in Tab. 1. Wie dieser Tabelle zu entnehmen ist, beträgt die Gesamttestzeit 85 min. Der eingesetzte Rechentest wurde ebenfalls in der ersten Phase des Profile-P Projekts entwickelt und wieder eingesetzt. Um die Testzeit jedoch zu begrenzen, wurden nicht alle Items aus der ersten Phase genutzt. Für die Bearbeitung des Rechentests stehen den Teilnehmenden 25 min zur Verfügung. Die Aufgaben des Rechentests liegen dabei im Bereich des schulischen Wissens, also solchen Inhalten, die expliziter Teil des schulischen Curriculums bis zum Abitur sind. Um die einzelnen Testzeitpunkte miteinander verbinden zu können, wurde ein individueller Proband:innencode generiert.

¹ Siehe Anhang 3

² Siehe Anhang 2

Tab. 1 *Aufbau des Testinstruments zur Erhebung des fachlichen Wissens*

<p>Demografische Daten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10 min Bearbeitungszeit • Geschlecht, Alter • Angaben zur schulischen Ausbildung: erreichtem Abschluss und Abiturnote, letzte Physik-, Mathe-, Deutschnote • Angaben zum Studium: angestrebter Abschluss, belegte Semester, Praxiserfahrung im Studium, belegte Kurse
<p>Rechenfähigkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • 25 min Bearbeitungszeit • Aufgaben aus den Bereichen Trigonometrie, Differenzieren, Integrieren, Gleichungen • Offenes Antwortformat ohne Lösungswege
<p>Fachwissenstest</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50 min Bearbeitungszeit • Aufgaben aus den Inhaltsbereichen Impuls, Schwingungen und Wellen, Energie, Newton • Items über die drei Fachwissensdimensionen verteilt <ul style="list-style-type: none"> ○ SW 20 Items, VSW 14 Items, UW 14 Items ○ Multiple Choice (vier Antwortmöglichkeiten), für zwei Items des VSW zusätzlich offene Antwortmöglichkeiten

Für einen besseren Überblick über die Items des Fachwissenstests findet sich in Tab. 2 im Folgenden eine kurze Beschreibung zur Zuordnung der Dimensionen und der Herkunft des jeweiligen Items. Wie bereits erwähnt wird die Dimensionalität des eingesetzten Instruments im nachfolgenden Kapitel näher behandelt. Über die Kurzbeschreibung der Items (Tab. 2) hinaus ist es leider nicht möglich das Testheft innerhalb der vorliegenden Arbeit in seiner Gänze abzubilden, da für eine Vielzahl der Items keine Freigabe zur Veröffentlichung besteht.

Für die einfache Zuordnung der jeweiligen Items findet sich in der Spalte „Ursprung“ jeweils das Kürzel der jeweiligen Herkunft. Es handelt sich hierbei um Aufgaben aus dem FCI (Mazur, 2017), Übersetzungen des ECI (Schwackhamer et al., 2005), Mazur mit eigenen Aufgabenkatalog (Mazur, 1997) oder sie stammen aus einem Aufgabenpool der ersten Phase des Profile-P Projekts. Dies wird mit PPP angegeben. Neu entwickelte Items werden mit Neu angegeben.

Itemname	Inhaltliche Beschreibung	Dim	Ursprung
ARB-1	Mechanische Arbeit: mathematische Darstellung	VS/W2	PP
STEIN-1	Fallgesetz: Beschleunigung eines fallenden Objekts (Stein fällt)	SW	FCl
KUGEL-1	Fallgesetz: Bedeutung der Masse bei Fallbewegung (zwei Metallkugeln fallen)	SW	FCl
POT-1	Kraft: Berechnung der Kraft zum Potential	UW	Neu
PENDEL-1	Pendel: Begrifflichkeiten zur Beschreibung einer Schwingung	SW	PPP
WELL-1	Wellen: Eigenschaften mechanischer Wellen	SW	Neu
GLEICH-1	Unterschied physikalischer Gleichungen	VSW3	Neu
EIN-1	Unterschied von physikalischen Einheiten	VSW3	Neu
FADEN-1	Pendel: Bedeutung der kinetischen und der potentiellen Energie	SW	PPP
IMP-1	Impulserhaltung: Herleitung der Impulserhaltung	VSW1	NEU
SCHR-1	Schräger Wurf: Betrachtung der Geschwindigkeit	SW	PP
SCHR-2	Schräger Wurf: Betrachtung der Beschleunigung	SW	PP
SKOOT-1	Impulserhaltung: Gültigkeit der Impulserhaltung	VSW2	NEU
POP-1	Impulserhaltung: Bedeutung der Masse für die Impulserhaltung (zerplatzender Popcornmais)	SW	PP
FADEN-2	Pendel: Parameter der Periodendauer	SW	PPP
RING-1	Strömungsmechanik: Verhalten der Massenstromdichte (Hula - Hoop - Rings)	UW	Mazur inspiriert / NEU
KURV-1	Energieerhaltung: Umwandlung kinetischer in potentielle Energie (rollende Kugel im Flaschenboden)	SW	ECl
APP-1	Fallgesetz: Betrachtung der Auftriebsgeschwindigkeit (fallender Apfel)	VSW1	Neu
LKW-1	Unelastischer Stoß: Wechselseitigkeitsprinzip (LKW-PKW-Crash)	SW	FCl
AUTOS-1	Unelastischer Stoß: Gültigkeit der Energie- und Impulserhaltung (PKW-Crash)	VSW1	Neu
IMP-2	Impulserhaltung: Massebedeutung und Bezugssystemwechsel (leichter vs. schwerer Ball)	UW	Mazur inspiriert / Neu
KONS-1	Konservative Kraftfelder	UW	Neu
HARM-1	Schwingung: DGL des harmonischen Oszillators	UW	Neu
BLOCK-1	Kräfte: Umgang mit dem Modell des Massenpunkts	VSW2	Neu
KUGEL-2	Fallbewegung: Gültigkeit der Energieerhaltung (Stahlkugel fällt auf Stahl)	VSW2	Neu
PENDEL-2	Pendel: Geschwindigkeit des Pendels	SW	PPP
ENE-2	Energie: Betrachtung der Gesamtenergie eines Systems (Buch rutscht über Tisch)	SW	ECl
PENDEL-3	Pendel: Betrachtung der Rückstellkraft	SW	PPP
KREIS-1	Kreisbewegung: Betrachtung der Bahnkurve (Kugel auf Kreisbahn)	VSW2	Neu
KUG-1	Impulserhaltung: Gültigkeit der Impulserhaltung (Kugel fällt auf Stahlplatte)	VSW2	Neu
KAEST-1	Kinematik: Beschleunigte Bewegung vs. gleichförmige Bewegung	SW	FCl
EISK-1	Drehimpulserhaltung: Gültigkeit Drehimpulserhaltung (Eiskunstläuferin)	VSW1	Neu
KUTSCH-1	Kraftbegriff: Betrachtung der Gesamtkraft (Kutsche)	VSW2	NEU
KUGEL-3	Unelastischer Stoß: Geschwindigkeits- und Massenschwerpunkt Betrachtung (Zwei Kugeln stoßen)	UW	PP
BLUT-1	Strömungsmechanik: Bernoulli-Gleichung (Blutplättchen)	UW	Mazur inspiriert / Neu
KOOR-1	Pendel: Koordinatenbetrachtung (Dreifachpendel)	UW	Neu
DREH-1	Drehimpuls: Vektorielle Betrachtung des Drehimpulses (Tennisball)	UW	Mazur inspiriert / Neu
KUGEL-4	Fallbewegung: Betrachtung der Bahnkurve (Ballwurf aus dem Flugzeug)	SW	PP / FCl
KREIS-2	Drehbewegung: Betrachtung der Winkelgeschwindigkeit	UW	Mazur inspiriert / Neu
KONS-2	Kraftfelder: Betrachtung von unterschiedlichen Kraftfeldern	UW	Neu / Abb. Laurens Bolter
LAGR-1	Lagrange-Mechanik: Betrachtung von Zwangsbedingungen (Teilchen auf Kugeloberfläche)	UW	Neu
UNGED-1	Pendel: Bewegungsgleichung	VSW1	PPP
ENE-3	Energieerhaltungssatz: Herleitung	VSW1	Neu
PENDEL-4	Federpendel: Betrachtung der Einflussgrößen	SW	PPP
PROJE-1	Kinematik: Betrachtung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung (Abschluss eines Projektils)	SW	PP
PENDEL-5	Federpendel: DGL des Federpendels	UW	PP
ROT-1	Drehbewegung: Beschreibung des Drehmoments	UW	PP
PUCK-1	Kinematik: Zusammenhang Geschwindigkeit, Masse und Beschleunigung (Pucks rutschen über Eis)	SW	ECl

Tab. 2 Übersicht der verwendeten Testitems im Fachwissenstest

Fachwissensdimensionen (Dim)

SW: Schulwissen
VSW: Vertieftes Schulwissen
UW: Unverståtes Wissen

Itemursprung (Ursprung)

PP: Items aus dem Profile-P Pool
NEU: Neu entwickeltes Item
FCl: Force Concept Inventory
(Mazur, 2017)
ECl: Energy Concept Inventory
(Schwackhammer et al., 2005)
Mazur: Aufgabenkatalog Mazur
(Mazur, 1997)

7.3 Dimensionalität des Fachwissensinstruments

Wie im vorangegangenen Kapitel bereits angedeutet, stammt der eingesetzte Fachwissenstest in seiner ursprünglichen Form aus der ersten Phase des Profile-P-Projekts. Darauf aufbauend ist die aktuell eingesetzte Version ähnlich zusammengesetzt und verfolgt eine ähnliche Aufteilung in die Dimensionen schulisches Wissen, vertieftes Schulwissen und universitäres Wissen. Diese konnten schon in der ersten Phase als empirisch trennbare Dimensionen verstanden (Gigl et al., 2015) werden und sollen nun weiteren Untersuchungen unterzogen werden. Gleichzeitig stellt diese Aufteilung kein Novum in der Forschung dar, sondern ist ähnlich zu Vorarbeiten von Riese (2009) und Woitkowski (2015) angelegt. Gleichzeitig ist eine Aufteilung des Fachwissens in mehrere Dimensionen nicht nur in der Physik üblich, wie in [Kapitel 2.4](#) dargelegt wurde. Insbesondere die Facette des vertieften Schulwissens findet sich in verschiedenster Form in der Modellierung von Fachwissen wieder und scheint von besonderer Bedeutung für das Professionswissen einer Lehrkraft zu sein ([Kapitel 2.4.1](#)). Den genannten Vorarbeiten folgend ist auch in der aktuellen Version des Instruments zur Erhebung des fachlichen Wissens eine Dreiteilung vorgenommen worden, um das Fachwissen differenziert auflösen zu können. In der fachdidaktischen sowie der psychologischen Forschung wird dabei immer wieder deutlich, dass vernetztes bzw. vertieftes Wissen von großer Bedeutung ist ([Kapitel 3.1](#)). Dieser Erkenntnis wird insbesondere mit den Items zu vertieftem Schulwissen Rechnung getragen. Aber auch die Items der Fachwissensdimensionen Schulwissen und vertieftes Schulwissen fragen nicht nach reinem Faktenwissen, sondern zielen darauf ab, das Verständnis zu beispielsweise Konzepten zu erheben. Im Verbundprojekt besteht mit den vorgestellten Testinstrumenten darüber hinaus die Möglichkeit, die Verbindung verschiedener Fachwissensdimensionen und der Anwendungssituation wie dem Erklären, Planen und Reflektieren zu untersuchen.

Die Aufteilung des fachlichen Wissens in drei Dimensionen ist jedoch anders als bei Riese (2009) nicht als Niveaustufen zu verstehen. Es handelt sich vielmehr um trennbare Dimensionen eines übergeordneten Konstrukts, die aufgrund ihrer inhaltlichen Ausgestaltung einen Überlapp besitzen können (Abb. 8).

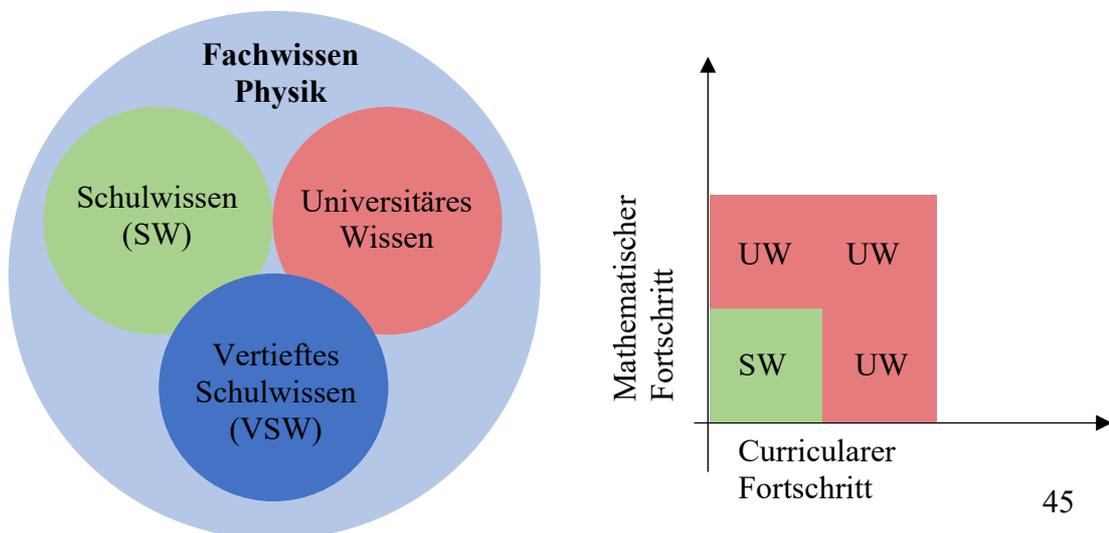
Die ersten beiden Fachwissensdimensionen können curricular definiert werden und sind damit inhaltlich den jeweiligen Bildungsinstanzen zugeordnet.

Zusätzlich zur inhaltlichen Dimension können Items der beiden Facetten universitäres Wissen (UW) und schulisches Wissen (SW) über mathematische Modellierung getrennt werden (Abb.8, rechts). Die Trennung der Items kann gut an folgendem Beispiel deutlich gemacht werden. Man stelle sich ein Item zum Lagrange-Formalismus vor. Dieses Item ist inhaltlich nicht Teil des schulischen

Curriculums, damit würde es auf der Abszisse (Abb. 8, rechts) aufgrund seiner inhaltlichen Beschaffenheit dem universitären Wissen zugeordnet werden. Darüber hinaus benötigt der Lagrange-Formalismus eine mathematische Beschreibung bzw. Modellierung, die ebenfalls nicht Teil der schulischen Ausbildung ist. Das Item liegt aufgrund seiner komplexen mathematischen Modellierung, die nicht mehr Teil des schulischen Curriculums ist, also auch auf der Ordinate eindeutig im universitären Bereich. Damit kann das Item insgesamt eindeutig dem universitären Wissensbereich zugeordnet werden.

Es sind jedoch auch andere Fälle vorstellbar. So wäre es denkbar, dass ein Item inhaltlich der Schule zugeordnet wird, so z.B. eines zur Impulserhaltung. Dieser Inhalt ist ganz klar Teil des schulischen Curriculums. Für die mathematische Modellierung kann es nun aber sehr unterschiedliche Ansätze geben. So könnte das Item beispielsweise eine komplexe mathematische Modellierung wie eine Differentialgleichung beinhalten. Damit wäre es auf der Abszisse, also der inhaltlichen Ebene, zwar der Schule, mathematisch aber dem universitären Bereich zuzuordnen. Folgt man Abb. 8 so stellt man fest, dass ein solches Item dem universitären Wissen zugeordnet werden würde. Für Items des schulischen Wissens gilt damit im Umkehrschluss, dass sie eindeutig inhaltlich und mathematisch dem Schulwissen zugeordnet werden. Universitäre Wissensitems benötigen hingegen, wie dargestellt wurde, nur eine komplexe mathematische Modellierung (Abb. 8). Das genannte Beispiel zur Impulserhaltung macht deutlich, dass die Items zwar mittels eines Kodiermanuals eindeutig trennbar sind, aber zugleich einen inhaltlichen Überlapp besitzen können. Diese Trennbarkeit ist in Abb. 8 über die distinkten Kreise symbolisiert. Zugleich wird damit offenkundig, dass die Abbildung jedoch nicht dem Umstand gerecht wird, dass es inhaltliche Überschneidungen geben kann. Die Trennbarkeit der Items insgesamt wurde in einem Expertenrating überprüft. Dazu erhielten die Experten ein Kodiermanual mit dem eine sehr gute Übereinstimmung mit $K = 0.95^{***}$ erzielt wurde.

Abb. 8 Übersicht der verwendeten Testitems im Fachwissenstest



Da es sich, wie bereits betont, bei den Items zum Schulwissen und universitären Wissen um inhaltlich definierte Items handelt, wurde zusätzlich mittels Lehrbuchanalysen die inhaltliche Validität dieser Items bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung finden sich in [Kapitel 7.5.2](#).

Die Dimension des vertieften Schulwissens (VSW) ist dagegen über seine Operation definiert. Angelehnt an die Vorarbeiten von Gigl et al. (2015) sowie Riese (2009) befassen sich die Items zu dieser Facette maßgeblich mit drei Operationen:

1. Herleitungs- und Lösungsansätze identifizieren (VSW1),
2. Umgang mit Modellgrenzen (VSW2),
3. Identifizieren von Unterschieden und Gemeinsamkeiten physikalischer Entitäten (VSW3).

Bereits an der Formulierung der Operationen des vertieften Schulwissens lässt sich gut erkennen, dass es sich beim vertieften Schulwissen nicht um eine curricular definierte Dimension des Fachwissens handelt. Im Gegensatz zum schulischen und universitären Wissen sind diese Operationen theoretisch begründeter Natur ([Kapitel 2.4.1](#)) und gehen von besonderer Bedeutung für das Professionswissen von Lehrkräften aus. Gleichzeitig ist das vertiefte Schulwissen kein expliziter Teil des Lehramtsstudiums oder der schulischen Ausbildung. Inhaltlich ist das vertiefte Schulwissen zwar dem schulischen Wissen näher, es ist jedoch nicht über seine Inhalte definiert. Vielmehr soll der Begriff des vertieften Schulwissens deutlich machen, dass es sich um Wissen von besonderer Bedeutung für die Vermittlung von Schulstoff handelt und damit bedeutsam für den Lehrer:innenberuf ist. Dennoch handelt es sich aus theoretischer Sicht nicht um fachdidaktisches Wissen, sondern Wissen rein fachlicher Natur, so wie in [Kapitel 2.4.1](#) beschrieben. Aufgrund seiner theoretischen Definition über Operationen ist es also durchaus möglich, dass vertieftes Schulwissen sowohl inhaltliche Teilbereiche des universitären als auch schulischen Wissens gleichzeitig tangiert. So wäre es für das vertiefte Schulwissen nicht relevant, ob es sich um ein in der schulischen Ausbildung genutztes Modell handelt oder um ein rein universitär vermitteltes. Vielmehr ist entscheidend, dass ein sicherer Umgang mit Modellgrenzen besteht, was die Operationen als zuordnendes Merkmal zum vertieften Schulwissen betont. Die definierten Operationen sind vor allem für die Zuordnung wichtig. Mit der innerhalb dieser Arbeit an die gängige Theorie angelehnten Praxis einer Dreiteilung des Fachwissens ist jedoch allgemein nicht ausgeschlossen, dass es weitere Fachwissensdimensionen gibt. Das geschlossene Multiple-Choice-Format des Tests ist aber explizit auf die drei postulierten Dimensionen ausgerichtet.

7.4 Allgemeine Hinweise zu Testgütekriterien

Um einen Test und die damit verbundenen Ergebnisse sinnvoll interpretieren zu können, müssen zentrale Qualitätskriterien eingehalten werden (Döring & Bortz, 2016; Krüger et al., 2014; Rost, 1996). Diese auch Testgütekriterien genannten Merkmale eines Testinstruments gliedern sich in die drei Bereiche Objektivität, Reliabilität und Validität (Döring & Bortz, 2016). Im folgenden Abschnitt sollen sie in den Blick genommen werden um so die Grundlage für die im Rahmen der Studie durchgeführten Untersuchungen der Testgütekriterien im Ergebnisteil untersuchen zu können.

Begonnen sei mit der Objektivität, welche in Bezug auf ein spezifisches Testinstrument gewährleisten soll, dass mehrere auswertende Personen zum selben Ergebnis kommen und somit Auswertesubjektivität keine Rolle mehr spielt. Insbesondere computerbasierte Auswerteverfahren eignen sich besonders gut zur Einhaltung dieses Gütekriteriums, da von der Maschine stets dieselben Entscheidungsregeln zur Bewertung der Testergebnisse genutzt werden. Würde man das betreffende Auswerteprogramm auf einem anderen Rechner laufen lassen, käme es beim selben Dateninput zum selben Ergebnis. Jedoch eignet sich nicht jeder Input für dieses Auswerteverfahren. Während innerhalb eines Multiple-Choice-Formats die Antworten vorgegeben sind und der Rechner lediglich die gesetzten Kreuze erkennen muss, ist dieses Vorgehen bei offenen Aufgabenformaten nahezu ausgeschlossen. In diesem Fall müssen die offenen Aufgaben mit einem Kodiermanual von Hand ausgewertet werden (Krüger et al., 2014). Das Codier-Manual stellt dabei sicher, dass alle auswertenden Personen zum selben Urteil kommen (Döring & Bortz, 2016). Aber nicht nur für das Codieren der offenen Aufgaben wird ein Manual benötigt. Um die Durchführungsobjektivität, eine Unterform des Testgütekriteriums Objektivität, zu gewährleisten, sollte ebenfalls ein Manual genutzt werden, um möglichst vergleichbare Testbedingungen zu erhalten (Döring & Bortz, 2016; Krüger et al., 2014). Neben der beschriebenen Auswerte- und Durchführungsobjektivität gilt es auch, die Interpretationsobjektivität in den Blick zu nehmen, indem die Ergebnisse des Tests beispielsweise mit anderen Forschungsergebnissen bzw. gängigen psychometrischen Kennwerten verglichen werden (Döring & Bortz, 2016).

Neben der Objektivität stellt die Reliabilität ein entscheidendes Gütekriterium dar, das auf die Verzerrung durch einen möglichen Messfehler eingeht. Anders gesagt geht es um die Bestimmung und Einhaltung der Messgenauigkeit. Als Grundlage für die Reliabilität wird die Objektivität gesehen. Um dies zu gewährleisten muss insbesondere auf verschiedene Punkte hinsichtlich der Testerstellung geachtet werden. So sollten die Aufgaben verständlich formuliert sein. Bei einer mehrfachen

Durchführung sollten vergleichbare Ergebnisse produziert werden und mittels der Retest-Reliabilität überprüft werden (Döring & Bortz, 2016). Die Retest-Reliabilität beschreibt hier die hohe Korrelation des Testwerts einer Testperson über zwei Messzeitpunkte unter Verwendung desselben Testhefts.

Die Bestimmung der Reliabilität erfolgt überwiegend empirisch. Bestimmt wird das Verhältnis zwischen der Varianz der wahren Werte und den beobachteten Messwerten (Dorsch et al., 2017). Als ein gängiges Maß für die Reliabilität bzw. für die interne Konsistenz eines Tests innerhalb der klassischen Testtheorie wird beispielsweise Cronbachs Alpha genutzt (Moosbrugger & Kelava, 2012). Um die Reliabilität eines Tests nach der Konstruktion zu erhöhen, bieten sich verschiedene Möglichkeiten an. So können äußere Kriterien zum Anschluss von Items angelegt werden, wie z.B. die einer schlechten Trennschärfe (Döring & Bortz, 2016).

Insgesamt ist der Aspekt der Reliabilität von großer Bedeutung für die Aussagekraft der Ergebnisse. Als Hauptgütekriterium wird jedoch die Validität gesehen und soll daher in theoretischer Form im Anschluss diskutiert werden.

7.5 Validierung von Testinstrumenten

Validität baut auf die Objektivität und Reliabilität auf und gibt an „ob ein Test misst, was er messen soll“ (Moosbrugger & Kelava, 2012, S.144). Die eigentliche Diskussion um den Begriff der Validität bzw. der Validierung von Testinstrumenten blickt auf eine lange Tradition mit verschiedenen Ausprägungen hinsichtlich des Verständnisses der Begrifflichkeiten zurück (Newton, 2013). Die vorliegende Arbeit kann dabei kaum leisten, die Geschichte nachzuzeichnen. Es soll vielmehr das dieser Arbeit zugrundeliegende Validitätsverständnis nach Kane (2013) überblicksartig dargestellt werden. Ende der 80er Jahre prägt insbesondere Samuel Messick (1989) die Neuausrichtung des Validitätsbegriffs. Er nimmt die Messung als solche wieder stärker in den Blick und postuliert ein umfangreiches Verständnis von Validität, bei der logisches und ethisches Handeln maßgeblich sind. Mit seiner Forderung nach umfangreichen und z.T. schwer umsetzbaren Validitätsuntersuchungen gelingt es insbesondere Michael Kane den Prozess der Validierung in verständliche Teilschritte zu pressen (Kane, 2013; Newton, 2013). Dieser Ansatz ist damit deutlich einfacher anwendbar auf verschiedenste Forschungsvorhaben und fokussiert auf einen argumentativen Prozess der Testwertinterpretation und weniger auf die Testscores als solche. Dieser argumentative Prozess ist sehr stark an dem Argumentations-schema von Stephen Toulmin orientiert (vgl. Kane, 2013; Toulmin, 2003), bei dem es einen klar definierten Ablauf gibt. Dabei folgt auf ein Argument eine Schlussfolgerung, die mittels einer Schlussregel und deren Stützung belegt wird,

wobei eine mögliche Ausnahmebedingung der Schlussfolgerung entgegenstehen sollte. Dies lässt sich besonders gut mit einem Beispiel zu einem spezifischen Validierungsaspekt erläutern. Ein Student nimmt an einem Fachwissenstest für das universitäre Physikfachwissen teil. Dabei erzielt er eine bestimmte Punkteleistung, die wir unter der notwendigen Voraussetzung einer reliablen Messung als Fakt annehmen. Zur Erinnerung: Reliabilität ist eine notwendige Voraussetzung für Validität. Nun wollen wir aus der Punktesumme die Schlussfolgerung ziehen, dass die Punktesumme ein gutes Maß für das universitäre Fachwissen des Studierenden ist. Damit es sich dabei um eine valide Interpretation handeln kann, muss unsere erwogene Schlussfolgerung mit Stützung versehen und durch eine Schlussregel eingeschränkt werden. Wir könnten beispielsweise mit einer Lehrbuchanalyse oder Skriptanalyse hinsichtlich der universitären Fachwissenselemente Evidenz dafür aufzeigen, dass wir tatsächlich mit dem Fachwissenstest das universitäre Wissen, welches wir auch in den Lehrbüchern finden, testen. Die Stützung könnte sich zum einen auf die Auswertemethode der Lehrbuchanalyse oder die Auswertung des Tests beziehen, in dem wir Argumente für die wissenschaftliche Vorgehensweise aufzeigen. Ein Beispiel wäre hier die Verwendung von Standardwerken der universitären Physikausbildung oder das Nutzen einer bestimmten Analysemethode, die unsere Schlüsse untermauert. Als Schlussregel könnte beispielsweise gesehen werden, dass der Studierende auch anderes Wissen zur Lösung der Aufgabe hätte verwenden können. Dies könnte man in einer weiteren Untersuchung genauer in den Blick nehmen. Mit diesem von Michael Kane (2013) vorgeschlagenen und stark an das Argumentationsschema von Toulmin (2003) angelehnte Validierungsverfahren wird schnell deutlich, dass ein Testinstrument nicht global als valide angesehen werden, sondern nur hinsichtlich verschiedener Validitätsaspekte und damit seiner Interpretation untersucht werden kann. Vielmehr müssen im Rahmen von Validitätsuntersuchungen in vielen Einzelschritten verschiedene Interpretationsaspekte näher untersucht werden, so z.B. die Bewertung, die Verallgemeinerung oder Erklärung der Testergebnisse (Kane, 2001). Damit stellt die Validierung eine Sammlung von Argumenten dar, die die Kohärenz sowie Plausibilität und Klarheit der getroffenen Testwertinterpretationen stützen (Kane, 2013). Aber nicht nur im Umgang mit den Ergebnissen eines Testinstruments sollten Validitätsuntersuchungen eine bedeutsame Rolle spielen. Auch bei der Konstruktion von Testinstrumenten ist die inhaltliche Validierung wichtig. So muss beispielsweise für einen Schulleistungstest dringend überprüft werden, ob die ausgewählten Testaufgaben auch den zu prüfenden Inhalt abdecken (Döring & Bortz, 2016). Soll ein bestimmtes Konstrukt mit dem Testinstrument erhoben werden, sollte auch dies in einer Untersuchung, z.B. mittels der Think-Aloud-Methode, erhoben werden (Krüger et al., 2014). Für den im Rahmen dieser Arbeit erstellten und verwendeten Fachwissenstest ergeben sich daher zahlreiche zu vollziehende Validierungsschritte,

die sich jedoch erst mit den konkreten Forschungsfragen näher in den Blick nehmen lassen.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass neben den Hauptgütekriterien auch Nebengütekriterien existieren, die bei der Testkonstruktion Berücksichtigung finden. Darunter fallen die Normierung, Vergleichbarkeit, Ökonomie, Nützlichkeit, Zumutbarkeit, Fairness und Nicht-Verfälschbarkeit (Bühner, 2011).

7.6 Validitätsuntersuchungen zum Fachwissenstest

Wie im [Kapitel 7.5](#) angesprochen sind vor der Interpretation der Testergebnisse zahlreiche Validierungsschritte notwendig. Dazu ist es sinnvoll, die Forschungsfragen näher in den Blick zu nehmen um festzulegen, welche Schritte zu gehen sind. Insbesondere die erste Forschungsfrage, die die Grundlage für die darauf aufbauenden Forschungsfragen darstellt, gilt es detailliert abzuhandeln. Insofern stellt der folgende Abschnitt einen Vorgriff auf die Beantwortung der eigentlichen Forschungsfrage in [Kapitel 9](#) dar. Dort erfolgt dann lediglich eine knappe Zusammenfassung mit dem Verweis auf das vorliegende Kapitel.

Mit der Forschungsfrage wird die Frage danach gestellt, ob es sich bei dem aufgestellten dreidimensionalen Modell um ein empirisch valides Modell zur Erfassung des fachlichen Wissens von angehenden Physiklehrkräften handelt. Im Grunde geht es, dem Verständnis von Kane (2013) folgend, jedoch darum zu untersuchen, welche Interpretationen für die erzielten Testscores zulässig sind. Im Rahmen dieser Arbeit ergeben sich dabei drei Fragen:

1. Handelt es sich bei den gewählten Items zum schulischen und universitären Wissen um repräsentative Items für physikalische Fachwissensinhalte der Schule bzw. der Universität?
2. Handelt es sich bei den Inhalten des Fachwissenstest um beruflich relevante Inhalte für Standardsituationen einer Lehrkraft wie das Erklären, Planen oder Reflektieren?
3. Nutzen Studierende spezifische Elemente der Fachwissensfacetten zur Lösung der Items und können die Testscores somit als Maß für das Schulwissen, vertiefte Schulwissen sowie das universitäre Wissen verstanden werden?

Mit positiver Evidenz für die erste Frage ist die Interpretation der Scores des schulischen bzw. universitären Wissens als tatsächlich relevantes Fachwissen innerhalb der Schule und der Universität zulässig. Dazu ist es notwendig zu untersuchen, ob es Deckungsgleichheit der Testitems zu schulischen bzw. universitären Inhalten gibt, um sicherzustellen, dass Inhalte auch tatsächlich universitäres bzw. schulisches Wissen erheben. Mit Evidenz für die zweite Frage kann der Testscore als Ausdruck beruflich relevanten Fachwissens interpretiert werden. Dies ist insbesondere auch im Zusammenhang zum Gesamtprojekt Profile-P+ zu untersuchen, da im späteren Verlauf Zusammenhänge zu beruflich relevanten Situationen aufgezeigt werden sollen. Liegen positive Hinweise für die dritte Frage vor, kann zusätzlich sichergestellt werden, dass der erreichte Testscore darüber hinaus auch mit den intendierten Wissensinhalten bzw. Operationen gelöst wurde und somit eine Interpretation des Scores zum vertieften Schulwissen auch tatsächlich als vertieftes Schulwissen der Proband:innen verstanden werden kann. Um also Evidenzen hinsichtlich der drei genannten Punkte für die Validität des Testinstruments bzw. der Interpretation der Ergebnisse zu finden, ist es notwendig, drei getrennte Untersuchungen durchzuführen. Diese sollen nun im Folgenden vorgestellt werden.

7.6.1 Inhaltliche Überprüfung – Lehrbuchanalyse

Handelt es sich bei den gewählten Items zum schulischen- und universitären Wissen um repräsentative Items für physikalische Fachwissensinhalte der Schule bzw. der Universität?

Mit der positiven Beantwortung dieser Frage kann der Score dieser beiden Fachwissensdimensionen als Ausprägung relevanten schulischen bzw. universitären Wissens, also solcher Inhalte verstanden werden, die in den jeweiligen Einrichtungen vermittelt bzw. gelernt werden.

Um diese Interpretation zu ermöglichen, wurden zwei Schritte unternommen. Zunächst wurden die Items mittels eines Manuals zugeordnet und im späteren Verlauf einem inhaltlichen Abgleich mit gängigen Lehrbüchern der Schule und der Universität unterzogen, um die curriculare Zuordnung sicherzustellen.

Der erste Schritt, also die Einteilung mittels eines Manuals, erfolgte auf zwei Ebenen.

Entscheidend für die Zuordnung der ersten zwei Dimensionen Schul- und universitäres Wissen sind hier zwei Aspekte. Zum einen der curriculare und zum

anderen der mathematische Fortschritt. Genauer bedeutet dies, dass für ein spezifisches Items geprüft wird, ob es Teil des schulischen Curriculums ist und welcher mathematischen Modellierung man sich bedient, um das Problem bzw. die Aufgabe zu beschreiben. Ein Item im Bereich der newtonschen Mechanik ist zwar inhaltlich Teil des schulischen Curriculums, kann sich aber höherer Mathematik, so z. B. Differentialgleichungen, bedienen. Eine solche mathematische Modellierung ist eher nicht Teil des schulischen Curriculums und kann daher der Dimension des universitären Wissens zugeschrieben werden. Die Zuordnung dieser Modellierungen zur Schul- bzw. Universitätsphysik erfolgte in Anlehnung der Empfehlungen der KFP (Konferenz der Fachbereiche Physik, 2011). Ein Item zur bernoullischen Druckgleichung wäre hingegen auf der mathematischen Ebene auch im schulischen Curriculum zu finden, inhaltlich findet es sich hingegen zumeist nicht in der Schule wieder. Es wäre damit ebenfalls der Dimension des universitären Wissens zuzuordnen. Items zum schulischen Wissen sind also eindeutig aufgrund ihrer geringeren mathematischen Anforderung und zugleich ihrer eindeutigen inhaltlichen Zuordnung zum Schulcurriculum zuzuordnen. Die Items zur Dimension des vertieften Schulwissens können ebenfalls mittels des beschriebenen Manuals zugewiesen werden. In diesem Fall sind sie jedoch nicht inhaltlich, sondern über die möglichen Lösungsschritte definiert, die in den Beschreibungen zur Dimensionalität des genutzten Fachwissenskonstrukts in [Kapitel 7.2.1](#) beschrieben werden. Die in diesem Abschnitt beschriebene Zuordnung wurde jedoch mittels des Manuals auch nochmals von 5 Experten durchgeführt und es wurde mit einem Cohens Kappa von .95 überaus zufriedenstellend zugeordnet. Wie die Überschrift dieses Abschnitts jedoch deutlich macht, wurden zusätzlich noch verschiedene Lehrbücher der Schule und Universität mittels einer Stichwortsuche hinsichtlich der verwendeten Inhalte untersucht. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da eine begründete Annahme besteht, dass die Schulbücher sowie die Lehrbücher der Universität die zu behandelnden Inhalte der jeweiligen Institutionen abdecken. So hängt die Zulassung der Schullehrbücher an der jeweiligen Zulassung der zuständigen Kultusministerien. Die Lehrbücher der Universität werden hingegen sehr häufig von den Vorlesenden selbst entwickelt. Für die Schule wurden exemplarisch vier Schulbücher überprüft (Appel, 2016; Barmeier, 2013; Grehn & Krause, 2015; *Impulse Physik*, 2013). Für die Universität wurden klassische Bücher der Experimentalphysik ausgewählt (Demtröder, 2006; Paus, 2007; Tipler et al., 2019). Da die Items bereits im Vorfeld nach den beschriebenen Kriterien ausgesucht bzw. entwickelt wurden, ergab sich auch für eine danach erfolgte Überprüfung eine sehr gute inhaltliche Übereinstimmung mit den exemplarisch ausgewählten Lehrbüchern. Dabei musste jedoch stets die mathematische Modellierung berücksichtigt werden, da es sonst zu den oben bereits beschriebenen Dopplungen gekommen wäre. Zur Erinnerung: bestimmte Inhalte können sowohl Teil der schulischen als auch universitären

Ausbildung sein, können aber über ihre mathematische Modellierung getrennt werden. Insgesamt ergab die vorliegende Untersuchung, dass Evidenz für die Interpretation der Scores des schulischen und universitären Wissens als Ausprägung relevanten schulischen bzw. universitären Wissens verstanden werden kann.

7.6.2 Untersuchung der beruflichen Relevanz – Interviewstudie

Handelt es sich bei den Inhalten des Fachwissenstests um beruflich relevante Inhalte für Standardsituationen einer Lehrkraft wie das Erklären, Planen oder Reflektieren?

Um diese Frage positiv beantworten zu können und damit die Scores der jeweiligen Fachwissensdimensionen als Ausprägung beruflich relevanten Wissens zu interpretieren, wurde eine Interviewstudie durchgeführt.

Wie in [Kapitel 2.1](#) beschrieben spielt das Fachwissen einer Lehrkraft eine entscheidende Rolle. Damit sollten auch die Inhalte und Prozesse des Fachwissenstests hinsichtlich der späteren beruflichen Tätigkeit relevant sein. Um diese Relevanz näher in den Blick zu nehmen, wurde im Rahmen der Masterarbeit von Marisa Pfläging untersucht, inwiefern Lehrkräfte die bereits länger als fünf Jahre im Schuldienst tätig sind, die Inhalte des eingesetzten Fachwissensinstruments als relevant einschätzen. Darüber hinaus wurde untersucht, wo diese Inhalte bzw. Prozesse erlernt wurden. Dazu wurden acht Lehrkräfte an fünf verschiedenen Brandenburger Gymnasien interviewt. Die Berufserfahrung der Teilnehmenden rangierte zwischen 17 und 40 Jahren im Schuldienst. Sechs der befragten Lehrkräfte führten darüber hinaus im Jahr der Befragung Physikunterricht im Bereich Mechanik durch. Den teilnehmenden Lehrkräften wurde zunächst eine Auswahl der Testitems vorgelegt. Diese sollten hinsichtlich ihrer Relevanz in Bezug auf die Planung, Durchführung und Reflexion von Physikunterricht eingeschätzt werden. Die Einschätzung erfolgte schriftlich mittels einer vierstufigen Likert-Skala, wobei 0 als irrelevant und 4 als sehr relevant gewertet wurde. Die Lehrkräfte mussten die Items dabei nicht lösen, sollten aber eine Einschätzung abgeben, ob sie sich in der Lage fühlen die Aufgaben lösen zu können, um so ein Maß für die Verlässlichkeit der gewählten Relevanzeinschätzung zu erhalten und weniger die Schwierigkeit als konfundiertes Merkmal zu erfassen. Im Anschluss wurden die Lehrkräfte befragt, wo sie das Wissen erworben haben, beispielsweise während des Studiums, während des Referendariats oder erst zu einem späteren Zeitpunkt im Berufsleben. Die Ergebnisse der Relevanzeinschätzung zeigen, dass die Items des Schulwissens ($M = 3,41$) sowie des vertieften Schulwissens ($M = 3,47$) im Mittel als relevant für

das Planen, Durchführen und Reflektieren von Unterricht eingeschätzt werden. Die Items des universitären Wissens werden hingegen als eher irrelevant ($M = 2,19$) eingestuft, wobei hier die Standardabweichung mit ($SD = 1.03$) im Vergleich zu den anderen Dimensionen ($SD_{sw} = 0.61$; $SD_{vsw} = 0.67$) relativ hoch ist. Es ist zunächst nicht verwunderlich, dass die Items des vertieften Schulwissens sowie des Schulwissens als relevanter eingeschätzt werden, da diese deutlich größere Nähe zum Schulcurriculum aufweisen. Insbesondere für das Schulwissen ist dies wie in [Kapitel 7.3](#) beschrieben bereits per Definition der Fall. Insofern spiegelt die Einschätzung der universitären Items als weniger relevant höchstwahrscheinlich auch die größere Distanz zum schulischen Curriculum im mathematischen und inhaltlichen Sinne wider. Es gilt jedoch zu beachten, dass die große Standardabweichung hinsichtlich der Relevanzeinschätzung der Items zum universitären Wissen auf eine größere Differenz zwischen den einzelnen Lehrkräften hinweist. Eine eindeutige Aussage lässt sich hier also nur schwer finden.

Zusätzlich zur Relevanzeinschätzung wurde in der Masterarbeit auch noch erhoben, wo die Lehrkräfte das betreffende Wissen erworben haben. Dabei wird für 43% der als relevant eingeschätzten Items der Lernort eigene Schule und 41% der Lernort Universität verbalisiert. Hier ist also ein relatives Gleichgewicht der Lernorte erkennbar. Nimmt man die als weniger relevant eingeschätzten Items in den näheren Blick, zeichnet sich jedoch ein anderes Bild. Dort fällt auf, dass für 48 % der Items, der Lernorte die Universität genannt wird. Dies ist jedoch nicht weiter verwunderlich, da bereits die in Bezug auf die Relevanzeinschätzung die Items zum universitären Wissen in der Tendenz als deutlich weniger relevant eingeschätzt werden. Sicherlich spielt für die gesamte Untersuchung sowohl die Anzahl der Dienstjahre als auch die durchlaufene Ausbildung eine entscheidende Rolle. So lässt sich beispielsweise vermuten, dass die Erinnerung über spezifische Lernorte nach 40 Jahren im Berufsleben nicht präzise ist. Darüber hinaus hat ein Teil der Stichprobe seine Ausbildung zur Lehrkraft in der DDR absolviert und damit ein anderes System als das heutige Lehramtsstudium durchlaufen. Zugleich gibt es keine Hinweise darauf, wie die Lehrkräfte ihren Unterricht gestalten, denn die damit zusammenhängenden Vor- und Einstellungen könnten maßgeblichen Einfluss auf mögliche Relevanzeinschätzungen haben.

Zusammenfassend kann man mit dem Blick auf den Zweck dieser Untersuchung sagen, dass insbesondere Inhalte des Schulwissens und vertieften Schulwissens als beruflich relevant eingeschätzt werden und dieses Wissen zu nahezu gleichen Anteilen in der Hochschule wie auch in der Schule erworben wurde. Die Items zum universitären Wissen werden insgesamt als weniger relevant eingeschätzt und die Inhalte wurden zumeist in der Hochschule erworben. Damit kann man in Bezug auf das Testinstrument zur Erhebung des fachlichen Wissens insgesamt sagen, dass die

ersten beiden Facetten Schulwissen (SW) und vertieftes Schulwissen (VSW) beruflich relevantes Wissen erfassen, wohingegen das universitäre Wissen nur eine geringe direkte berufliche Relevanz aufweist. Insgesamt können die erzielten Scores der jeweiligen Fachwissensdimensionen als Ausprägung beruflich relevanten Fachwissens interpretiert werden. Es sollte dennoch nicht außer Acht gelassen werden, dass die universitären Inhalte der künftigen Lehrkraft ein breiteres Fundament bzw. tieferen Zugang zum fachwissenschaftlichen Anteil der Physik ermöglichen.

In einer weiteren Untersuchung wurden zusätzlich die Begründungen der Teilnehmenden in den Blick genommen, um die Entscheidung hinsichtlich der Relevanz besser einschätzen zu können. Dabei wurden erneut die Items der verschiedenen Facetten in den Blick genommen. Die in der Tendenz als relevant eingeschätzten Items des Schulwissens werden von 90% der Lehrkräfte aufgrund ihrer inhaltlichen Relevanz in der Schule als relevant eingeschätzt. Darüber hinaus geben 35% zusätzlich an, dass der Inhalt der Items wichtig für das Planen von Physikunterricht sei. Die ebenso als in der Tendenz relevant eingeschätzten Items des vertieften Schulwissens werden von 80% der befragten Lehrkräfte aufgrund ihres Inhalts als relevant eingeschätzt. Interessant ist darüber hinaus, dass die Items des vertieften Schulwissens (VSW), welche hinsichtlich des Erkennens von Lösungs- und Herleitungsansätzen konzipiert wurden, auch genau aus diesem Grund, nämlich dem Beinhalten von wichtigen Lösungsansätzen, von allen Lehrkräften als relevant eingeschätzt werden. Ähnlich sieht es bei Items des VSW im Bereich des Erkennens von Modellgrenzen aus. Hier begründen 55% der Lehrkräfte die Relevanz mit dem Beinhalten von Modellgrenzen. Die in der Interviewstudie ausgesuchten Items zum VSW scheinen damit gut den intendierten Prozess abzudecken. Die Ergebnisse sollten zugleich jedoch mit Vorsicht interpretiert werden, da es sich innerhalb der Interviewstudie nur um eine Teilauswahl der Items handelt. Für die Items des universitären Wissens, welche im Mittel als eher irrelevant eingeschätzt wurden, war die deutlichste Begründung die große inhaltliche Distanz zu schulischen Inhalten. Zugleich wurde angegeben, dass insbesondere aufgrund der mathematischen bzw. physikalischen Formulierung, also durch die Verwendung von Formeln oder Formelzeichen, die Aufgabe als weniger relevant eingeschätzt wurde. Gleichzeitig gaben 30% der Lehrkräfte an, den Inhalt als relevant hinsichtlich eines breiten Hintergrundwissens zu empfinden. Dies deckt sich also mit den bereits beschriebenen Forderungen der KFP. Wie bereits bei der eingangs vorgestellten Befundlage zur reinen Relevanzeinschätzung gehen auch hier die Begründungen in Bezug auf die verschiedenen Items des UW stark auseinander.

7.6.3 Untersuchung der Lösungsinhalte sowie Lösungsprozesse - Think-Aloud-Studie

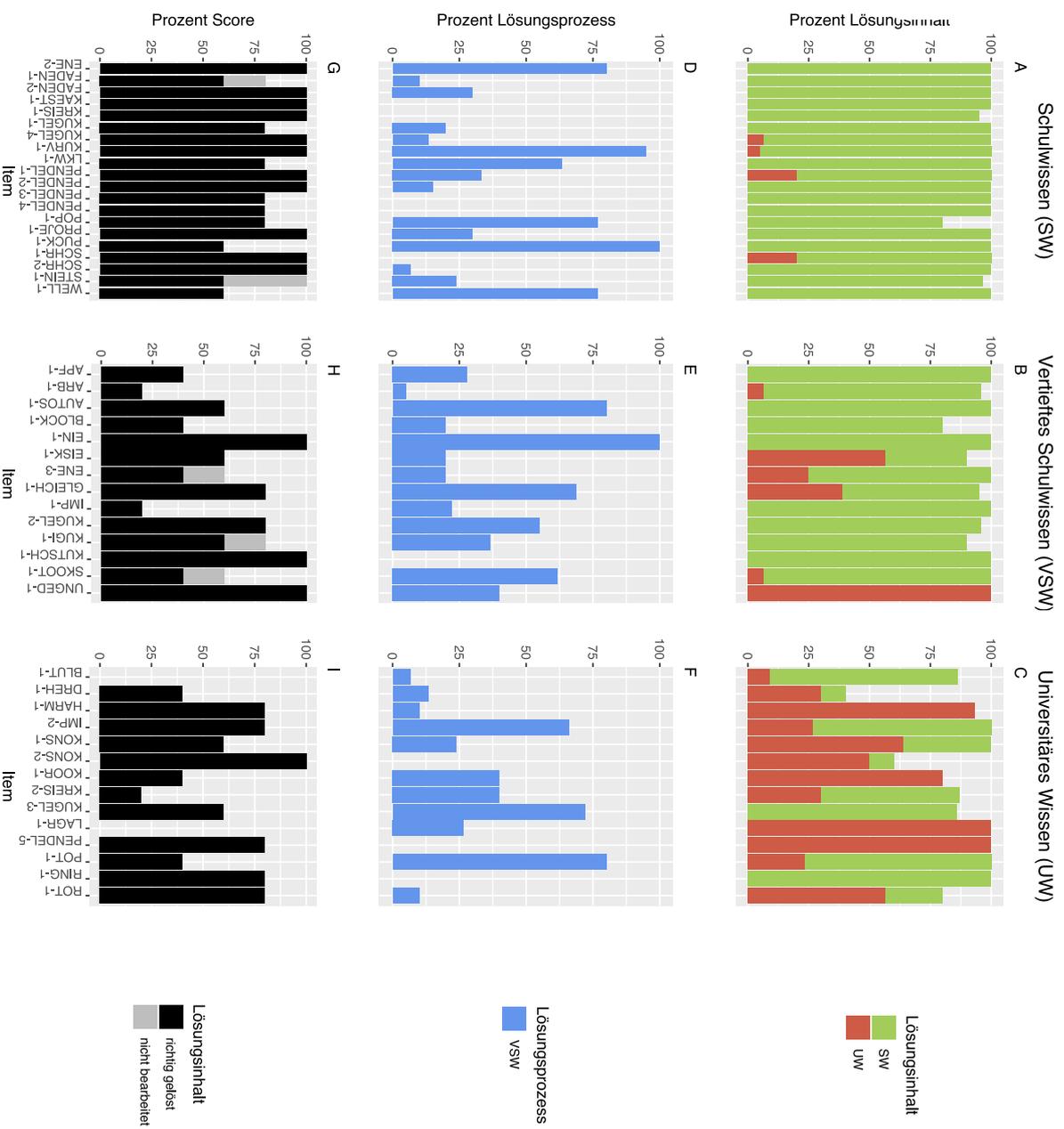
Nutzen Studierende spezifische Elemente der Fachwissensfacetten zur Lösung der Items und können die Testscores somit als Maß für das Schulwissen, vertiefte Schulwissen sowie das universitäre Wissens verstanden werden?

Bei den im vorangegangenen [Kapitel 7.6.1](#) untersuchten Dimensionen es Schul- und universitären Wissens handelt es sich um curricular definierte und validierte Konstrukte. Die Dimension des vertieften Schulwissens ist hingegen über seine Operation definiert (siehe [Kapitel 7.3](#)). Um also im späteren Verlauf der Untersuchung Aussagen darüber zu treffen, ob die theoretisch definierten und intendierten Operationen von den Teilnehmenden auch tatsächlich angewendet wurden, müssen die Lösungsprozesse näher in den Blick genommen werden. Nur so kann gewährleistet werden, dass auch das vertiefte Schulwissen angewendet wird. Gleichzeitig muss diese Überprüfung auch für die übrigen Fachwissensfacetten erfolgen. Damit wäre ein weiterer Schritt zu Interpretation der Testscores als Ausprägung der jeweiligen Fachwissensfacetten unternommen. Als eine gute Methode für die Überprüfung von Lösungsoperationen bietet sich die Think-Aloud-Methode an (Krüger et al., 2014). In diesem Verfahren werden die Teilnehmenden dazu aufgefordert, während der Bearbeitung des Testinstruments sämtliche Gedanken auszusprechen. Diese werden dann aufgezeichnet und im Anschluss mit Hilfe eines inhaltsanalytischen Prozesses ausgewertet. Hier bietet sich beispielsweise die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring an (Mayring, 2016). In der vorliegenden Studie konnten fünf Probanden gewonnen werden, die sich bereiterklärten, an der Studie teilzunehmen. Eine teilnehmende Person musste aus dem Datensatz entfernt werden, da die Lösungsprozesse und Inhalte häufig nicht verbalisiert wurden. Die verbliebenen Probanden waren alle männlich, im Durchschnitt im 8. Fachsemester und 23.2 Jahre alt. Um sicherzustellen, dass alle Gedanken verbalisiert werden, bekamen die Teilnehmenden zunächst eine kurze Einführung in die Think-Aloud-Methodik, bearbeiteten ein beispielhaftes Testitem und wurden während der Durchführung im Falle von längeren Gesprächspausen höflich aufgefordert, weiter ihre Gedanken zu verbalisieren. Die verbalen Äußerungen wurden dabei mittels eines Diktiergeräts aufgezeichnet und im späteren Verlauf transkribiert, um die Daten für die Think-Aloud-Studie zugänglich zu machen. Die verwendete Methode konnte in diesem Zusammenhang jedoch nicht nur zur Überprüfung der Lösungsoperationen in Bezug auf das vertiefte Schulwissen genutzt werden, sondern lieferte weitere Anhaltspunkte darüber, welches Wissen bzw. welche Inhalte zur Lösung der Items im Bereich des Schul- und universitären Wissens genutzt wurden.

Die Ergebnisse sehen dabei recht zufriedenstellend aus (Abb. 8). Während die Spalten jeweils die Dimensionen des Fachwissens darstellen, unterscheiden die Zeilen zwischen Lösungsinhalten, Lösungsprozessen und dem erzielten Score. Zur besseren Verständlichkeit sei hier ein Beispiel vorgestellt. Das Item ENE-2, zu finden in der untersten Zeile (Plot G), befindet sich in der ersten Spalte des Gesamtdiagramms und ist damit ein Item des schulischen Schulwissens. Für die Lösung des Items wurden von allen Proband:innen nur Inhalte des schulischen Wissens genutzt (Plot A), wobei mehr als 75% der Lösungsprozesse als Prozesse des vertieften Schulwissens verstanden werden können (Plot D). Das Item wurde von allen Probanden richtig gelöst (Plot G).

Auf den ersten Blick fällt auf, dass insbesondere Items aus dem Bereich des Schulwissens (Plot A) auch mittels dieses Wissens gelöst wurden (Plot G). Bei den Items im Bereich des universitären Wissens ist eine deutlich durchmischtere Anwendung von Fachwissenselementen zu erkennen (Plot C). Es ist jedoch ersichtlich, dass für eine Vielzahl der Items ein positiver Zusammenhang zwischen dem Lösen (Plot I) des Items und der Anwendung von universitären Wissenselementen besteht. Besonders starke Abweichungen von diesem Zusammenhang stellen die Items LAGR-1 und RING-1 dar. Das Item LAGR-1 ist, wie der Titel bereits vermuten lässt, ein Item mit dem Inhalt des Lagrange-Formalismus und liegt daher inhaltlich eindeutig im universitären Bereich. Mit Blick auf die verwendeten Wissens Elemente der Probanden stellt man fest, dass zwar ausschließlich universitäre Wissens Elemente verwendet wurden, die Aufgabe dennoch nicht gelöst wurde. Für den Test insgesamt ließ sich beobachten, dass die Aufgabe eine sehr geringe Lösungswahrscheinlichkeit besaß und damit als sehr schwer eingestuft werden kann. Das heißt, dass die Aufgabe eher ein Problem hinsichtlich ihrer Schwierigkeit und weniger hinsichtlich ihrer inhaltlichen Ausgestaltung darstellt. Die Aufgabe RING-1, welche von den Probanden ausschließlich mit Schulwissen bearbeitet wurde, wurde hingegen aus der abschließenden Auswertung entfernt, da hier durch eine unsaubere Formulierung ein fachlicher Fehler zustande kam. Die große Abweichung vom intendierten Inhalt fällt daher nicht ins Gewicht. Aufgrund der Gestaltung der Items ist insgesamt eine Durchmischung von zur Lösung angewendeten Fachwissenselementen nicht verwunderlich, da das Schulwissen durchaus eine Teilmenge des universitären Wissens darstellt.

Abb. 9 Grafische Darstellung der Ergebnisse zur Think-Aloud Untersuchung



Wie in [Kapitel 7.3](#) beschrieben, können Inhalte beispielsweise deckungsgleich sein, sich aber durch ihre mathematische Modellierung deutlich unterscheiden. Besitzt der Proband das nötige Wissen hinsichtlich der mathematischen Modellierung nicht, so kann es durchaus möglich sein, dass er auf Inhalte des Schulwissens zurückgreift und die Aufgabe mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit löst. Die Zuordnung zu den beobachteten Lösungsinhalten stellt somit kein hartes Validitätskriterium dar. Für die Aufgaben des vertieften Schulwissens gilt es insbesondere, auf den Lösungsprozess zu schauen. Betrachtet man lediglich die verwendeten Lösungsprozesse (Plot E), so scheinen nur mit wenigen Ausnahmen vollumfänglich Prozesse des vertieften Schulwissens verwendet zu werden. Bringt man die Prozesse jedoch mit dem Anteil der richtigen Lösungen in Beziehung, stellt man eine deutliche Korrelation fast aller Items zwischen Lösung des Items und dem Verwenden von vertieftem Schulwissen fest. In anderen Worten, hat ein Proband vertieftes Schulwissen zur Lösung der Aufgabe genutzt, kam er mit einer höheren Wahrscheinlichkeit zu einer richtigen Lösung. Einschränkend ist hier zu erwähnen, dass die Ergebnisse sich nicht auf einzelne Probanden beziehen und somit handelt es sich bei der zuvor gemachten Aussage um ein Beispiel. Lediglich die Aufgabe KUTSCH-1 stellt eine Ausnahme für diesen Zusammenhang dar. Diese Aufgabe wurde von nahezu allen Probanden grafisch gelöst und konnte daher nicht dem vertieften Schulwissen zugeordnet werden. Insgesamt stellt der ausgeprägte Zusammenhang zwischen dem Lösen eines Items und der Verwendung von vertieftem Schulwissen ein Argument hinsichtlich der Interpretation der Testscores und damit der Validität dar. Ziel dieser Untersuchung war es zu überprüfen, ob insbesondere die Items für das vertiefte Schulwissen auch unter Verwendung desselbigen gelöst werden. Es liegt also Evidenz dafür vor, dass der Score, den Proband:innen erzielen, als ein Ausdruck der Ausprägung vertieften Schulwissens gesehen werden kann. Auch für die übrigen Fachwissensdimensionen liegt ähnliche Evidenz vor. Darüber hinaus scheint das vertiefte Schulwissen nicht nur für die Lösung der Items des vertieften Schulwissens sinnvoll, sondern auch bei den übrigen Items hilfreich zu sein, wenn hier auch kein so starker Zusammenhang zwischen dem Lösen des Items und der Verwendung von vertieftem Schulwissen zu finden ist. Die verwendeten Wissens Elemente liegen hier eher im Bereich des Schulwissens, da häufig der curriculare Fortschritt oder die fortgeschrittene mathematische Modellierung fehlt oder diese von den Probanden nicht zur Lösung der Items verwendet wird. Damit wird jedoch auch deutlich, dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch auf theoretischer Ebene ein Überlapp zwischen vertieften Schulwissen und den übrigen postulierten Fachwissensdimensionen vorliegen kann. Da das vertiefte Schulwissen jedoch nicht inhaltlich, sondern über seine Prozesse definiert ist, stellt dies kein Hinderungsgrund der Interpretation als vertieftes Schulwissen dar. Zusammenfassend kann das weiterentwickelte Testinstrument

hinsichtlich der Interpretation des Testscores als Ausprägung der postulierten Dimensionen als valide angenommen werden. Auch hier gelten die Einschränkungen des Verfahrens der Think-Aloud-Methode ebenso wie die der kleinen Stichprobe. Genauer bedeutet dies, dass Probanden unter Umständen nicht alle Prozesse oder Inhalte während des Bearbeitens der Items verbalisiert haben. Die kleine Stichprobe hat darüber hinaus Auswirkungen auf die Generalisierbarkeit der Untersuchung und sollte daher kritisch betrachtet werden.

8. Datenanalyse

Um die längsschnittlich gesammelten Daten im Bachelor- und Masterstudiengang auszuwerten, bedient sich die vorliegende Untersuchung einer mehrdimensionalen Rasch-Analyse über mehrere Zeitpunkte. Dazu mussten einige Annahmen im Rahmen der Rasch-Analyse überprüft und auch die Stichprobe in Hinblick auf fehlende Daten untersucht werden. Das vorliegende Kapitel soll diesen Herausforderungen Rechnung tragen und zugleich eine sinnvolle Interpretation der Ergebnisse ermöglichen. Verwendet wurde für die Auswertung des Datensatzes die Software R-Studio sowie das zugehörigen Paket TAM (Robitzsch et al., 2020). Mit dieser freien Software konnten alle nötigen Schritte zur Analyse der Daten auf Grundlage aktueller Literatur vollzogen werden. Auch die grafische Auswertung wurde mit R-Studio durchgeführt.

8.1 Datengrundlage: Stichprobenbeschreibung

Durch das Kooperationsprojekt war es möglich, das fachliche Wissen zusammen mit anderen Facetten des Professionswissens an mehreren Standorten und Hochschulformen gleichzeitig zu erheben. An der Testung nahmen 12 Hochschulen in Deutschland und eine Hochschule in Österreich teil. Dabei handelt es sich um elf lehrer:innenbildende Universitäten und zwei pädagogische Hochschulen. Erhoben wurde an diesen 13 Hochschulen innerhalb des Bachelorstudiums Lehramt Physik zum Beginn des ersten, dritten und fünften Semesters. Im Masterstudium Physik Lehramt wurde hingegen nur an den vier Projektstandorten Aachen, Bremen, Paderborn und Potsdam in mehreren Kohorten vor und nach dem Praxissemester erhoben. Eine kurze Erhebungsübersicht inklusive der eingesetzten Erhebungsinstrumente findet sich in Tab. 3. Zusätzlich zur ersten Erhebungswelle mit 13 Standorten wurde an sechs der Standorte eine zweite Erhebungswelle im

ersten und dritten Semester des Bachelorstudiums Lehramt Physik durchgeführt. Eine Erhebung zum fünften Semester war in dieser Erhebungswelle mit Ausnahme eines Standortes aufgrund des um ein Jahr späteren Starts und Projektendes nicht möglich. Durch dieses Vorgehen konnten dennoch zusätzliche Proband:innen für den Längsschnitt gewonnen werden.

Im Masterstudium wurde hingegen vor und nach dem Praxissemester erhoben. Diese Prä-Post-Erhebungen fanden jeweils dreimal statt. Es handelt sich folglich nicht um dieselben Proband:innen aus dem Bachelorstudium, sondern um eine weitere Kohorte.

Tab. 3 Einsatz der *ProfiLe-P+* Testinstrumente im Längsschnitt

	Bachelorstudium (13 Standorte)			Masterstudium Praxissemester (4 Standorte)	
	1. Semester	3. Semester	5. Semester	Prä	Post
Fachliches Wissen	◆	◆	◆	◆	◆
Fachdidaktisches Wissen	◆	◆	◆	◆	◆
Planungsfähigkeit	-	-	-	◆	◆
Reflexionsfähigkeit	-	-	-	◆	◆
Erklärfähigkeit	-	-	-	◆	◆

Leider nahmen nicht alle Standorte bis zum Projektende an der Studie teil und konnten daher nicht im Längsschnitt berücksichtigt werden.

Zusätzlich zur Erhebung des fachlichen Wissens im Bachelorstudium Lehramt Physik nahmen auch Monofachstudierende Physik an den Erhebungen teil. Die Monofachstudierenden nahmen jedoch nicht an der Erhebung des fachdidaktischen Wissens teil. Eine Übersicht der Teilnehmendenzahlen für den Fachwissens- und Fachdidaktiktest finden sich in Tab. 4. Zusätzliche Informationen zur Zusammensetzung der Stichprobe hinsichtlich Alter und Geschlecht finden sich in Tab. 5.

Tab. 4 *Stichprobe des Bachelorstudiums aufgeteilt nach Teilnahme am Fachdidaktik- bzw. Fachwissenstest*

	Bachelorstudium (13 Standorte)			Masterstudium Praxissemester (4 Standorte)	
	1. Semester	3. Semester	5. Semester	Prä	Post
Fachliches Wissen Lehramt	321	228	98	73	66
Fachliches Wissen Mono	289	180	-	-	-
Fachdidaktisches Wissen Lehramt	196	141	91	79	70

Tab. 5 *Stichprobenzusammensetzung*

Stichprobe	Alter (M)	Alter (SD)	Männlich in %
Fachdidaktik Bachelor 1. Semester	20,7	3,23	38%
Fachdidaktik Master Prä-Mzp	25,7	5,18	40%
Fachwissen Bachelor 1. Semester	20,67	4,67	34%
Fachwissen Master Prä-Mzp	25,29	4,93	40%

8.2 Zusammensetzen der Längsschnittstichprobe

Die zunächst sehr groß erscheinenden Proband:innenzahlen mussten in einem weiteren Schritt in einem echten Längsschnitt zusammengefasst werden. Dies erfolgte mittels eines individuellen Codes, der wie in [Kapitel 7.2](#) beschrieben aus persönlichen Informationen der Proband:innen generiert wurde. Es wurde jedoch schnell deutlich, dass es trotz dieses Vorgehens zu Codedopplungen kam. Um dieses Problem zu lösen, wurde der Erhebungsstandort an den Personencode angefügt. Die Fachwissensdaten konnten dann mittels der Software R-Studio über mehrere Messzeitpunkte hinweg verbunden werden. An einigen Stellen erwies es sich zusätzlich als sinnvoll, die verschiedenen Codes nochmals händisch zu überprüfen. So konnte mittels eines Handschriften- und Informationsvergleichs innerhalb der demografischen Daten eine Zuordnung ermöglicht werden, die die Software zuvor nicht erkannt hatte.

In einer Längsschnittstudie bleibt jedoch stets das Problem der großen Stichprobenmortalität. Um diese Herausforderung zu adressieren, gibt es mehrere Möglichkeiten. Um den Ausfall so gering wie möglich zu halten, wurde vor allem auf zwei Mechanismen gesetzt. Zum einen wurde eine von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt steigende Proband:innenvergütung und zum anderen eine pro Teilnahme angefertigte individuelle Rückmeldung eingesetzt. Trotz dieser Maßnahmen war es kaum möglich, einen massiven Einbruch der Teilnehmendenzahlen zu verhindern. Im echten Längsschnitt befinden sich daher 42 Proband:innen. Diese Zahl konnte durch Imputationen von fehlenden Messzeitpunkten deutlich erhöht werden. Hat ein Teilnehmender an zwei Messzeitpunkten teilgenommen, konnte man auf Grundlage seiner bisherigen Ergebnisse zusammen mit der Gesamtstichprobe die Leistung zum fehlenden Messzeitpunkt schätzen. Näheres zu der Methode der Imputation findet sich in [Kapitel 8.4](#). Mittels dieser Methode konnten insgesamt 145 Proband:innendaten im Längsschnitt betrachtet werden. Es ist dabei zu beachten, dass der Anteil fehlender Datenpunkte zum letzten Messzeitpunkt mit 57% leicht über der von der Literatur empfohlenen Grenze von 50% liegt (Böwing-Schmalenbrock & Jurczok, 2012). Um diesem Umstand zu begegnen, wurde im Vergleich zur imputierten Stichprobe eine vollständige Stichprobe hinsichtlich ihrer Veränderung verglichen. Die Ergebnisse dieser Analyse finden sich im Kapitel 9.2. Der Gesamtanteil der imputierten Werte liegt über alle Messzeitpunkte bei 23%. In Tab. 6 finden sich darüber hinaus alle prozentualen Angaben der fehlenden Daten zu den jeweiligen Messzeitpunkten und Testinstrumenten.

Tab. 6 *Missinganteil in der Bachelor- und Masterstichprobe. Aufgeteilt nach dem Fachdidaktik- bzw. Fachwissenstest*

	Anteil fehlender Werte Bachelorstudium				Anteil fehlender Werte Masterstudium		
	1. Semester	3. Semester	5. Semester	ges.	Prä	Post	ges.
Fachliches Wissen Lehramt N=145 / N=73	11%	2%	57%	22%	0%	30%	15%
Fachdidaktisches Wissen Lehramt N= 77 / N = 86	25%	5%	30%	20%	8%	18%	13%

Wie der Übersicht zu entnehmen ist, besteht lediglich für den dritten Messzeitpunkt des Bachelors ein Problem eines zu hohen Anteils fehlender Werte.

8.3 Rasch-Analyse im Längsschnitt

In verschiedensten Kontexten werden psychologische Tests eingesetzt, um beispielsweise die Fähigkeiten, Fertigkeiten, Zufriedenheit oder andere Persönlichkeitseigenschaften von Menschen bestimmen zu können (Strobl, 2015). Dabei ist der Ausgangspunkt meist die Annahme, dass eine erreichte Punktzahl im jeweiligen Test ein Ausdruck für das zu beobachtende latente Merkmal ist. Der Begriff des latenten Merkmals versucht dabei dem Umstand gerecht zu werden, dass sich beispielsweise Zufriedenheit, Fertigkeiten und Fähigkeiten nicht direkt beobachten lassen, wie es unter anderem bei Gewicht oder Körpergröße der Fall ist. Stattdessen wird der Test so konstruiert, dass der Testscore ein Ausdruck für beispielweise die Fähigkeit ist, bestimmte physikbezogene Aufgaben zu lösen und damit ein latentes Merkmal darstellt.

Eine gängige Methode ist die Verwendung des Rasch-Modells. Eine gute Einführung in diese Thematik bietet Strobl (2015). Beim Rasch-Modell handelt es sich um ein Modell der probabilistischen Testtheorie, innerhalb dessen die Verknüpfung zwischen der Fähigkeit einer Person eine bestimmte Aufgabe zu lösen, der Schwierigkeit der Aufgabe und der damit zusammenhängenden Lösungswahrscheinlichkeit modelliert wird. Dies wird in folgender Gleichung mathematisch zusammengefasst (Strobl, 2015, S. 8):

$$P(U_{ij} = 1 | \theta_i, \beta_j) = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}$$

Innerhalb der Gleichung wird mit θ_i die Personenfähigkeit und mit β_j die Aufgabenschwierigkeit bezeichnet. In Worten drückt die oben genannte Gleichung damit aus, dass die Lösungswahrscheinlichkeit einer Aufgabe abhängig von der Differenz aus Personen-Fähigkeit und der Aufgabenschwierigkeit ist. Damit kann geschlussfolgert werden, je fähiger eine Person ist, desto höher ist ihre Lösungswahrscheinlichkeit auch für schwierige Aufgaben.

Während in der klassischen Testtheorie eine direkte Verbindung zwischen dem Lösen einer spezifischen Aufgabe und der Person selbst besteht, gelingt mit dem Rasch-Modell die Trennung der Personenfähigkeit von der eigentlichen Aufgabe. Mit diesem Vorgehen können dementsprechend übertragbare Aussagen über die Personenfähigkeit getroffen werden, die zugleich ein objektives Maß für die Ausprägung eines latenten Merkmals darstellen. Die Fähigkeit wird also nicht auf der Grundlage eines Gesamtscores bestimmt, wie es bei der klassischen Testtheorie der Fall wäre (Hartig & Kühnbach, 2006).

Darüber hinaus ist es möglich, dass einzelne Proband:innen aus einem Sample nicht das gesamte Testheft bearbeiten, und dennoch Aussagen zu ihrer Fähigkeit getroffen werden können. Das gemeinsame Messmodell macht solche Aussagen möglich. Gleichzeitig liegt in diesem Vorgehen ein sehr guter Zugang zum Umgang mit fehlenden Werten allgemein, solange die Stichprobe zur Bestimmung des Messmodells groß genug ist.

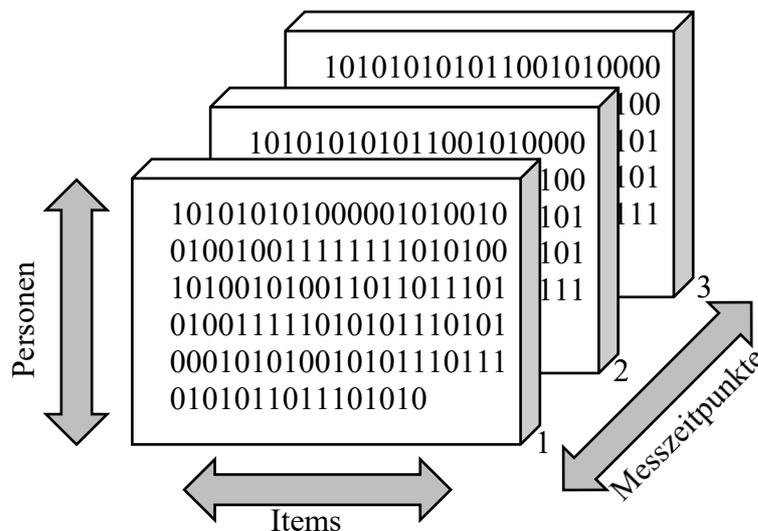
Darüber hinaus bietet das Rasch-Modell die Möglichkeit, auf einfache Art und Weise mehrdimensionale Modelle zu verwenden, was in der vorliegenden Arbeit von großem Vorteil ist. So konnten die drei Dimensionen schulisches Wissen, vertieftes Schulwissen und universitäres Wissen als Dimensionen des latenten Merkmals physikalisches Fachwissen aufgefasst werden.

Natürlich unterliegt dieses Vorgehen bestimmten Einschränkungen, die beachtet werden müssen, um die Gültigkeit des Rasch-Modells zu gewährleisten. Wichtig ist zunächst die lokale stochastische Unabhängigkeit der einzelnen Items. Mit anderen Worten - das Lösen von Aufgabe A sollte nicht Voraussetzung für das Lösen von Aufgabe B sein. Ebenfalls betrachtet wird differential item functioning (DIF), bei dem untersucht wird, ob sich spezifische Items zwischen Gruppen unterschiedlich verhalten. Ein zu hoher Wert des DIF könnte beispielsweise darauf hindeuten, dass das Item ein weiteres ungewolltes Merkmal erhebt, das zu unterschiedlichen Lösungshäufigkeiten führt. Eine dazu ähnliche Annahme wird durch den Itemfit überprüft. Ausgehend von der eingangs beschriebenen Gleichung hat ein Proband mit einer bestimmten Personenfähigkeit eine spezifische Lösungswahrscheinlichkeit für jedes Item. Dabei sollte der Aufbau des Items so gewählt sein, dass es möglichst gut zwischen fähigen und weniger fähigen Proband:innen unterscheidet. Mit anderen Worten – ein Item mit einer hohen Trennschärfe ermöglicht eine sehr gute Trennung von fähigen und weniger fähigen Personen, wohingegen ein Item mit einer geringen Trennschärfe ungeachtet seiner Itemschwierigkeit keine gute Trennung zwischen solchen Personen ermöglicht. Innerhalb dieser Arbeit wurden diese Parameter überprüft und auf der Grundlage der Ergebnisse eine begründete Entscheidung für den Ausschluss bestimmter Items getroffen, da sie nicht dem Rasch-Modell genügen. Dies wird in [Kapitel 8.5](#) dargestellt.

Wie bereits zu Anfang des vorliegenden Kapitels beschrieben, handelt es sich beim Rasch-Modell um ein Modell der probabilistischen Testtheorie. Bestimmt wird innerhalb des Rasch-Modells eine Maximum Likelihood, also unter welchen Bedingungen die Daten am wahrscheinlichsten sind. Man kann sich dieses Vorgehen in etwa so vorstellen: Mit einem Würfel werden 1000 Zahlen gewürfelt. Leider kennen wir den Würfel nicht, sondern haben nur die 1000 Zahlen vorliegen. Doch ganz wie bei unserem gewöhnlichen Würfel mit sechs Seiten und damit einer Wahrscheinlichkeit von ~16% eine spezifische Zahl zu würfeln, können wir nur aus der Verteilung der Zahlen auf die Beschaffenheit des Würfels schließen, ohne den

Würfel zu kennen (Strobl, 2015). Wir schauen uns also an, unter welchen Voraussetzungen die Verteilung am wahrscheinlichsten wird. Auch in der vorliegenden Arbeit wurde eine Maximum-Likelihood-Schätzung vorgenommen. Um dem längsschnittlichen Design gerecht zu werden, musste das Verfahren jedoch leicht angepasst werden. Genutzt wurde eine von Hartig und Kühnbach (2006) vorgestellte Methode zur längsschnittlichen Modellierung von Testdaten. Diese wurde beispielsweise auch in der DESI-Studie angewendet (Beck & Klieme, 2007). Wie bereits beschrieben besteht innerhalb des Rasch-Modells die Möglichkeit, verschiedene Dimensionen eines Konstruktes zu modellieren, so wie es in der vorliegenden Arbeit mit dem Konstrukt Fachwissen und den zugehörigen Dimensionen des schulischen Wissens, vertieften Schulwissens und universitären Wissens gemacht wurde. Um zusätzlich die verschiedenen Messzeitpunkte zu berücksichtigen, werden dabei zusätzliche Dimensionen verwendet. Dies geschieht in Anlehnung an die methodische Beschreibung von Hartig und Kühnbach (2006).

Abb. 10 Mehrdimensionale Modellierung von längsschnittlichen Untersuchungen (Hartig & Kühnbach, 2006)



Um die Grafik jedoch nicht unnötig zu verkomplizieren, wurden die zusätzlichen Fachwissensdimensionen nicht dargestellt, denn verwendet wird ein neundimensionales Modell, bestehend aus drei Messzeitpunkten mit je drei Fachwissensdimensionen.

Die mehrdimensionale Schätzung hat den Vorteil, dass die einzelnen Messzeitpunkte auf testtheoretischer Ebene in Beziehung zueinander stehen und so die Abhängigkeit der einzelnen Messzeitpunkte berücksichtigt wird. Um ein solches Vorgehen möglich zu machen, ist es notwendig, die Itemschwierigkeit über die verschiedenen

Messzeitpunkte (Dimensionen) zu fixieren, da sich diese im Verlaufe der Untersuchung nicht verändern sollten. Dazu wurden zunächst über alle Messzeitpunkte des Bachelor- und Masterstudiums mittels statistisch unabhängiger Personen die Itemschwierigkeiten bestimmt. Genutzt wurde dazu eine Stichprobe von $N = 919$, bestehend aus Lehramtskandidat:innen und Monofachstudierenden. Mit dieser verhältnismäßig großen Stichprobe konnte ein reliables Messmodell geschätzt werden, das die Längsschnittmodellierung auch mit einer kleineren Stichprobe möglich macht. Dieses Vorgehen ermöglicht darüber hinaus einen leichten Stichprobenausfall innerhalb des Längsschnitts zu überbrücken (Hartig & Kühnbach, 2006). Näheres dazu wird im nächsten Kapitel in den Blick genommen. Insgesamt handelt es sich um ein mehrschrittiges Vorgehen, bei dem aus der MML-Schätzung im Anschluss Plausible Values generiert werden, aus denen wiederum Personenfähigkeitsschätzer bestimmt werden können. Als Schätzer für die Personenfähigkeit wurde hier der EAP verwendet. Auf der Individualebene stellt diese Methode zwar kein gutes Vorgehen dar, da es zu Verzerrungen der Schätzung kommen kann. Für die Beschreibung einer Gesamtpopulation ist dieses Vorgehen jedoch sinnvoll (Hartig & Kühnbach, 2006; Wu et al., 2016). Wissenszuwächse können dann über die Differenzen der EAPs gut beschrieben werden (Hartig & Kühnbach, 2006).

8.4 Imputation der fehlenden Daten

In fast jedem psychologischen Test sind fehlende Werte zu finden. Ob auf Itemebene oder im Längsschnitt, fehlende Werte sind eine große Herausforderung, nicht nur in der Bildungsforschung (Lüdtke et al., 2007). Diese Herausforderung wird jedoch in den wenigsten Publikationen aktiv adressiert. Selbst wenn das Problem adressiert wird, werden immer wieder allzu einfache Zugänge gesucht, wie z.B. das Löschen ganzer Testhefte, das Ersetzen durch eine falsche Antwort oder das Löschen bestimmter Personen aus einem Datensatz. Eine aktive Auseinandersetzung mit dieser Problematik ist jedoch von Vorteil und kann einige der großen Probleme psychologischer Tests lösen (Buuren, 2018). Eine in der Forschung mittlerweile etablierte Methode zum Umgang mit fehlenden Werten ist das Imputieren. Dabei stellt, vereinfacht gesagt, das Imputieren eine Schätzung der fehlenden Daten auf Grundlage der existierenden Daten dar. Es handelt sich dabei jedoch nicht um eine Vorhersage, da bewusst Messfehler berücksichtigt werden. In der vorliegenden Arbeit gilt es auf zwei Ebenen über das Thema Imputationen nachzudenken. Zum einen auf Itemebene und zum anderen auf Ebene der Messzeitpunkte.

Es kommt immer wieder vor, dass Proband:innen aus verschiedenen Gründen einzelne Items nicht beantworten oder im Längsschnitt zu einem späteren Messzeitpunkt nicht mehr teilnehmen. Dabei muss für jedes Fehlen von Werten eine grundlegende Frage gestellt werden: Aus welchem Grund fehlen die Daten? Hier wird unterschieden zwischen missing completely at random (MCAR), missing at random (MAR) und missing not at random (MNAR) (Buuren, 2018).

Der beste Fall für Imputationen ist das Vorliegen von völlig zufällig fehlenden Daten (MCAR), also Fälle in denen das Fehlen der Daten keinen systematischen Grund besitzt. In den seltensten Fällen ist diese Art des Missing wirklich zu finden, da kaum eine gesicherte Aussage über das Fehlen getroffen werden kann. Daher geht man in der Forschung viel häufiger davon aus, dass die Daten nur zufällig fehlen, jedoch ein schwacher Grund für das Fehlen der Daten vorliegt (Buuren, 2018). Buuren (2018) gibt dazu das Beispiel einer Waage, die auf weichem Untergrund steht. Sie wird mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit fehlerhafte Werte produzieren, was mit dem genutzten Untergrund zusammenhängt. Im Detail lässt sich dieser Mechanismus jedoch nur schwer auflösen. Missing not at Random muss demzufolge ein Fehlen von Daten beschreiben, bei dem ein starker Zusammenhang zwischen dem Fehlen der Daten und beispielsweise den Umständen der Messung selbst besteht. So könnte man sich zum Beispiel vorstellen, dass anhand von Tests Selbstbewusstsein erforscht werden soll. Gleichzeitig tendieren Menschen mit geringerem Selbstbewusstsein unter Umständen dazu, weniger an solchen Tests teilzunehmen, was zu einer Verzerrung der Gesamtstichprobe führen würde. Den Grund für die Verzerrung kennen wir aber unter Umständen nicht. Der Unterschied zwischen MAR und MNAR besteht also nicht darin, ob es einen Grund für den Ausfall gibt, sondern ob wir den Grund für das Fehlen der Daten kennen. Zulässig sind Imputationen im Grunde nur, wenn ein MAR oder MACR vorliegt, da es sonst wie bereits erwähnt zu Verzerrungen kommen kann.

Bezogen auf die aktuelle Studie ist innerhalb eines Testhefts nicht davon auszugehen, dass fehlende Daten zufällig zustande kommen. Es ist zu vermuten, dass die Teilnehmenden das Item bewusst nicht beantwortet haben, insbesondere wenn Items davor und danach beantwortet wurden. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass die Proband:innen das Item nicht beantworten konnten und daher in diesem Fall keine Daten imputiert werden. Für das Ende des Testhefts wurde ein anderes Vorgehen gewählt.

Es kann insbesondere in den ersten Semestern vorkommen, dass die Proband:innen in der vorgegebenen Testzeit nicht das gesamte Testheft bearbeiten können. Man könnte also davon ausgehen, dass die Aufgaben nicht bearbeitet wurden, weil die Fähigkeiten des oder der Teilnehmenden nicht hoch genug waren. Da der Test jedoch nicht als Speedtest konzipiert wurde, wurden die am Ende des Testheftes nicht erreichten Aufgaben nicht automatisch als falsch gewertet. Es werden hingegen

die letzten 10 Items betrachtet. Sollten von diesen mehr als 7 Items nicht beantwortet worden sein, ist davon auszugehen, dass die letzten Aufgaben nicht erreicht wurden. Die Aufgaben werden daher als nicht bearbeitet gewertet und im späteren Verlauf auf Grundlage der bestehenden Antworten geschätzt. Sollte die Summe kleiner als sieben sein, also geringer als 25% nicht gelöster Items, ist davon auszugehen, dass der oder die Teilnehmende nicht in der Lage war, die Items zu bearbeiten. Daher wurden die fehlenden Items auf null gesetzt und damit als falsch beantwortet gewertet. Für die fehlenden Datenpunkte im Längsschnitt-Datensatz wurde ein anderes Vorgehen gewählt. Hier wurden die fehlenden Datenpunkte imputiert, also fehlende Daten auf Grundlage der vorhandenen Datenpunkte geschätzt. Die Bestimmung des Missing-Mechanismus stellt sich dabei als schwierige Aufgabe heraus, da es keine eindeutigen Verfahren gibt (Buuren, 2018). Eine Bestimmung des Missing-Mechanismus ist jedoch notwendig, um die Aussagekraft der imputierten Daten sicherzustellen. Insbesondere MNAR-Daten stellen ein Problem dar, da der Mechanismus für das Fehlen der Daten ungeklärt ist und keine passende Methode für das Imputieren der Daten gewählt werden kann. Denn je nach Datentyp und Missinganteil sollte ein spezifisches Verfahren gewählt werden (Buuren, 2018). In der vorliegenden Untersuchung gibt es hingegen eine starke theoretische Annahme für das Fehlen der Daten. Wie in [Kapitel 4.1](#) beschrieben, gibt es für das Physikstudium sehr hohe Abbruchquoten, die einen starken Zusammenhang zu Leistungsproblemen aufweisen. Damit ist das Ausscheiden aus einer Längsschnittstichprobe zu einem späteren Messzeitpunkt sehr wahrscheinlich. Auch in der vorliegenden Stichprobe lässt sich der größte Stichprobenausfall, wie schon in [Kapitel 8.1.1](#) beschrieben, zum letzten Messzeitpunkt feststellen. Eine Überprüfung der Datenstruktur bestätigt die Vermutung. Dabei konnte ein Zusammenhang zwischen dem schlechten Abschneiden im Fachwissenstest zum 1. Semester und dem Fehlen des Datenpunktes zum 5. Semester gefunden werden. Insbesondere Studierende mit schwächeren Leistungsdaten zu Beginn des Längsschnitts haben eine höhere Wahrscheinlichkeit, zum letzten Messzeitpunkt zu fehlen. Aber auch wenn in der vorliegenden Untersuchung eher der Mechanismus des Missing not at Random vorliegen würde, wir also den wahren Grund für das Ausscheiden aus der Stichprobe nicht kennen, legen Studien nahe, dass es trotz des Vorliegens von MNAR ein besseres Vorgehen als das Löschen der Daten gibt. Vorgeschlagen werden insbesondere Methoden der Multiplen Imputation sowie Maximum Likelihood Schätzer (Newman, 2003). Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Studie zunächst ein Maximum Likelihood Schätzer des TAM Packets genutzt, um daraus mittels multipler Imputation die Personenfähigkeiten zu schätzen. Newman (2003) beschreibt gleichzeitig erst ab 75% Missingness stärkere Verzerrungen der Schätzungen.

Dabei ist zu beachten, dass nur für den letzten Messzeitpunkt ein Missinganteil von 57% besteht. Für den gesamten Datensatz sind 22% der Daten fehlend.

Um dennoch sicher zu gehen, dass das gewählte Verfahren keine großen Verzerrungen erzeugt, wurde ein Vergleich mit der vollständigen Stichprobe durchgeführt, also mit jenen Teilnehmenden, die zu allen drei Messzeitpunkten teilgenommen haben. Hier zeigten sich keine größeren Abweichungen zur imputierten Stichprobe. Eine vergleichende Grafik findet sich in [Kapitel 9](#) im Ergebnisteil.

8.5 Überprüfung der Dimensionalität und Rasch-Modell-Passung

Neben den in den Validierungsuntersuchungen und der Testkonstruktion vorgestellten Ergebnissen zur Unterscheidbarkeit der einzelnen Fachwissensdimensionen sind weitere empirische Schritte unternommen worden, um die Dimensionalität zu überprüfen. Dazu wurde das 1D-gegen ein 2D- und 3D-Modell getestet (Tab.7).

Tab. 7 *Empirische Dimensionalität des Fachwissenstests*

	Modell	Gemeinsame Dimensionen	AIC	BIC	χ^2	df	p
1D vs. 3D	1D	SW-VSW-UW	46813	47035	194.83	5	< 0.00
	3D	-	46629	46875			
1D vs. 2D	1D	SW-VSW-UW	46813	47035	51.79	2	< 0.00
	2D	SW-VSW	46766	46997			
1D vs. 2D	1D	SW-VSW-UW	46813	47035	169.13	2	< 0.00
	2D	VSW-UW	46648	46880			
1D vs. 2D	1D	SW-VSW-UW	46813	47035	62.73	2	< 0.00
	2D	SW-UW	46755	46986			
2D vs. 3D	2D	SW-VSW	46766	46997	143.05	3	< 0.00
	3D	-	46629	46875			
2D vs. 3D	2D	VSW-UW	46648	46880	25.70	3	< 0.00
	3D	-	46629	46875			
2D vs. 3D	2D	SW-UW	46755	46986	132.11	3	< 0.00
	3D	-	46629	46875			

SW: Schulwissen;

VSW: vertieftes Schulwissen;

UW: universitäres Wissen

Genutzt wurde dazu die Skalierungsstichprobe von N = 919 über alle Semester. Anschließend wurden die Informationskriterien AIC und BIC verglichen. Der Übersicht ist zu entnehmen, dass sich das 3D-Modell mit Blick auf AIC und BIC als stets überlegen gegenüber dem 2D- und dem 1D-Modell gezeigt hat. Das postulierte

dreidimensionale Modell kann daher aus empirischer Sicht angenommen werden. Zusammen mit den vorgestellten Validierungsuntersuchungen, die die Dimensionalität des Fachwissenskonstrukts untermauern und eine berufliche Relevanz aufzeigen ([Kapitel 7.6.2](#)), liegt damit deutliche Evidenz zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage vor.

Forschungsfrage 1:

Ist das postulierte 3D-Modell für physikalisches Fachwissen (Schulwissen, vertieftes Schulwissen, universitäres Wissen) ein empirisch valides Modell zur Erfassung von Fachwissen und Fachwissensentwicklung angehender Physiklehrkräfte?

Um dem Rasch-Modell zu genügen, wurden darüber hinaus noch die Trennschärfe und der MNSQ (Mean-square) in den Blick genommen. Angelehnt an Boone et al. (2014) werden eine Trennschärfe > 0.3 und für den MNSQ < 1.3 und > 0.7 zu Grunde gelegt.

Aufgrund des Anlegens dieser Kriterien mussten fünf Items aus der anschließenden Längsschnittanalyse entfernt werden. Dabei handelt es sich um ein Item aus dem Schulwissen (Puck_1), drei Items aus dem universitären Wissen (Lagr_1, Pot_1, Dreh_1), sowie zwei Items des vertieften Schulwissens (Skoot_1, Kugi_1). Die Kurzbeschreibung der Aufgabeninhalte befindet sich im [Kapitel 7.2](#).

Ebenfalls betrachtet wurde der MNSQ der gesamten Items. Neben den oben genannten Items mussten darüber hinaus keine weiteren ausgeschlossen werden.

9. Ergebnisse

Im vorliegenden Kapitel werden die empirischen Erkenntnisse hinsichtlich der gestellten Forschungsfragen vorgestellt. Dabei werden die Forschungsfragen in ihrer chronologischen Reihenfolge bearbeitet, wobei die erste Forschungsfrage bereits in den vorangegangenen Kapiteln positiv beantwortet werden konnte. Daher wird an dieser Stelle lediglich eine kurze Zusammenfassung der Validierungsuntersuchung zu finden sein. Zugleich stellen die Validierungsuntersuchungen der ersten Forschungsfrage die Grundlage für die Bearbeitung der weiteren Fragen dar. Da es sich bei der vorliegenden Längsschnittstudie um eine komplexe statistische Auswertung handelt, wurden die nötigen Analyseschritte ebenfalls im vorangegangenen Kapitel beschrieben. An bestimmten kritischen Stellen werden dennoch immer wieder Hinweise auf die konkrete Methode zu finden sein, die für das Verständnis der komplexen Ergebnisse nötig sind.

9.1 Ergebnisse Forschungsfrage 1

Forschungsfrage 1:

Ist das postulierte 3D-Modell für physikalisches Fachwissen (Schulwissen, vertieftes Schulwissen, universitäres Wissen) ein empirisch valides Modell zur Erfassung von Fachwissen und Fachwissensentwicklung angehender Physiklehrkräfte?

Um die erste Forschungsfrage zu beantworten, die gleichzeitig die Grundlage für die Beantwortung der nachfolgenden Forschungsfragen darstellt, waren zwei Schritte notwendig. Zum einen war es aus empirischer Sicht notwendig, die Trennbarkeit bzw. Überlegenheit des dreidimensionalen Fachwissensmodells zu überprüfen und zum anderen mussten mehrere Validierungsuntersuchungen unternommen werden, um die Ergebnisse der Längsschnittuntersuchung interpretieren zu können. Beide Schritte wurden im Vorfeld der eigentlichen Beantwortung der Forschungsfragen näher dargestellt. So umfasst [Kapitel 7](#) die durchgeführten Validierungsuntersuchungen und [Kapitel 8](#) die Datenanalyse, welche die Dimensionalitätsprüfung des Fachwissenstests umfasst. Da sowohl die Dimensionalitätsprüfung als auch die Validierungsuntersuchungen bereits eingehend beschrieben wurden, sei an dieser Stelle für Details auf die jeweiligen Kapitel dieser Arbeit verwiesen. Im vorliegenden Abschnitt soll eine knappe Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgen.

Die Dimensionalitätsprüfung zeigt, dass das dreidimensionale Modell gegenüber dem zwei- und eindimensionalen Modell zu bevorzugen ist. Darüber hinaus zeigten sich zufriedenstellende Reliabilitäten, Trennschärfen und MNSQs hinsichtlich der genutzten Fachwissensitems. Damit liegt aus empirischer Sicht Evidenz für die Validität des Testinstruments vor.

Zusätzlich erfolgten drei Validitätsuntersuchungen. In der ersten Untersuchung wurde überprüft, ob die fachphysikalischen Inhalte der genutzten Items des schulischen und universitären Wissens als inhaltlich passend für das schulische Curriculum bzw. die universitäre Ausbildung angenommen werden können. Dies konnte mittels einer Lehrbuchanalyse ([Kapitel 7.6.1](#)) zufriedenstellend bestätigt werden. Insbesondere für das VSW und UW ist anzunehmen, dass diese nicht im Rahmen der Schullaufbahn erworben werden. Für das universitäre Wissen wird diese Annahme durch die vorgestellte Lehrbuchanalyse gestützt. Dort konnte gezeigt werden, dass die Inhalte des universitären Wissens ausschließlich in Hochschulbüchern zu finden sind. Zusammen mit einer breiten Verteilung der Itemschwierigkeiten (vgl. Abb. 11) sollte es somit möglich sein, die Entwicklung aller Facetten, auch des schulischen Wissens zu erheben.

In einem nächsten Schritt wurde überprüft, ob die Items und damit die genutzten physikalischen Inhalte als beruflich relevant für das Planen und Reflektieren von Physikunterricht sowie für das Erklären angesehen werden können. Dabei zeigte die durchgeführte Interviewstudie mit Physiklehrkräften, dass der Fachwissenstest beruflich relevantes Fachwissen erhebt, wobei das universitäre Wissen als weniger relevant eingeschätzt wurde. In einer letzten Untersuchung wurde überprüft, welches Wissen bzw. welche Operationen die Studierenden anwenden, um die Items zu lösen. Mittels einer Think-Aloud-Studie konnte herausgearbeitet werden, dass ein großer Überlapp der intendierten Inhalte bzw. Operationen und mit den tatsächlich verwendeten Inhalten und Operationen der Studierenden zur Lösung der Items besteht. Auch hier kann man also von einem zufriedenstellenden Ergebnis sprechen. Insgesamt liegt somit Evidenz dafür vor, dass der Test als valide hinsichtlich der Erfassung relevanten fachphysikalischen Fachwissens auf den drei intendierten Dimensionen (Schulwissen (SW), vertieftes Schulwissen (VSW), universitäres Wissen (UW)) angenommen werden kann.

9.2 Ergebnisse Forschungsfrage 2

Forschungsfrage 2:

Wie entwickelt sich das Fachwissen auf den drei beschriebenen

Fachwissensdimensionen (Schulwissen, vertieftes Schulwissen, universitäres Wissen):

- a) im Verlauf des Bachelorstudiums;*
- b) über das Praxissemester?*

Um die vorliegende Forschungsfrage beantworten zu können war ein mehrschrittiges komplexes Verfahren notwendig. Zunächst mussten die einzelnen Itemschwierigkeiten mittels einer größeren Skalierungsstichprobe $N = 919$ bestimmt werden. Mittels dieser Aufgabenschwierigkeiten konnten nun die Fähigkeitsparameter der Längsschnitteilnehmenden in einem 9D-Modell geschätzt werden, wobei wie beschrieben drei Dimensionen für die Modellierung der drei Fachwissensdimensionen notwendig waren und diese zu drei Messzeitpunkten geschätzt werden mussten. Daraus ergeben sich, wie in [Kapitel 8.3](#) näher beschrieben, neun zu schätzende Dimensionen. Dabei ist zunächst zu berichten, dass die Reliabilitäten der Fachwissensdimensionen mit einer EAP-PV-Reliabilität von 0.55 bis 0.87 im guten bis sehr guten Bereich liegen (Tab. 8).

Tab. 8 *Fachliches Wissen im Bachelor- und Masterstudium*

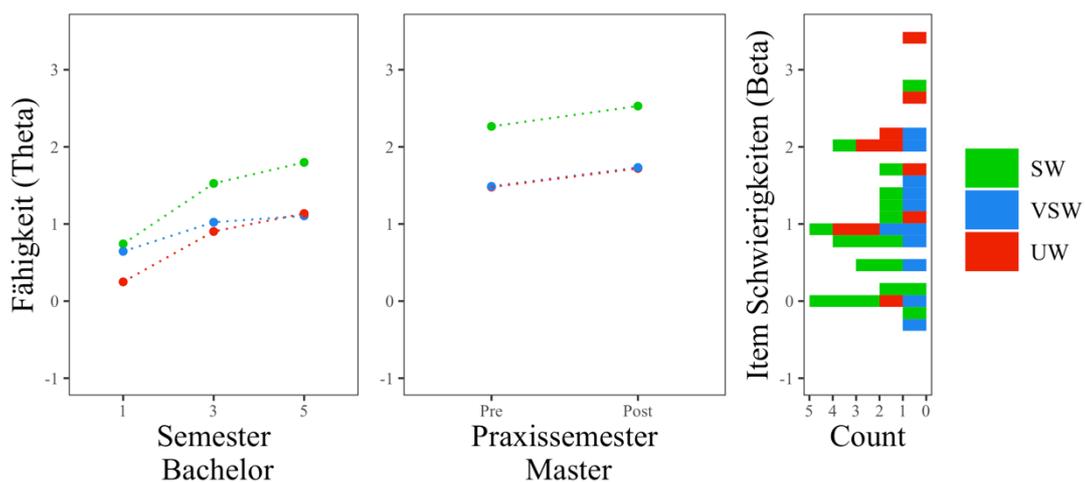
Mzp Bachelor	Bachelorkohorte $n = 145$				Masterkohorte $n = 73$			
		SW	VSW	UW	Mzp Master	SW	VSW	UW
1	<i>M</i>	0.73	0.64	0.22		2.28	1.46	1.47
	<i>SD</i>	0.77	0.31	0.23		0.84	0.53	0.68
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.84	0.84	0.55		0.82	0.81	0.82
2	<i>M</i>	1.54	1.02	0.90		2.53	1.72	1.72
	<i>SD</i>	0.89	0.50	0.54		0.81	0.38	0.51
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.87	0.83	0.78		0.84	0.82	0.83
3	<i>M</i>	1.83	1.11	1.11				
	<i>SD</i>	0.75	0.50	0.75				
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.81	0.77	0.65				

SW: Schulwissen; VSW: vertieftes Schulwissen; UW: universitäres Wissen

Lediglich die geringe Reliabilität der Skale des universitären Wissens liegt nicht mehr in diesem Bereich. Hier liegt die Vermutung nahe, dass insbesondere die geringe Ausprägung des universitären Wissens, das zu Beginn des Studiums per

Definition nicht vorhanden sein kann, für die geringe Reliabilität dieser Skala sorgt. Bereits zum zweiten Messzeitpunkt lässt sich eine deutliche Stabilisierung der Reliabilität mit 0.78 erkennen, was diese Vermutung nochmals untermauert. In Tab. 8 sind über die Reliabilitäten hinaus bereits die Zuwächse des Fachwissens zu erkennen, die aus den Differenzen der jeweiligen Personenfähigkeiten bestimmt und gemittelt wurden. Einen besseren Eindruck zu den jeweiligen Veränderungen des fachlichen Wissens erhält man mittels grafischer Auswertung (Abb. 11). Mittels dieser grafischen Darstellung wird schnell deutlich, dass das fachliche Wissen im Verlaufe des Studiums auf allen Dimensionen zunimmt. Dabei liegen insbesondere das schulische Wissen und das vertiefte Schulwissen zu Beginn des ersten Semesters sehr nahe beieinander. Das universitäre Wissen ist zu diesem Zeitpunkt erwartungsgemäß geringer ausgeprägt. Beachtet man für das universitäre Wissen darüber hinaus, dass lediglich eins der Items mit einer höheren Wahrscheinlichkeit gelöst werden kann, scheint dieser Befund ein zu erwartendes Ergebnis zu sein. Im Bereich des vertieften Schulwissens sowie des schulischen Wissens können bereits mehrere Items des Fachwissenstests mit einer höheren Wahrscheinlichkeit gelöst werden. Betrachtet man die Zuwächse vom ersten zum dritten Semester, so sieht man insbesondere für das universitäre und das schulische Wissen größere Zunahmen. Vom dritten zum fünften Semester lässt sich ebenfalls eine positive Entwicklung berichten. Lediglich das vertiefte Schulwissen scheint zu stagnieren.

Abb. 11 *Veränderung des dreidimensional beschriebenen fachlichen Wissens im Bachelor- und Masterstudium, mit zugehörigen Itemschwierigkeiten*



SW: Schulwissen;

VSW: vertieftes Schulwissen;

UW: universitäres Wissen

Vergleicht man nun die Master- und Bachelorkohorte, so ist zu erkennen, dass zwischen dem Bachelor- und Masterstudium mit großer Wahrscheinlichkeit eine weitere Entwicklung des fachlichen Wissens stattgefunden hat, wobei betont werden

sollte, dass es sich um zwei getrennte Stichproben handelt, die nur aufgrund der gemeinsamen Itemskalierung vergleichbar sind. Darüber hinaus ist in der Stichprobe des Masterstudiums zu sehen, dass sich das universitäre Wissen und das vertiefte Schulwissen auf einem nahezu identischen Niveau befinden und eine sehr ähnliche Entwicklung erfahren. Das schulische Wissen entwickelt sich ebenfalls mit einem ähnlichen Delta weiter, liegt jedoch vom Niveau deutlich höher, sodass am Ende des Masters fast alle Schulwissensitems beantwortet werden können. Betrachtet man die Verteilung der Itemschwierigkeiten mit den Fähigkeiten insgesamt, so ist festzustellen, dass der Test den Gesamtbereich der Fähigkeitsverteilung gut auflösen kann. Insbesondere im mittleren Schwierigkeitsbereich liegen eine Vielzahl der Items, wobei auch der untere und obere Bereich der Fähigkeitsskala noch gut abgedeckt wird. Es ist daher stark zu vermuten, dass keine Boden- oder Deckeneffekte auftreten.

Neben der grafischen Auswertung wurde ebenfalls untersucht, wie groß die Effekte der Veränderung zwischen den einzelnen Messzeitpunkten ausfallen. Diese Ergebnisse (Tab. 10) decken sich mit der naiven Annahme, die sich aus der grafischen Darstellung ergibt. So lässt sich lediglich für die in der Grafik zu sehende Stagnation des vertieften Schulwissens zwischen dem dritten und fünften Semester keine signifikante Veränderung feststellen. Die Effektstärken liegen dabei insbesondere im ersten Semester im großen Bereich. Im späteren Verlauf sind hingegen eher mittlere Effektstärken festzustellen (Tab. 10).

Die vorliegenden Ergebnisse zur Veränderung des fachlichen Wissen müssen jedoch noch einer weiteren Prüfung unterzogen werden, da wie in [Kapitel 8.1](#) beschrieben der Missinganteil mit 57% zum letzten Messzeitpunkt relativ hoch war. Daher muss eine Qualitätskontrolle des genutzten Verfahrens durchgeführt werden. Verglichen wurde daher die mit imputierten Daten vervollständigte Stichprobe mit einer Stichprobe, die nur aus vollständigen Fällen besteht. Aufgrund der gemeinsamen Skalierung sind die Ergebnisse dieser beiden Stichproben ebenfalls vergleichbar. Wie schon bei der imputierten Stichprobe ergaben sich gute bis sehr gute Reliabilitäten über den gesamten Testzeitraum (Tab. 9). Jedoch zeigte sich auch hier eine weniger zufriedenstellende Reliabilität für das universitäre Wissen zum ersten Messzeitpunkt.

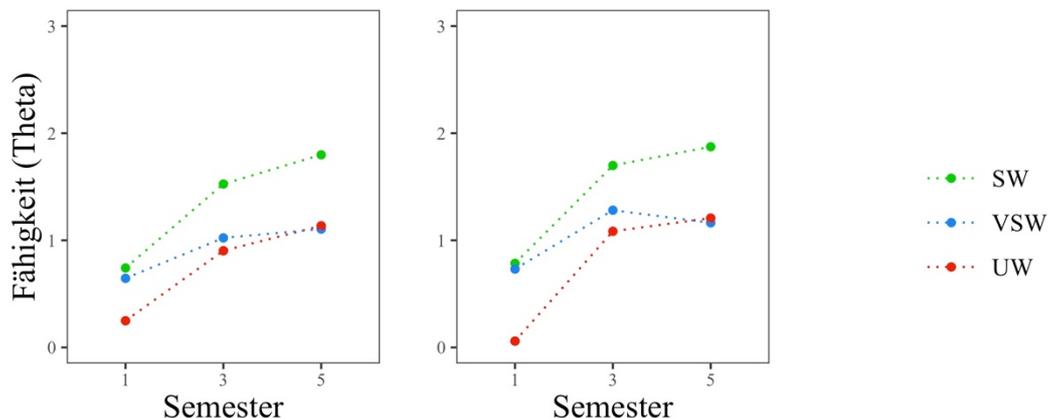
Tab. 9 Bachelor-Studium (Complete Cases)

Bachelorkohorte $n = 42$		SW	VSW	UW
Mzp				
Bachelor				
1	<i>M</i>	0.81	0.74	0.11
	<i>SD</i>	0.85	0.36	0.65
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.89	0.88	0.57
2	<i>M</i>	1.72	1.28	1.07
	<i>SD</i>	0.98	0.53	0.54
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.88	0.90	0.82
3	<i>M</i>	1.89	1.15	1.19
	<i>SD</i>	0.87	0.52	0.81
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.87	0.85	0.80

SW: Schulwissen; VSW: vertieftes Schulwissen; UW: universitäres Wissen

Auch die Entwicklungsverläufe (Abb. 12) fallen sehr ähnlich aus. Zu Beginn des Studiums ist festzustellen, dass das universitäre Wissen im Verhältnis zur imputierten Stichprobe weniger stark entwickelt ist. Dieser größere Zuwachs im Verhältnis zu den anderen Fachwissensfacetten wird jedoch bis zum zweiten Semester wieder kleiner und es lässt sich insgesamt ein sehr ähnlicher Entwicklungsverlauf zwischen den beiden Stichproben beobachten. Insbesondere das schulische Wissen entwickelt sich in beiden Stichproben nahezu identisch. Lediglich das vertiefte Schulwissen erfährt zum fünften Semester eine etwas andere Entwicklung. Hier ist ein leichter Rückgang mit mittlerer Effektstärke zu beobachten (Tab. 11). Die übrigen Veränderungen liegen im positiven Bereich mit mittleren bis großen Effektstärken, wobei die Veränderungen jeweils signifikant sind (Tab. 11).

Abb. 12 Vergleich der Entwicklungsverläufe des fachlichen Wissens in der zusammengesetzten (links) und vollständigen Stichprobe (rechts)



Tab. 10 *Effektgrößen der Veränderung des fachlichen Wissens im Längsschnitt Bachelor- und Masterstudium*

	SW				VSW				UW				
	Zuwachs	<i>t(df)</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	Zuwachs	<i>t(df)</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	Zuwachs	<i>t(df)</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	
Bachelor	Veränderung	0.81	-15.33	>0.001	1.27	0.38	-18.40	<0.001	1.53	0.68	-12.55	<0.001	1.04
	Mzpl zu		(11.97)				(63.31)				(41.85)		
	Mzpz2												
Master	Veränderung	0.29	-9.29	>0.001	0.77	0.09	-4.70	0.05	0.39	0.21	-4.69	<0.001	0.39
	Mzpz2 zu		(29.67)				(17.396)				(24.22)		
	Mzpz3												
Master	Veränderung	0.25	-6.44	>0.001	0.75	0.26	-9.11	<0.001	1.07	0.25	-7.2	<0.001	0.85
	Mzpl zu		(8.83)				(25.763)				(24.80)		
	Mzpz2												

SW: Schulwissen; VSW: vertieftes Schulwissen; UW: universitäres Wissen

Tab. 11 *Effektgrößen der Veränderung des fachlichen Wissens im Längsschnitt Bachelorstudium (Complete Cases)*

	SW				VSW				UW				
	Zuwachs	<i>t(df)</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	Zuwachs	<i>t(df)</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	Zuwachs	<i>t(df)</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	
Bachelor	Veränderung	0.81	-9.80	>0.001	1.51	0.38	-12.49	<0.001	1.53	0.68	-4.50	<0.001	0.69
	Mzpl zu		(14.64)				(20.49)				(10.82)		
	Mzpz2												
Bachelor	Veränderung	0.29	-8.29	>0.001	1.28	-0.13	-3.30	0.037	0.57	0.21	-1.78	0.091	0.27
	Mzpz2 zu		(31.06)				(3.348)				(20.21)		
	Mzpz3												

SW: Schulwissen; VSW: vertieftes Schulwissen; UW: universitäres Wissen

9.3 Ergebnisse Forschungsfrage 3

Forschungsfrage 3:

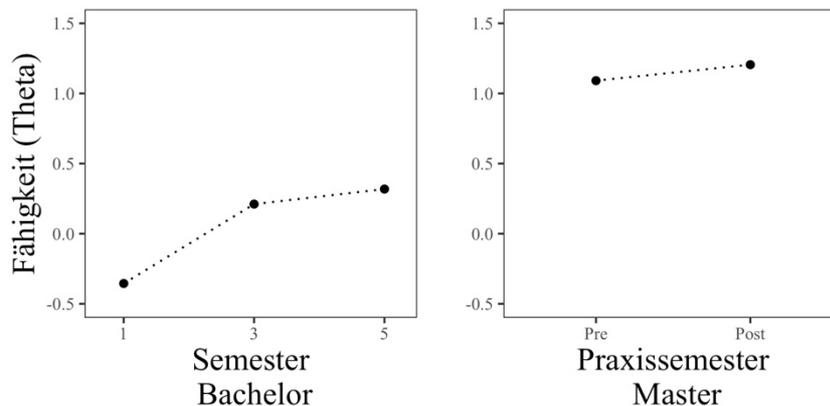
Welche Bedingungsfaktoren können für die Entwicklung der drei Fachwissensdimensionen identifiziert werden?

In der Forschung hat sich für den Fachwissenserwerb insbesondere das mathematische Vorwissen als prognostisch herausgestellt ([Kapitel 4.1](#)). Daher wurde zusammen mit dem fachlichen Wissen ebenfalls die Rechenfähigkeit von Studierenden erhoben. Wie bereits beschrieben, wurden innerhalb dieses Teilinstruments Fähigkeiten zum Lösen von Gleichungen und Umformen von Termen sowie zum Lösen trigonometrischer Gleichungen erhoben. Dabei waren die Inhalte am schulischen Curriculum orientiert. Zunächst ist festzustellen, dass die Reliabilitäten des eingesetzten Tests zu allen Messzeitpunkten im sehr guten Bereich liegen (Tab. 12).

Tab. 12 *Rechenfähigkeit im Bachelor- und Masterstudium*

Bachelorkohorte $n=145$			Masterkohorte $n=73$	
Mzp Bachelor		Mathe	Mzp Master	Mathe
1	<i>M</i>	-0.37		1.09
	<i>SD</i>	1.03		1.39
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.86		0.87
2	<i>M</i>	0.22		1.21
	<i>SD</i>	1.14		1.23
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.88		0.87
3	<i>M</i>	0.30		
	<i>SD</i>	1.16		
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.90		

Auf den zweiten Blick fällt direkt ins Auge, dass der Zuwachs vom dritten zum fünften Semester gegenüber dem Zuwachs vom ersten zum dritten deutlich abflacht. In der gemeinsam skalierten Masterstichprobe ist hingegen ein großer Sprung der Rechenfähigkeit zu sehen. Deutlicher ist dieser Sprung in Abb. 13 zu erkennen.

Abb. 13 *Veränderung der Rechenfähigkeit im Bachelor- und Masterstudium*

Schaut man dabei nochmals auf die Effektstärken der Zunahmen, ist zu erkennen, dass insbesondere im Master und zu Beginn des Bachelorstudiums große Effekte gemessen werden konnten (Tab. 13). Das Abflachen der Fähigkeitskurve in Abb. 13 lässt bereits vermuten, dass es sich hingegen eher um einen kleinen Effekt handeln muss. Dies kann bestätigt werden (Tab. 13). Bemerkenswert ist dabei, dass trotz einer nur geringen Zunahme der Rechenfähigkeit im Master eine hohe Effektstärke zu verzeichnen ist. Dies hängt mit der recht großen Streuung der Fähigkeiten im Master zusammen.

Tab. 13 *Effektgrößen der Veränderung der Rechenfähigkeit im Längsschnitt Bachelor- und Masterstudium*

		Zuwachs	$t(df)$	p	d
Bachelor	Veränderung	0.59	-6.73	<0.001	0.56
	Mzp1 zu Mzp2		(27.32)		
	Veränderung	0.08	-2.72	0.011	0.23
	Mzp2 zu Mzp3		(23.44)		
Master	Veränderung	0.12	-5.45	<0.001	0.64
	Mzp1 zu Mzp2		(53.46)		

Um die eigentliche Frage nach einem möglichen Bedingungsfaktor für die Entwicklung des fachlichen Wissens zu identifizieren, reichen die rein deskriptiven Ergebnisse jedoch nicht aus. Um also den Zusammenhang zwischen fachlichem Wissen und Rechenfähigkeit und damit mögliche Bedingungsfaktoren zu identifizieren, wurden zusätzlich die Korrelationen dieser beiden Konstrukte untersucht. Betrachtet wurden Zusammenhänge des Fachwissenszuwachs und der Rechenfähigkeit zum ersten Semester. Die in Tab. 14 zu sehenden Korrelationen

wurden dabei um die Reliabilität des jeweiligen Konstrukts korrigiert, da es sich um mit Messfehlern behaftete Größen handelt. Bei der Korrektur handelt es sich um die Minderungskorrektur nach der Formel (Amelang & Schmidt-Atzert, 2006):

$$r_{wtwu} = \frac{r_{xtxu}}{\sqrt{r_{tt}} \cdot \sqrt{r_{uu}}}$$

Wobei r_{xtxu} die Korrelation der beiden Konstrukte meint und r_{tt} bzw. r_{uu} die jeweiligen Reliabilitäten der Skalen.

Tab. 14 *Bereinigte Korrelationen zwischen dem Zuwachs des fachlichen Wissens vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt und der Rechenfähigkeit zum ersten Messzeitpunkt*

	<i>r</i>	<i>p</i>
SW	0.69	<0.001
VSW	0.68	<0.001
UW	0.68	0.002

SW: Schulwissen; VSW: vertieftes Schulwissen; UW: universitäres Wissen

Auch wenn es sich bei den in Tab. 14 gezeigten Ergebnissen nicht um kausale Zusammenhänge handelt, so sind es doch starke korrelative Zusammenhänge zwischen dem Zuwachs des fachlichen Wissens vom ersten zum zweiten Semester und der Rechenfähigkeit zu Beginn des Studiums. Gleichzeitig sind diese Zusammenhänge signifikant. Damit lässt sich die begründete Vermutung äußern, dass ausgeprägtes mathematisches Vorwissen die Entwicklung des fachlichen Wissens auf allen Dimensionen begünstigt. Dieser Zusammenhang konnte für den weiteren Studienverlauf jedoch nicht mehr reproduziert werden, was darauf schließen lässt, dass insbesondere in der Studieneingangsphase das innerhalb des Fachwissenstests operationalisierte mathematische Wissen hilfreich ist. Da es sich jedoch um rein schulisches Wissen bzw. schulische Fähigkeiten handelt, ist nicht zwangsläufig zu erwarten, dass im späteren Studienverlauf und mit Zunahme der Komplexität der vermittelten Inhalte diese Fähigkeiten noch entscheidend sind. Neben dem Zusammenhang zur Rechenfähigkeit wurden zusätzliche Korrelationen zur Abitur-, Physik- und Mathematiknote untersucht (Tab. 15). Dabei stellte sich überraschenderweise heraus, dass die letzte Physiknote keinen korrelativen Zusammenhang mit fachlichem Wissen aufweist. Für die Mathematik- und die Abiturnote besteht hingegen ein leichter korrelativer Zusammenhang, der für das schulische und universitäre Wissen signifikant wird. Für das vertiefte Schulwissen waren diese hingegen nicht signifikant.

Tab. 15 *Korrelationen der Fachwissensdimensionen zum ersten Messzeitpunkt mit ausgewählten demografischen Variablen*

	SW		VSW		UW	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Mathematiknote	0.30	< .001	0.35	.09	0.36	< .001
Abiturnote	0.34	< .001	0.37	.45	0.34	< .001

SW: Schulwissen; VSW: vertieftes Schulwissen; UW: universitäres Wissen

Mit besonderem Blick auf die Rechenfähigkeit scheint der korrelative Zusammenhang zwischen letzter Mathematiknote und dem fachlichen Wissen zum Messzeitpunkt plausibel. Damit besteht weitere Evidenz für die große Bedeutung des mathematischen Vorwissens für die Entwicklung fachlichen Wissens im Physikstudium. Da die Abiturnote als Prädiktor für Studienerfolg gilt (Rach & Heinze, 2017) und gleichzeitig für allgemeine kognitive Fähigkeiten (Köller & Baumert, 2002), ist ein hoher Fachwissensscore und eine gleichzeitig bessere Abiturnote ein zu erwartender korrelativer Zusammenhang.

Da aber, wie in [Kapitel 4.1](#) beschrieben, auch das fachliche Wissen zum Beginn des Studiums selbst Einfluss auf die weitere Entwicklung nehmen kann, wurde auch dies näher untersucht. Dazu wurden Extremgruppen der jeweiligen Fachwissensfacette ausgehend vom ersten Messzeitpunkt gebildet und die Entwicklung des fachlichen Wissens insgesamt grafisch miteinander verglichen. Das Vorgehen soll an dem folgenden Beispiel für die Facette des schulischen Wissens (SW) deutlich werden. Zunächst wurde die Gesamtstichprobe ausgehend vom Mittelwert des schulischen Wissens zum ersten Messzeitpunkt in drei Gruppen eingeteilt. Die größte Gruppe bildet sich im Rahmen des Mittelwertes mit weniger als einer Standardabweichung nach unten bzw. nach oben abweichend. Im Folgenden wird diese Gruppe als SW-Mean bezeichnet, also solche Studierende, die zum ersten Messzeitpunkt im Mittelfeld des Schulwissens (SW) lagen. Die anderen beiden Gruppen bilden solche Studierende, die zum Anfang des Studiums hinsichtlich ihres Schulwissens mehr als eine Standardabweichung unterhalb des Mittelwerts liegen (SW-Low) und solche, die mehr als eine Standardabweichung oberhalb des Mittelwerts liegen (SW-High). Im Anschluss wurden für die einzelnen Gruppen (SW-Low, SW-Mean, SW-High) die Entwicklungsverläufe des fachlichen Wissens über das Bachelorstudium untersucht. Tab. 16 ist also wie folgt zu lesen: In der Spalte SW-Low befinden sich solche Studierende, deren schulisches Wissen zum Anfang des Studiums mehr als eine Standardabweichung nach unten vom Mittelwert abweicht. In den Zeilen finden sich die Fähigkeiten dieser Gruppe von Studierenden zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten. Die übrigen Spalten verhalten sich analog. So ist in der letzten

Spalte der Fähigkeitsverlauf der Gruppe der stärksten Studierenden hinsichtlich des schulischen Wissens abgebildet. Tab. 17 und 18 sind dementsprechend zu lesen als die Entwicklung der Fachwissensfacetten, vertieftes Schulwissen und universitäres Wissen, aufgeteilt nach den Extremgruppen zu Beginn des Studiums. Wichtig ist dabei zu beachten, dass eine Tabelle jeweils nur eine Fachwissensfacette, aber drei Extremgruppen beinhaltet.

Tab. 16 *Schulisches Wissen (SW) im Bachelorstudium (aufgeteilt nach Extremgruppen des schulischen Wissens zu Mzp1)*

Mzp		SW-Low	SW-Mean	SW-High
1	<i>M</i>	-0.45	0.68	1.89
	<i>SD</i>	0.30	0.44	0.35
2	<i>M</i>	0.21	1.46	2.90
	<i>SD</i>	0.37	0.51	0.41
3	<i>M</i>	0.65	1.79	2.92
	<i>SD</i>	0.29	0.43	0.35

Tab. 17 *Vertieftes Schulwissen (VSW) im Bachelorstudium (aufgeteilt nach Extremgruppen des vertiefen Schulwissen zu Mzp1)*

Mzp		VSW-Low	VSW-Mean	VSW-High
1	<i>M</i>	0.18	0.63	1.20
	<i>SD</i>	0.11	0.18	0.15
2	<i>M</i>	0.31	0.99	1.90
	<i>SD</i>	0.17	0.28	0.23
3	<i>M</i>	0.42	1.07	2.00
	<i>SD</i>	0.19	0.29	0.26

Tab. 18 *Universitäres Wissen (UW) im Bachelorstudium (aufgeteilt nach Extremgruppen des universitären Wissens zu Mzp1)*

Mzp		UW-Low	UW-Mean	UW-High
1	<i>M</i>	-0.08	0.22	0.64
	<i>SD</i>	0.07	0.12	0.12
2	<i>M</i>	0.13	0.87	1.97
	<i>SD</i>	0.28	0.38	0.37
3	<i>M</i>	0.14	1.08	2.45
	<i>SD</i>	0.26	0.39	0.40

Die grafischen Auswertungen (Abb. 14 bis 16) sind an die tabellarischen Daten angelehnt. Sie bilden die Entwicklung jeweils einer Fachwissensfacette der jeweiligen Extremgruppe über das Bachelorstudium ab. Bereits auf den ersten Blick fällt auf, dass die Extremgruppen über die Zeit relativ stabil bleiben. Damit liegen Hinweise dafür vor, dass die Gruppe der Studierenden, die zu Anfang ein geringeres fachliches Wissen besitzen, auch im Verlauf des Studiums nicht die Gruppe der Besten und nicht mal das Mittelfeld hinsichtlich des ersten Messzeitpunkts einholen kann. Gut zu erkennen ist dies bereits beim schulischen Wissen. Hier erreicht die Gruppe der Studierenden mit dem geringen Schulwissen zum ersten Messzeitpunkt im Verlauf des Studiums nicht einmal das Vorwissen des Mittelfelds.

Abb. 14 *Entwicklung des schulischen Wissens in Abhängigkeit der Extremgruppe des Schulwissens zum ersten Messzeitpunkt*

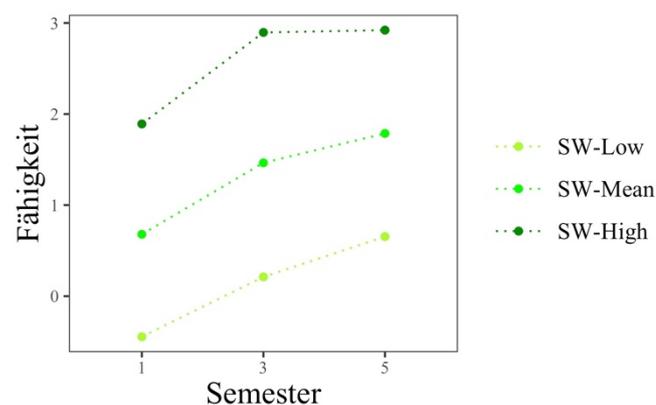


Abb. 15 Entwicklung des vertieften Schulwissens in Abhängigkeit der Extremgruppe des vertieften Schulwissens zum ersten Messzeitpunkt

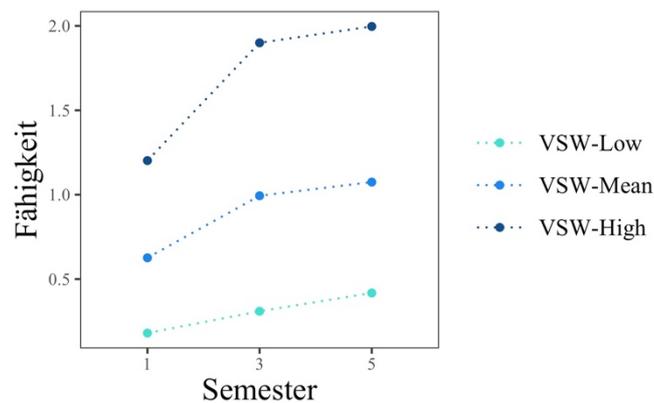
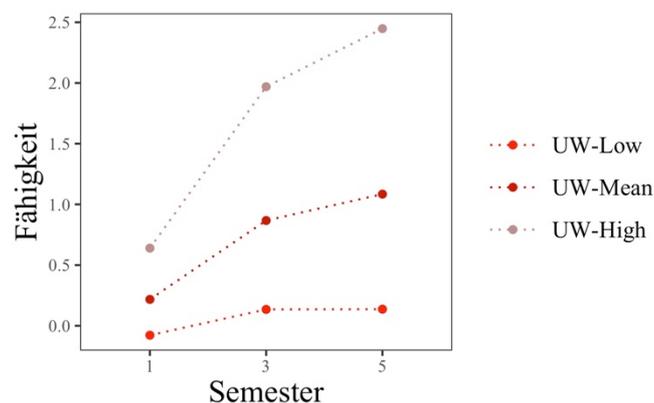


Abb. 16 Entwicklung des universitären Wissens in Abhängigkeit der Extremgruppe des universitären Wissens zum ersten Messzeitpunkt



Gleichzeitig lässt sich für die Gruppe der besten Studierenden (SW-High, VSW-High, UW-High) jeweils eine Art Deckeneffekt beobachten. So lässt sich beispielsweise eine Art Stagnation des schulischen Wissens vom dritten zum fünften Semester für die Gruppe SW-High feststellen. Dies könnte auf zwei Befunde hindeuten. Entweder kann der Test in der Gruppe der Besten keinen weiteren Fachwissenszuwachs hinsichtlich des schulischen Wissens auflösen oder es tritt tatsächlich kein weiterer Zuwachs in diesem Bereich auf. Mit Blick auf die Itemschwierigkeiten (Abb. 11) liegt jedoch ein Deckeneffekt nahe. Für die Items des vertieften Schulwissens und des universitären Wissens lässt sich dieser Effekt hingegen nicht im selben Maße berichten. Hier lassen sich auch noch zwischen dem dritten und fünften Semester positive Trends erkennen. Darüber hinaus lässt sich für das Schulwissen insgesamt ein recht proportionaler Fachwissenszuwachs

beobachten. Das heißt, insbesondere für das erste Studienjahr fällt der Fachwissenszuwachs für alle Extremgruppen innerhalb der Facette des Schulwissens ähnlich aus. Ein anderes Bild ergibt sich für das vertiefte Schulwissen und das universitäre Wissen. Hier fällt der Fachwissenszuwachs besonders für das erste Studienjahr sehr unterschiedlich aus. Insbesondere die Gruppe der zu Beginn stärksten Studierenden lernt am meisten dazu. Besonders groß ist der Zuwachsunterschied für das universitäre Wissen, welcher durch den steilen Anstieg der Geraden vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt deutlich wird. Für die Gruppe der schwächeren Studierenden ist vor allem auffällig, dass sich das universitäre Wissen kaum über das Studium hinweg entwickelt und der Fachwissensunterschied zu den übrigen Extremgruppen im Verlaufe der Untersuchung immer größer wird. Für das vertiefte Schulwissen fällt dieser Effekt so stark aus, dass auch noch zum fünften Semester ein großer Unterschied zwischen dem Fachwissen der schwächsten Gruppe und dem Vorwissen des Mittelfelds besteht.

9.4 Ergebnisse Forschungsfrage 4

Forschungsfrage 4:

Stellt der Erwerb von Fachwissen eine notwendige Voraussetzung für den Erwerb fachdidaktischen Wissens dar?

Um die letzte Forschungsfrage der vorliegenden Untersuchung beantworten zu können, wurde zunächst, ähnlich zum fachlichen Wissen, die Entwicklung des fachdidaktischen Wissens im Längsschnitt untersucht. Dazu wurde der von Yvonne Gramzow (2015) entwickelte und in [Kapitel 5.2.4](#) kurz beschriebene Fachdidaktiktest genutzt. Ausgewertet wurde jedoch nur der fachdidaktische Teil des Testinstruments. Im Vergleich zum Fachwissenstest fällt die Stichprobe dabei kleiner aus, da nicht im selben Umfang getestet werden konnte. Häufig wurden die Testungen an Zusatzterminen angeboten, die vielfach nicht genutzt wurden. Dies führte dazu, dass der Test nicht, wie in seiner eigentlichen Form konstruiert, mehrdimensional modelliert werden konnte, sondern fachdidaktisches Wissen als eindimensionales Konstrukt behandelt wird. Die sonstige Auswertemethodik entspricht der des Fachwissenstests ([Kapitel 8.3](#)).

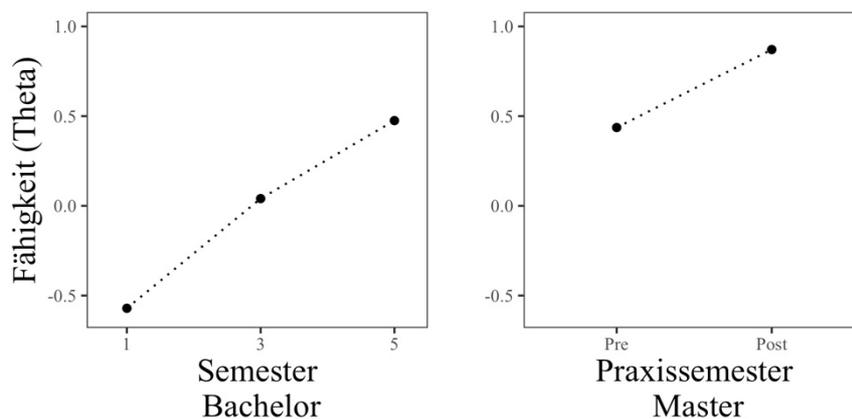
Mittels dieses Vorgehens ergaben sich für das Testinstrument zu den einzelnen Messzeitpunkten zufriedenstellende Reliabilitäten, wobei vor allem im Master eine hohe Reliabilität erreicht werden konnte (Tab.19).

Tab. 19 *Fachdidaktisches Wissen im Bachelor- und Masterstudium*

	Bachelorkohorte $n= 77$	Masterkohorte $n= 79$	
Mzp Bachelor			Mzp Master
1	<i>M</i>	-0.57	0.46
	<i>SD</i>	0.35	0.77
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.64	0.86
2	<i>M</i>	0.04	0.87
	<i>SD</i>	0.42	0.46
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.75	0.86
3	<i>M</i>	0.48	
	<i>SD</i>	0.34	
	<i>EAP-PV Rel.</i>	0.69	

Ähnlich wie auch beim fachlichen Wissen sind signifikante Zuwächse über das gesamte Bachelorstudium sowie das Praxissemester zu erkennen. Dabei ist interessanterweise zu sehen, dass zwischen dem Bachelor- und Masterstudium kaum eine Veränderung des fachdidaktischen Wissens zu erkennen ist. Es scheint auf den ersten Blick so zu sein, dass das fachdidaktische Wissen zwischen dem Bachelor- und Masterstudium sogar leicht abnimmt (Abb. 17). Jedoch ist auch hier anzumerken, dass es sich um unterschiedliche Stichproben handelt, die nur mittels einer gemeinsamen Skalierung vergleichbar sind.

Abb. 17 *Veränderung des fachdidaktischen Wissens im Bachelor- und Masterstudium*



Die Untersuchung zu den Veränderungen von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt bezieht sich daher nur auf die jeweilige Stichprobe (Bachelor oder Master). Dabei weisen die Zuwächse zwischen den einzelnen Messzeitpunkten im Bachelor- und Masterstudium hohe Effektstärken auf (Tab. 20). Diese Zuwächse sind wie bereits beschrieben signifikant.

Tab. 20 *Effektgrößen der Veränderung des fachdidaktischen Wissens im Längsschnitt Bachelor- und Masterstudium*

		Zuwachs	<i>t(df)</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
Bachelor	Veränderung	0.61	-12.25	<0.001	1.40
	Mzp1 zu Mzp2		(13.72)		
	Veränderung	0.44	-17.72	<0.001	2.02
	Mzp2 zu Mzp3		(25.64)		
Master	Veränderung	0.43	-18.74	<0.001	1.02
	Mzp1 zu Mzp2		(27.77)		

Zur Beantwortung der Forschungsfrage war es jenseits der Untersuchung der Entwicklung des fachdidaktischen Wissens insbesondere entscheidend, die Zusammenhänge dieser beiden Facetten des Professionswissens zu untersuchen. Dazu wurden zunächst die Korrelationen zwischen fachlichem und fachdidaktischem Wissen untersucht. Auch hier wurden die Korrelationen um die Reliabilitäten des Konstrukts korrigiert (Tab. 21).

Tab. 21 *Bereinigte Korrelationen zwischen fachlichem und fachdidaktischem Wissen*

		Mzp Bachelor		Mzp Master	
		<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
1	SW	0.61	<0.001	0.28	0.05
	VSW	0.51	0.003	0.26	0.08
	UW	0.45	0.04	0.26	0.08
2	SW	0.52	<0.001	0.28	0.06
	VSW	0.48	0.005	0.26	0.07
	UW	0.44	0.009	0.27	0.07
3	SW	0.57	<0.001		
	VSW	0.45	0.01		
	UW	0.37	0.06		

Dabei zeigte sich insbesondere, dass ein starker korrelativer Zusammenhang des schulischen Wissens mit dem fachdidaktischen Wissen vorliegt (Tab. 21). Dieser Zusammenhang bleibt über das gesamte Bachelorstudium relativ stabil. Die anderen Fachwissensdimensionen weisen im Vergleich dazu einen leicht geringeren

korrelativen Zusammenhang auf. Insbesondere das universitäre Wissen zeigt zum Ende des Studiums nur noch einen geringen korrelativen Zusammenhang, der nicht mehr signifikant wird. Dies könnte stark mit der großen Distanz der Inhalte dieser Fachwissensfacette zu schulischen Inhalten zusammenhängen. Da der Fachdidaktiktest zugleich inhaltlich deutlich stärker an schulische Inhalte angelehnt ist, ist dieser Befund umso weniger verwunderlich und erklärt zudem den starken Zusammenhang zwischen dem schulischen und fachdidaktischen Wissen. Dies deutet nicht zuletzt daraufhin, dass fachliches und fachdidaktisches Wissen im Master deutlich unabhängiger voneinander existieren als dies im Bachelorstudium der Fall ist. Damit stellt sich jedoch weiterhin die Frage, inwiefern das fachliche Wissen die Entwicklung des fachdidaktischen Wissens beeinflusst. Wie bereits beschrieben, geht die Forschung vielfach davon aus, dass fachliches Wissen die Voraussetzung für den Erwerb fachdidaktischen Wissens ist. Dazu wurde der Einfluss des fachlichen Wissens zum ersten Semester auf die Zunahme des fachdidaktischen Wissens untersucht. Auch hier handelt es sich wieder um Untersuchungen korrelativer und damit nicht zwangsläufig kausaler Natur. Es zeigten sich für alle Fachwissensfacetten starke korrelative Zusammenhänge zur Entwicklung des fachdidaktischen Wissens vom ersten zum zweiten Semester. Dabei verwundert am meisten der starke Zusammenhang zum universitären Wissen, der jedoch durch die Korrektur um die bereits erwähnte niedrige Reliabilität des Konstrukts zustande kommt. Dieses Ergebnis ist daher mit Vorsicht zu betrachten. Insgesamt liegt jedoch die Vermutung nahe, dass insbesondere ausgeprägtes fachliches Wissen zum ersten Messzeitpunkt einen positiven Einfluss auf die Entwicklung des fachdidaktischen Wissens nimmt. Untersuchungen zu späteren Messzeitpunkten zeigten keine korrelativen Zusammenhänge mehr. Damit kann die Forschungsfrage zwar nicht abschließend beantwortet werden, die Hinweise deuten jedoch darauf hin, dass fachliches Wissen die Entwicklung fachdidaktischen Wissens zumindest in der Studieneingangsphase begünstigen könnte.

Tab. 22 *Bereinigte Korrelationen zwischen Zuwachs des fachdidaktischen Wissens vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt und dem fachlichen Wissen zum ersten Messzeitpunkt*

	<i>r</i>	<i>p</i>
SW	0.66	<0.001
VSW	0.72	<0.001
UW	0.89	<0.001

10. Diskussion

Im vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse zunächst zusammengefasst. Im Anschluss sollen die wichtigsten Erkenntnisse diskutiert, aktuellen Forschungsergebnissen gegenübergestellt und der Zugewinn definiert werden. Gleichzeitig müssen die Grenzen der vorliegenden Untersuchung deutlich gemacht werden, die sich hinsichtlich der Durchführung und Auswertung der Untersuchung ergeben haben. Die vorliegende Arbeit soll anschließend mit einem kurzen Ausblick abgeschlossen werden, um aufzuzeigen, welche neuen Fragen sich ergeben haben und welche Fragen mit dem vorliegenden Datensatz noch bearbeitet werden könnten.

10.1 Zusammenfassung & Diskussion der Ergebnisse

Die vorliegende Forschungsarbeit hat vier Forschungsfragen untersucht. Dabei wurde im ersten Schritt die Validität des Testinstruments bzw. der damit verbundenen Aussagen in den Blick genommen. In drei Validierungsuntersuchungen wurden die inhaltliche Validität, die berufliche Relevanz und die Interpretation der Testscores als Ausprägung der intendierten Fachwissensfacette untersucht. Die im ersten Schritt durchgeführte Lehrbuchanalyse verfolgte den Zweck der Interpretierbarkeit des Testscores als Ausprägung des schulischen bzw. universitären Wissens. Dabei lag die zu prüfende Grundannahme vor, dass der konstruierte Fachwissenstest inhaltlich auf schulische bzw. universitäre Inhalte ausgerichtet ist. Um diese Grundannahme zu prüfen wurde untersucht, inwiefern die im Fachwissenstest genutzten Items inhaltlich mit schulischen bzw. universitären Lehrbüchern übereinstimmen, bzw. ob die Inhalte sich in gängigen Werken der jeweiligen Bildungseinrichtung wiederfinden. Für die Schule wurden dafür exemplarisch vier und für die Universität drei Standardwerke ausgewählt. In der Untersuchung zeigte sich eine sehr gute inhaltliche Passung der intendierten Fachwissensdimensionen. Um zusätzlich die inhaltliche Zuordnung zu überprüfen wurden Experten befragt. Auch hier ergab sich mit einem Kappa von 0.95 eine sehr gute Zuordnung der einzelnen Items, inklusive des vertieften Schulwissens zu den Fachwissensdimensionen. Hinsichtlich der ersten Validierungsuntersuchung kann also davon gesprochen werden, dass der Fachwissenstest insbesondere für das universitäre und das schulische Fachwissen eine sehr gute inhaltliche Passung besitzt und die Scores dieser Dimensionen somit als Ausprägung des schulischen bzw. universitären Wissens interpretiert werden können. Grundvoraussetzung für diese Interpretation ist, dass die Aufgaben eindeutig zu beantworten und fachlich korrekt sind. Dies wurde mehrfach geprüft.

Im nächsten Schritt der Validierungsuntersuchung wurde überprüft, inwiefern das mit dem Test erhobene fachliche Wissen in der beruflichen Situation als relevant eingeschätzt wird. Damit wird also die Frage danach gestellt, ob der erreichte Testscore als Ausprägung beruflich relevanten Fachwissens interpretiert werden kann, bzw. ob das eingesetzte Testinstrument dieses Wissen erhebt. Folgt man den Modellen des Professionswissens, so ist davon auszugehen, dass fachliches Wissen in der beruflichen Anforderungssituation wirksam wird (Carlson et al., 2019). Eine Befragung von Lehrkräften ergab, dass die Facetten des Schulwissens und des vertieften Schulwissens insgesamt als bedeutsam für das Planen und Reflektieren von Physikunterricht sowie für das Erklären im Physikunterricht angesehen werden. Das universitäre Wissen wird hingegen von den Lehrkräften als weniger relevant eingeschätzt. Damit liegt insgesamt Evidenz dafür vor, dass insbesondere die Testitems zum vertieften Schulwissen sowie zum schulischen Wissen beruflich relevantes Wissen erheben. Der erzielte Testscore dieser Facetten kann also als Ausprägung beruflich relevanten Fachwissens verstanden werden. Dies deckt sich mit der zuvor getroffenen theoretischen Annahme, dass fachliches Wissen in beruflichen Situationen einer Lehrkraft wirksam wird und knüpft damit an verschiedene Modelle der Professionswissensforschung an (e.g. Baumert & Kunter, 2011a; Carlson et al., 2019).

An dieser Stelle ist einschränkend zu sagen, dass es sich bei der vorliegenden Untersuchung mit $N = 8$ um eine eher kleine Stichprobe handelt und die Ergebnisse daher nur schwer generalisierbar sind.

In einem letzten Validierungsschritt wurde überprüft, inwiefern die Items des vertieften Schulwissens die intendierten Operationen erheben. Die übergeordnete Frage, die hier beantwortet werden sollte, ist also, ob die Items zum vertieften Schulwissen auch tatsächlich das innerhalb der vorliegenden Arbeit intendierte Konstrukt erheben. Dazu wurde eine Think-Aloud-Studie mit fünf Studierenden durchgeführt. Die Ergebnisse liefern Evidenz dafür, dass die Items die intendierten Operationen erheben und der Testscore als Ausdruck des beschriebenen vertieften Schulwissens verstanden werden kann. Darüber hinaus zeigte sich der in der Theorie vermutete Überlapp der Facette mit den übrigen Facetten des fachlichen Wissens. Das heißt, auch Items der Facetten des universitären bzw. schulischen Wissens wurden mit Operationen des vertieften Schulwissens bearbeitet und gelöst. Darüber hinaus konnte für alle Items in der Tendenz festgestellt werden, dass eine höhere Lösungswahrscheinlichkeit besteht, wenn die intendierten Operationen bzw. Inhalte verwendet wurden. Damit liegt zusätzliche Evidenz dafür vor, dass die Items vor allem den intendierten Inhalt bzw. die Operationen erheben. Insgesamt stellen die Befunde ein interessantes Ergebnis hinsichtlich der Trennbarkeit der Fachwissensfacetten dar. Während sich die Facetten auf quantitativ empirischem Wege gut trennen ließen, zeigte die Think-Aloud-Studie, dass vertieftes Schulwissen

durchaus für die Lösung von Items des universitären Wissens genutzt wurde. Darüber hinaus war festzustellen, dass auch Elemente des schulischen bzw. universitären Wissens zur Lösung von Items des vertieften Schulwissens genutzt wurden. Damit zeigt sich, ähnlich wie in diversen Definitionen des vertieften Schulwissens (e.g. Ball et al., 2008; Woitkowski, 2015), dass es einen Überlapp zu den anderen Facetten des fachlichen Wissens geben kann. In der Think-Aloud-Studie ist jedoch anzumerken, dass es sich mit $N = 5$ um eine kleine, wenn auch übliche Stichprobengröße handelt und weitere Untersuchungen zum Zwecke einer Generalisierbarkeit nötig wären.

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage musste ein mehrdimensionaler Fachwissenstest entwickelt werden. Dazu wurde das Testinstrument aus der ersten Phase des Profile-P-Projekts weiterentwickelt und wie in der Zusammenfassung der ersten Forschungsfrage beschrieben, verschiedenen Validierungsschritten unterzogen.

Innerhalb der zweiten Forschungsfrage wurden Entwicklungsverläufe des schulischen Wissens, vertieften Schulwissens und universitären Wissens in einer Längsschnittstichprobe untersucht. Erhoben wurde das fachliche Wissen von $N = 145$ Bachelor- und von $N = 77$ Masterstudierenden. Die Daten wurden gemeinsam skaliert und mittels einer mehrdimensionalen Rasch-Analyse ausgewertet. In einer Dimensionsprüfung bestätigte sich zunächst die Überlegenheit des dreidimensionalen Modells gegenüber dem ein- bzw. verschiedenen zweidimensionalen Modellen. Damit liegt aus empirischer Sicht Evidenz dafür vor, dass das fachliche Wissen des eingesetzten Testinstruments drei trennbare Facetten bzw. Dimensionen des fachlichen Wissens erhebt. Darüber hinaus weist der eingesetzte Fachwissenstest gute Reliabilitäten auf. Lediglich der Messzeitpunkt im Bachelorstudium zeigt hinsichtlich des universitären Wissens mit einer Reliabilität von 0.55 einen nicht zufriedenstellenden Wert.

Im Bachelorstudium zeigten sich signifikante Zuwächse des fachlichen Wissens auf allen postulierten Fachwissensdimensionen mit großen Effektstärken. Als Einschränkung ist hier das vertiefte Schulwissen zu sehen, das sich vom dritten zum fünften Semester kaum noch verändert. Damit decken sich die gewonnenen Erkenntnisse nicht nur mit den vorgestellten quasilängsschnittlichen Untersuchungen (Binder et al., 2019; Milster & Nordmeier, 2018; Sorge et al., 2017, 2019; Woitkowski, 2015; Woitkowski & Reinhold, 2018), sondern erweitern die bisherigen Erkenntnisse um Ergebnisse zur langfristigen mehrdimensionalen Entwicklung des fachlichen Wissens. Zusammen mit der Validierungsuntersuchung kann nun also berichtet werden, dass sich neben dem universitären Wissen, das als relevant eingeschätzte schulische Wissen und das vertiefte Schulwissen insbesondere während des ersten Studienjahres weiterentwickeln. Das leichte Abflachen des

Zuwachses vom dritten zum fünften Semester könnte mit der thematischen Ausrichtung des Testinstruments zur Mechanik zusammenhängen. Diese Inhalte werden zumeist in den ersten Semestern gelehrt, wobei in späteren Semestern beispielsweise die Elektrodynamik von größerer Bedeutung ist. Gleichzeitig stellt der Zuwachs von fachlichem Wissen in der Mechanik auch ohne darauf ausgerichtete Lehrveranstaltungen ein interessantes Ergebnis dar. Hier liegt zum einen ein Hinweis dafür vor, dass informelle Lerngelegenheiten, wie eine Beschäftigung mit physikalischen Inhalten in der Freizeit eine größere Rolle als erwartet spielen können und zum anderen Konzepte der Mechanik auch in Veranstaltungen ohne direkten Bezug zur Mechanik eine Rolle spielen können. Damit wäre die bei der Testkonstruktion getroffene Annahme, dass Mechanik als ein Ausgangspunkt für weitere Themengebiete dient, zu bestätigen. Die Stagnation des vertieften Schulwissens könnte hingegen darauf hinweisen, dass diese in der Theorie als sehr bedeutsam aufgefasste Facette des fachlichen Wissens (Ball et al., 2008; Dreher et al., 2018; Heinze et al., 2016; Riese et al., 2015; Woehlecke et al., 2017) in den seltensten Fällen expliziter Teil des Curriculums sein dürfte. Dennoch ist über das gesamte Studium hinweg eine Entwicklung dieser Fachwissensfacette zu beobachten. Dieses Ergebnis könnte mit der Trennbarkeit dieser Fachwissensfacette zusammenhängen. Während sich in der quantitativen Dimensionsanalyse zeigte, dass sich die drei postulierten Facetten trennen lassen, deutet die Auswertung der Think-Aloud-Studie stark auf eine Überschneidung des vertieften Schulwissens mit dem schulischen und universitären Wissen hin. Diese Überschneidung könnte den Zuwachs des vertieften Schulwissens erklären, da diese Facette demzufolge gemeinsam mit dem schulischen und universitären Wissen erworben wird. Gleichzeitig ist interessant, dass auch schulisches Wissen gelernt wird, obwohl das Studium stark durch akademische Veranstaltungen und damit hinsichtlich universitären Wissens geprägt ist. Damit könnte Evidenz für die Bedeutung des universitären Wissens für die Entwicklung der übrigen Fachwissensfacetten vorliegen. Es besteht die Möglichkeit, dass eine genauere Analyse der Inhalte der Lehrveranstaltungen aufschlussreich ist.

Zwischen der Master- und der Bachelorstichprobe ist erneut ein Unterschied des fachlichen Wissens festzustellen. Diese wurden jedoch aufgrund ihrer quasilängsschnittlichen Natur nicht statistisch, sondern nur grafisch miteinander verglichen. Ein erneuter Zuwachs des fachlichen Wissens konnte zwischen den zwei Messzeitpunkten des Masterstudiums festgestellt werden. Auf allen postulierten Fachwissensdimensionen gab es signifikant positive Veränderungen mit mittleren bis großen Effektstärken. Gemessen wurde dabei jeweils vor und nach dem Praxissemester. Die Forschung hat sich in diesem Zusammenhang bisher vor allem mit Selbstwirksamkeit beschäftigt (Ulrich & Gröschner, 2020). Die vorliegenden

Ergebnisse erweitern daher die bisherigen Erkenntnisse zur Bedeutung der Praxisphasen und knüpfen gleichzeitig an die bisherige Forschung zum Professionswissen an. So geht beispielweise das Refined Consensus Modell of PCK (Carlson et al., 2019) davon aus, dass Fachwissen in der Unterrichtssituation über verschiedene Layer, so z.B. dem Lernkontext, bedeutsam wird. Aber auch die umgekehrte Richtung ist in diesem Modell möglich, also auch die Unterrichtssituation bzw. die Vor- und Nachbereitung kann Einfluss auf das fachliche Wissen nehmen. Die festgestellte Entwicklung des fachlichen Wissens könnte damit ein möglicher Beleg für diesen Zusammenhang sein, denn eine Weiterentwicklung des fachlichen Wissens ist nur erklärbar, wenn sich die Studierenden während des Praxissemesters mit fachlichen Inhalten auseinandersetzen.

So ist es beispielsweise denkbar, dass sich Studierende für die Vorbereitung des Unterrichts mit geeigneter Fachliteratur beschäftigen und so spezifische Fachwissensinhalte reaktivieren oder diese neu erwerben.

In den wenigsten Fällen entfällt diese Beschäftigung auf die Begleitveranstaltungen des Praxissemesters, sondern geschieht im Selbststudium zur Vor- und Nachbereitung des Unterrichts. Damit stellt die Entwicklung des Fachwissens während des Praxissemesters einen ersten Hinweis für die Bedeutung des fachlichen Wissens für den Unterricht selbst dar. Die durchgeführte Validierungsuntersuchung hinsichtlich der beruflichen Relevanz unterstützt diese Annahme, da Lehrkräfte das im Fachwissenstest erhobene Wissen als beruflich relevant ansehen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass auch informelle Lerngelegenheiten, wie ein Gespräch über physikalische Inhalte, positiven Einfluss auf die Fachwissensentwicklung nehmen.

Insgesamt einschränkend im Rahmen der zweiten Forschungsfrage ist festzustellen, dass die Längsschnittstichprobe einen hohen Anteil an imputierten Daten aufweist, was eine mögliche Verzerrung der Entwicklungsdaten zur Folge haben könnte. Dabei wurde jedoch ein Vergleich mit einem vollständigen Datensatz gerechnet, der wiederum nahezu identische Entwicklungsverläufe aufwies.

Gleichzeitig zeigt die stetige Entwicklung des fachlichen Wissens, dass der entwickelte Test gut in der Lage ist, auch über größere Abschnitte des Studiums hinweg differenzierte Aussagen über das schulische und universitäre Wissen sowie das vertiefte Schulwissen der Studierenden zu machen.

Mit der dritten Forschungsfrage wurde untersucht, welche Bedingungsfaktoren für den Erwerb bzw. die Entwicklung des fachlichen Wissens identifiziert werden können. Untersucht wurden zu diesem Zweck die Entwicklung der Rechenfähigkeit und der korrelative Zusammenhang zum fachlichen Wissen. Zur Erhebung der Rechenfähigkeit wurde das im Fachwissenstest enthaltene Testinstrument genutzt.

Untersucht wurden auch die korrelativen Zusammenhänge zur letzten Mathematik- bzw. Abiturnote. In einem letzten Schritt wurden Extremgruppen des fachlichen Wissens gebildet, um unterschiedliche Entwicklungsverläufe des fachlichen Wissens sichtbar zu machen.

Über die deskriptiven Ergebnisse hinaus, also über die reine Veränderung der Rechenfähigkeit hinaus, konnte eine starke, signifikante Korrelation der Rechenfähigkeit zum ersten Messzeitpunkt und dem Zuwachs des fachlichen Wissens vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt auf allen Dimensionen beobachtet werden. Dies lässt vermuten, dass insbesondere die Rechenfähigkeit einen wichtigen Beitrag zum Fachwissenserwerb leistet und weiterhin Brückenkurse für das mathematische Vorwissen sinnvoll erscheinen. Zu vermuten wäre hier, dass Inhalte insgesamt besser gelernt werden, wenn das mathematische Handwerkszeug beherrscht wird, da die Mathematik eine Art Entlastung für komplexe Inhalte der Physik sein kann (Krey, 2012).

Hinsichtlich der letzten Mathematiknote sowie der Abiturnote zeigte sich ein mittlerer korrelativer, signifikanter Zusammenhang des fachlichen Wissens zum ersten Messzeitpunkt. Dies deckt sich mit bisherigen Untersuchungen zu Zusammenhängen zum fachlichen Wissen (Rach & Heinze, 2017; Sorge et al., 2017). Dieses Teilergebnis unterstreicht die Bedeutung der schulischen Vorbildung insbesondere für die Studieneingangsphase. So scheinen Studierende mit besserer Abitur- bzw. Mathematiknote ein ausgeprägteres Fachwissen zu besitzen. Dies ist insofern interessant, da wie sich zeigte, Leistungsgruppen über die Zeit erhalten bleiben. Gleichzeitig ist hier zu bemerken, dass es sich um Zusammenhänge rein korrelativer Natur handelt und der kausale Zusammenhang nur anhand bisheriger Ergebnisse vermutet werden kann. Insgesamt scheinen sich die prädiktiven Eigenschaften der Mathematik- bzw. Abiturnote für Studienerfolg (Buschhüter et al., 2017; Isleib et al., 2019) bzw. hier im konkreten Fall für Fachwissenserwerb und damit für die Prävention von Leistungsproblemen jedoch zu bestätigen.

Des Weiteren wurden Extremgruppen für die Entwicklung des fachlichen Wissens gebildet. Dazu wurde zum ersten Messzeitpunkt das fachliche Wissen in den Blick genommen und eine Aufteilung der Teilnehmenden in drei Gruppen vorgenommen – mehr als eine Standardabweichung unterhalb des Mittelwerts, Mittelwert plus minus eine Standardabweichung, mehr als eine Standardabweichung oberhalb des Mittelwerts. Dieses Vorgehen wurde für jede Fachwissensfacette genutzt, sodass insgesamt neun Gruppen entstanden. Diese Gruppen wurden dann über die Zeit verfolgt. Dabei zeigte sich, dass die Leistungsgruppen relativ stabil über die Zeit erhalten bleiben. Konkreter bedeutet dies, dass beispielsweise Studierende, die zum Beginn des Studiums ein geringes vertieftes Schulwissen haben, zwar auch deutliche Fortschritte machen, aber der Leistungsunterschied zwischen den Studierenden mit

mittlerem bzw. hohen vertieften Schulwissen erhalten bleibt. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Binder et al. (2019). Die vorliegende Untersuchung zeigt jedoch, dass die Leistungsgruppen nicht nur in der Studieneingangsphase, sondern über das gesamte Studium erhalten bleiben. Gleichzeitig ist festzustellen, dass für das vertiefte Schulwissen und das universitäre Wissen der Leistungsunterschied zwischen den Gruppen innerhalb des ersten Studienjahres deutlich größer ausfällt. Besonders groß ist der Wissenszuwachs für die Gruppe der stärksten Studierenden. Dieser Befund ist als Matthäus-Effekt bekannt und wird beispielsweise auch in der IGLU-Studie von 2003 beschrieben (Bos, 2003).

Damit erscheint es besonders lohnenswert, schwächere Studierende in der Eingangsphase des Studiums zu fördern, um die Leistungsunterschiede, welche ein häufiger Abbruchgrund sind (Albrecht & Nordmeier, 2010), ausgleichen zu können. Dazu würden sich beispielsweise die an vielen Universitäten angebotenen Brückenkurse, die häufig nur mathematische Inhalte behandeln, anbieten. Gleichzeitig wären differenzierte Kurse denkbar, die besonders leistungsschwache Studierende fördern. Ein Ansatzpunkt könnte hier die Strukturierung der Kurse sein, so hat sich in der Expertiseforschung gezeigt, dass die Strukturierung von Inhalten ein möglicher Zugang sein kann (Maurer & Rinke, 2015).

In der vierten und letzten Forschungsfrage wurde untersucht, ob der Erwerb fachlichen Wissens eine notwendige Voraussetzung für den Erwerb des fachdidaktischen Wissens darstellt. Dazu wurde der Fachdidaktiktest des Profile-P+ Projekts ebenfalls im Längsschnitt eingesetzt. Erhoben wurde also im Bachelor- und Masterstudium parallel zum Einsatz des Fachwissenstests. Dabei ergaben sich, ähnlich wie beim Fachwissenstest, signifikante Veränderungen des fachdidaktischen Wissens mit großen Effektstärken sowohl im Bachelor- als auch Masterstudium. Besonders von Interesse sind die Ergebnisse des Bachelorstudiums, machen sie doch deutlich, dass die Studierenden physikdidaktische Items lösen können, auch ohne dass dazu passende Veranstaltungen belegt wurden. Dies könnte ein Hinweis auf die Bedeutung des Fachwissens für das fachdidaktische Wissen sein. Bereits Baumert und Kunter (2006) gehen davon aus, dass fachliches Wissen die Grundlage für fachdidaktische Beweglichkeit ist, was die vorliegenden Befunde zu bestätigen scheinen. Es liegt die Vermutung nahe, dass fachliches Wissen basale fachdidaktische Fähigkeiten begünstigt.

Die untersuchten korrelativen Zusammenhänge zwischen fachlichem und fachdidaktischem Wissen scheinen dies weiter zu bestätigen. Es zeigte sich, dass ein starker korrelativer Zusammenhang aller Fachwissensfacetten mit dem fachdidaktischen Wissen vorliegt. Dieser Zusammenhang bleibt über das gesamte Bachelorstudium relativ stabil, wobei die Korrelation zum universitären Wissen zum dritten Messzeitpunkt leicht abfällt und nicht mehr signifikant wird.

Damit liegt erneut Evidenz für die enge Verzahnung zwischen fachlichem Wissen und fachdidaktischem Wissen nahe. Der geringere Zusammenhang zum universitären Wissen ist dabei nicht verwunderlich, da die fachlichen Inhalte deutlich entfernter von schulischen Inhalten und damit vom fachdidaktischen Wissen sind. Im Master ergibt sich ein sehr anderes Bild. Hier kann man nur leichte, meist nicht signifikante Korrelationen des Fachwissens mit dem fachdidaktischen Wissen feststellen. Ähnliche Ergebnisse finden Sorge et al. (Sorge et al., 2017), die davon ausgehen, dass die Zusammenhänge zwischen fachlichem und fachdidaktischem Wissen im Verlaufe des Studiums komplexer werden und sich distinktere Facetten des professionellen Wissens herausbilden. Ebenfalls untersucht wurden die Korrelationen zwischen dem Zuwachs des fachdidaktischen Wissens vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt und dem fachlichen Wissen zum ersten Messzeitpunkt. Dabei ergaben sich hohe, signifikante Korrelationen. Damit liegt ebenfalls Evidenz hinsichtlich der Bedeutung des fachlichen Wissens für die Entwicklung des fachdidaktischen Wissens vor. Somit kann über fachdidaktische Beweglichkeit hinaus davon ausgegangen werden, dass ein ausgeprägtes fachliches Wissen, insbesondere vertieftes Schulwissen und schulisches Wissen, die Entwicklung fachdidaktischen Wissens begünstigt.

Einschränkend ist im Zuge dieser Untersuchung sicherlich zu sagen, dass es sich hier erneut nur um Zusammenhänge korrelativer Natur handelt. Interessant ist darüber hinaus, dass zwischen den zwei Kohorten, die gemeinsam skaliert wurden, kein Zuwachs des fachdidaktischen Wissens mehr zu beobachten ist, obwohl in diesem Bereich eine Vielzahl von fachdidaktischen Veranstaltungen besucht werden. Ein möglicher Grund könnten kohortenspezifische Effekte oder ein Verlernen von Fähigkeiten sein. Die Zuwächse im Master könnten ähnlich wie beim fachlichen Wissen im engen Zusammenhang zum Refined Consensus Modell of Pedagogical Content Knowledge (Carlson et al., 2019) stehen, in dem die Unterrichtssituation im Praxissemester Einfluss auf das Personal PCK der Studierenden nimmt, bzw. die Studierenden es in der Situation des Unterrichtens, Planens und Erklärens benötigen. Ein erneuter Zuwachs aufgrund der Beschäftigung mit fachdidaktischen Inhalten wäre damit erklärbar.

10.2 Ausblick

Auch nach den umfangreichen Untersuchungen und Erkenntnissen bleiben zahlreiche Fragen offen. So konnte in dieser Arbeit nicht der konkrete Einfluss der Veranstaltungen auf den Lernzuwachs der Studierenden beschrieben werden. Da pro Studienjahr mehrere Veranstaltungen belegt wurden, wäre es sinnvoll, einen kleinschrittigeren Längsschnitt vorzunehmen, der die Zuwächse noch präziser auflösen kann. Die vorliegenden Daten ermöglichen bisher nur eine Clusterung von Veranstaltungen und lassen beispielsweise die Frage offen, wo vertieftes Schulwissen erworben wird, wenn es doch meist kein expliziter Bestandteil der Lehrveranstaltungen ist. Die Bildung von Extremgruppen in der vorliegenden Arbeit war dabei ein erster Schritt, um besser beschreiben zu können, wie sich individuelle Gruppen entwickeln, um mögliche Fördermaßnahmen zu konzipieren. Denkbar wären an dieser Stelle beispielsweise Begleitveranstaltungen, die zusätzlich an bestehendes Wissen anknüpfen und durch zusätzliche Lernangebote ein homogeneres Leistungsbild zu Beginn des Studiums erzielen. So könnte unter Umständen auch den großen Abbruchquoten im Physikstudium entgegengewirkt werden.

Darüber hinaus wäre eine Untersuchung der informellen Lerngelegenheiten sinnvoll, die den Fachwissenszuwachs noch besser erklären könnten. Dazu liegen Daten aus der durchgeführten Studie vor, die weiteren Betrachtungen unterzogen werden können. Auch längerfristige Untersuchungen, das heißt ein echter Längsschnitt über das gesamte Lehramtsstudium, wären hier interessant.

Für zukünftige Untersuchungen wird weiterhin der Stichprobenausfall eine Herausforderung sein, wobei sich die genutzte Methode der Imputationen bewährt zu haben scheint. Monetäre Anreize, um dem Stichprobenausfall entgegen zu wirken, waren im vorliegenden Projekt nicht so erfolgreich wie gewünscht. Es könnte hingegen ratsam sein, die Teilnahme an größeren Längsschnittstudien in das universitäre Curriculum einzubinden und die Studierenden an anderer Stelle zu entlasten. Gleichzeitig könnte darüber nachgedacht werden, den Fachwissenstest über mehrere Themenbereiche der Physik auszuweiten, um zum einen ein breites Bild des Fachwissens untersuchen zu können und zum anderen mögliche Deckeneffekte zu vermeiden.

Ebenfalls ungeklärt bleibt die komplexe Wirkkette von Professionswissen auf Unterrichtsqualität. So konnte die vorliegende Arbeit zwar erste Hinweise darauf finden, dass Fachwissen in verschiedenen unterrichtlichen Situationen relevant sein könnte, die konkrete Wirkkette muss jedoch in weiteren Untersuchungen in den Blick gerückt werden. Interessant werden hier die Zusammenhangsanalysen des Verbundprojekts ProfiLe-P+ sein, die die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit einbeziehen können. Damit kann die Bedeutung des Fachwissens für die konkrete

Anwendungssituation noch besser geklärt werden. An dieser Stelle scheinen auch zusätzliche Untersuchungen sinnvoll, die die Bedeutung des vertieften Schulwissens näher in den Blick nehmen, da die Trennbarkeit der Fachwissensfacetten zumindest auf qualitativer Ebene, in Zweifel zu ziehen ist. Weitere Untersuchungen, die die Trennbarkeit dieser Facette überprüfen, scheinen hier angeraten. Darüber hinaus stellt sich auch weiterhin die Frage nach der gesonderten Bedeutung des vertieften Schulwissens für die unterrichtliche Anwendungssituation.

Auch das universitäre Wissen sollte weitere Beachtung erfahren, wird es doch von Lehrkräften als in der Tendenz weniger wichtig für das Vorbereiten und Durchführen von Physikunterricht gesehen. Gleichzeitig wird in der universitären Lehramtsausbildung an dieser Facette des Fachwissens festgehalten, um einen breiteren Überblick über das Fachwissen zu ermöglichen. Damit ergibt sich ein spannender Forschungsansatz, welcher der Frage nachgehen könnte, inwieweit stark akademisch geprägtes Fachwissen für Lehrkräfte von Bedeutung sein könnte. Interessant sind dabei die Befunde, dass trotz stark akademisch geprägter Ausbildung auch schulische Inhalte gelernt werden.

Literaturverzeichnis

- Abell, S. K. (2007). Research on science teachers' knowledge. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 1105–1149). Lawrence Erlbaum Associates.
- Aebli, H. (2011). *Zwölf Grundformen des Lehrens: Eine allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage; Medien und Inhalte didaktischer Kommunikation, der Lernzyklus* (14. Auflage). Klett-Cotta.
- Albrecht, A., & Nordmeier, V. (2010). Studienerfolg im Fach Physik. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2009*.
<http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/121>
- Amelang, M., & Schmidt-Atzert, L. (2006). *Psychologische Diagnostik und Intervention*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/3-540-28507-5>
- Appel, T. (Hrsg.). (2016). *Spektrum Physik. 7/10, [Schülerband]: ...* (Gymnasium, Niedersachsen, Druck A). Schroedel.
- Arnold, R. (2002). Von der Bildung zur Kompetenzentwicklung. In E. Nuissl, C. Schiersmann, H. Siebert, & Deutsches Institut für Erwachsenen Bildung (DIE) (Hrsg.), *Thema: Kompetenzentwicklung statt Bildungsziele?* (S. 26–38). Bertelsmann.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The Control of Short-Term Memory. *Scientific American*, 225(2), 82–91. JSTOR.
- Baer, M., Dörr, G., Fraefel, U., Kocher, M., Küster, O., Larcher, S., Müller, P., Sempert, W., & Wyss, C. (2007). Werden angehende Lehrpersonen durch das Studium kompetenter? Kompetenzaufbau und Standarderreichung in der berufswissenschaftlichen Ausbildung an drei Pädagogischen Hochschulen in der Schweiz und in Deutschland. *Unterrichtswissenschaft*, 35(1), 15–47.
- Ball, D. L. (1993). With an Eye on the Mathematical Horizon: Dilemmas of Teaching Elementary School Mathematics. *The Elementary School Journal*, 93(4), 373–397. JSTOR.
- Ball, D. L., Thames, M. H., & Phelps, G. (2008). Content Knowledge for Teaching: What Makes It Special? *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389–407.
<https://doi.org/10.1177/0022487108324554>
- Barmeier, M. (Hrsg.). (2013). *Prisma Physik. 7-10, [Schülerbd.]: ...* (Ausg. A, differenzierende Ausg., 1. Aufl., Dr. 1). Klett.
- Bass, H. (2005). Mathematics, mathematicians, and mathematics education. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 42(04), 417–431.
<https://doi.org/10.1090/S0273-0979-05-01072-4>

-
- Baumert, J., Beck, E., Glage, L., Götz, M., Freisel, L., Hasselhorn, M., Langfeldt, H. P., Lemmermöhle, D., Nickolaus, R., Scheunpflug, A., Spinner, K., & Werning, R. (2007). *Ausbildung von Lehrerinnen und Lehrern in Nordrhein-Westfalen. Empfehlungen der Expertenkommission zur Ersten Phase*. <http://www.innovation.nrw.de/downloads/Broschuere.pdf>
- Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2>
- Baumert, J., & Kunter, M. (2011a). Das Kompetenzmodell von COACTIV. In *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29–53). Waxmann.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2011b). Das mathematikspezifische Wissen von Lehrkräften, kognitive Aktivierung im Unterricht und Lernfortschritte von Schülerinnen und Schülern. In *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 163–192). Waxmann.
- Baumert, J., Kunter, M., Blum, W., Brunner, M., Voss, T., Jordan, A., Klusmann, U., Krauss, S., Neubrand, M., & Tsai, Y.-M. (2010). Teachers' Mathematical Knowledge, Cognitive Activation in the Classroom, and Student Progress. *American Educational Research Journal*, 47(1), 133–180. <https://doi.org/10.3102/0002831209345157>
- Beck, B., & Klieme, E. (Hrsg.). (2007). *Sprachliche Kompetenzen: Konzepte und Messung: DESI-Studie (Deutsch Englisch Schülerleistungen International)*. Beltz Verlag.
- Berry, A., Friedrichsen, P. J., & Loughran, J. (Hrsg.). (2015). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*. Routledge.
- Binder, T., Schmiemann, P., & Theyssen, H. (2019). Knowledge Acquisition of Biology and Physics University Students—The Role of Prior Knowledge. *Education Sciences*, 9(4), 281. <https://doi.org/10.3390/educsci9040281>
- Blömeke, S., Gustafsson, J.-E., & Shavelson, R. J. (2015). Beyond Dichotomies: Competence Viewed as a Continuum. *Zeitschrift Für Psychologie*, 223(1), 3–13. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194>
- Boone, W. J., Staver, J. R., & Yale, M. S. (2014). *Rasch Analysis in the Human Sciences*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6857-4>
- Borowski, A., Ehlert, A., & Precht, H. (Hrsg.). (2018). *PSI-Potsdam: Ergebnisbericht zu den Aktivitäten im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung (2015-2018)*. Universitätsverlag Potsdam.
- Borowski, A., Kirschner, S., Liedtke, S., & Fischer, H. E. (2011). Vergleich des Fachwissens von Studierenden, Referendaren und Lehrenden in der Physik. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(10), 01–09.

- Borowski, A., Neuhaus, B. J., Tepner, O., Wirth, J., Fischer, H. E., Leutner, D., Sandmann, A., & Sumfleth, E. (2010). Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften (ProwiN)—Kurzdarstellung des BMBF-Projekts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *16*, 341–350.
- Bos, W. (Hrsg.). (2003). *Erste Ergebnisse aus IGLU: Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich*. Waxmann.
- Böwing-Schmalenbrock, M., & Jurczok, A. (2012). *Multiple Imputation in der Praxis: Ein sozialwissenschaftliches Anwendungsbeispiel*. Universität Potsdam.
- Bromme, R. (2002). Beyond subject matter: A psychological topology of teachers' professional knowledge. In R. Biehler (Hrsg.), *Didactics of mathematics as a scientific discipline* (S. 73–88). Kluwer Academic Publishers.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=76095>
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (3., aktualisierte und erweiterte Auflage). Pearson.
- Buschhüter, D., Borowski, A., Enkrott, P., Kempin, M., Kulgemeyer, C., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H., Schröder, J., & Vogelsang, C. (2018). Profile-P+—Entwicklung von Kompetenz und Performanz im Physiklehramt. *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen*, 828.
- Buschhüter, D., Spoden, C., & Borowski, A. (2017). Studienerfolg im Physikstudium: Inkrementelle Validität physikalischen Fachwissens und physikalischer Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *23*(1), 127–141. <https://doi.org/10.1007/s40573-017-0062-7>
- Buuren, S. van. (2018). *Flexible imputation of missing data* (Second edition). CRC Press, Taylor & Francis Group. <https://stefvanbuuren.name/fimd/>
- Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., Carpendale, J., Kam Ho Chan, K., Cooper, R., Friedrichsen, P., Gess-Newsome, J., Henze-Rietveld, I., Hume, A., Kirschner, S., Liepertz, S., Loughran, J., Mavhunga, E., Neumann, K., Nilsson, P., ... Wilson, C. D. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 77–94). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2
- Cauet, E. (2016). *Testen wir relevantes Wissen? Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften und gutem und erfolgreichem Unterrichten*. Logos Verlag Berlin GmbH.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, *82*(6), 407–428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.82.6.407>

-
- Czerwenka, K., & Nölle, K. (2014). Forschung zur ersten Phase der Lehrerbildung. In E. Terhart, H. Bennewitz, & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (2. überarbeitete und erweiterte Auflage). Waxmann.
- Demtröder, W. (2006). *Mechanik und Wärme*. Springer.
- Deng, Z. (2007). Knowing the subject matter of a secondary-school science subject. *Journal of Curriculum Studies*, 39(5), 503–535.
<https://doi.org/10.1080/00220270701305362>
- Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V. (Hrsg.). (2014). *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.* DPG.
- Döbrich, P., Klemm, K., Knauss, G., & Lange, H. (2003). *Ausbildung, Einstellung und Förderung von Lehrerinnen und Lehrern (OECD-Lehrerstudie). Ergänzende Hinweise zu dem Nationalen Hintergrundbericht (CBR) für die Bundesrepublik Deutschland*. <http://www.oecd.org/education/school/suplement.pdf>
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage). Springer.
- Dorsch, F., Wirtz, M. A., & Strohmmer, J. (Hrsg.). (2017). *Dorsch—Lexikon der Psychologie* (18., überarbeitete Auflage). Hogrefe.
- Dreher, A., Lindmeier, A., & Heinze, A. (2016, August 5). *Conceptualizing professional content knowledge of secondary teachers taking into account the gap between academic and school mathematics*. PME Conference, Szeged Hungary.
- Dreher, A., Lindmeier, A., Heinze, A., & Niemand, C. (2018). What Kind of Content Knowledge do Secondary Mathematics Teachers Need?: A Conceptualization Taking into Account Academic and School Mathematics. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 39(2), 319–341. <https://doi.org/10.1007/s13138-018-0127-2>
- Düchs, G., & Ingold, G.-L. (2015). Gut geparkt ist noch nicht studiert. *Physik Journal*, 15, 28–33.
- Fischer, H., Borowski, A., & Tepner, O. (2012). Professional Knowledge of Science Teachers. In B. J. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Hrsg.), *Second International Handbook of Science Education* (S. 435–448). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_30
- Fischer, H. E., Labudde, P., Neumann, K., & Viiri, J. (Hrsg.). (2014). *Quality of instruction in physics: Comparing Finland, Germany, and Switzerland*. Waxmann.
- Frensch, P. A., & Rüniger, D. (2003). Implicit Learning. *Current Directions in Psychological Science*, 12(1), 13–18. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.01213>

- Geißler, K. A., & Orthey, F. M. (2002). Kompetenz: Ein Begriff für das verwertbare Ungefähre. In E. Nuissl, C. Schiersmann, H. Siebert, & Deutsches Institut für Erwachsenen Bildung (DIE) (Hrsg.), *Thema: Kompetenzentwicklung statt Bildungsziele?* (S. 69–79). Bertelsmann.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*, 28–42.
- Gess-Newsome, J., & Lederman, N. G. (1995). Biology teachers' perceptions of subject matter structure and its relationship to classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), 301–325.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660320309>
- Gigl, F., Zander, S., Borowski, A., & Fischer, H. E. (2015). Erfassung des Fachwissens von Lehramtsstudierenden der Physik. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität—Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014* (S. 112–114).
- Gramzow, Y. (2015). *Fachdidaktisches Wissen von Lehramtsstudierenden im Fach Physik: Modellierung und Testkonstruktion*. Logos-Verl.
- Grangeat, M. (2016). *Understanding Science Teachers' Professional Knowledge Growth*. SensePublishers.
<http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4188243>
- Grehn, J., & Krause, J. (Hrsg.). (2015). *Metzler Physik. Schülerbd. ...* (4. Aufl., Dr. A 9). Schroedel.
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. Teachers College Press, Teachers College, Columbia University.
- Hartig, J., & Kühnbach, O. (2006). Schätzung von Veränderung mit „plausible values“ in mehrdimensionalen Rasch-Modellen. In A. Ittel & H. Merckens (Hrsg.), *Veränderungsmessung und Längsschnittstudien in der empirischen Erziehungswissenschaft* (S. 27–44). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
https://doi.org/10.1007/978-3-531-90502-0_3
- Heinze, A., Dreher, A., Lindmeier, A., & Niemand, C. (2016). Akademisches versus schulbezogenes Fachwissen – ein differenzierteres Modell des fachspezifischen Professionswissens von angehenden Mathematiklehrkräften der Sekundarstufe. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 19(2), 329–349.
<https://doi.org/10.1007/s11618-016-0674-6>
- Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J., & Woisch, A. (2017). *Zwischen Studierenerwartungen und Studienwirklichkeit: Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen*. DZHW, Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung.

-
- Hill, H. C., Rowan, B., & Ball, D. L. (2005). Effects of Teachers' Mathematical Knowledge for Teaching on Student Achievement. *American Educational Research Journal Summer*, 42(2), 371–406.
- Hirschfelder, D. (2006). Der „Nürnberger Trichter“ – Ein Allheilmittel gegen die Dummheit? *KulturGut. Aus der Forschung des Germanischen Nationalmuseums*, 8, 3–5.
- Impulse Physik: Für die Gymnasien in Hessen. Schülerband: ...* (Sekundarstufe I, Neubearbeitung, 1. Auflage, Hessen, [Gymnasium]). (2013). Ernst Klett Verlag.
- Isleib, S., Woisch, A., & Heublein, U. (2019). Ursachen des Studienabbruchs: Theoretische Basis und empirische Faktoren. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 22(5), 1047–1076. <https://doi.org/10.1007/s11618-019-00908-x>
- Kane, M. T. (2001). Current Concerns in Validity Theory. *Journal of Educational Measurement*, 38(4), 319–342. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.2001.tb01130.x>
- Kane, M. T. (2013). Validating the Interpretations and Uses of Test Scores: Validating the Interpretations and Uses of Test Scores. *Journal of Educational Measurement*, 50(1), 1–73. <https://doi.org/10.1111/jedm.12000>
- Kauertz, A. (2008). *Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben*. Logos-Verl.
- Kempin, M., Kulgemeyer, C., & Schecker, H. (2019). Wirkung von Professionswissen und Praxisphasen auf die Reflexionsfähigkeit von Physiklehramtsstudierenden. *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2014, 439.
- Kirschner, S. (2013). *Modellierung und Analyse des Professionswissens von Physiklehrkräften*. Logos Verlag.
- Klauer, K. J., & Leutner, D. (2007). *Lehren und Lernen: Einführung in die Instruktionspsychologie* (1. Aufl). Beltz.
- Klein, F. (1968). *Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus: Arithmetik algebra analysis*. Springer.
- Klieme, E., & Hartig, J. (2008). Kompetenzkonzepte in den Sozialwissenschaften und im erziehungswissenschaftlichen Diskurs. In M. Prenzel, I. Gogolin, & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik* (S. 11–29). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90865-6_2
- Klieme, E., & Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 876–903.

- Köller, O., & Baumert, J. (2002). Das Abitur—Immer noch ein gültiger Indikator für die Studierfähigkeit? *Aus Politik und Zeitgeschichte*, v.52, 12-19 (2002).
- Konferenz der Fachbereiche Physik. (2011). *Empfehlung der Konferenz der Fachbereiche Physik zum Umgang mit den Mathematikkenntnissen von Studienanfängern der Physik*.
- Korneck, F., Lamprecht, J., Wodzinski, R., & Schecker, H. (2010). *Quereinsteiger in das Lehramt Physik—Lage und Perspektiven der Physiklehrausbildung in Deutschland: Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V.* DPG.
- Krauss, S., Neubrand, M., Blum, W., Baumert, J., Brunner, M., Kunter, M., & Jordan, A. (2008). Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 29(3–4), 233–258. <https://doi.org/10.1007/BF03339063>
- Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik: Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*. Logos-Verl.
- Krüger, D., Parchmann, I., & Schecker, H. (Hrsg.). (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer Spektrum.
- Kulgemeyer, C. (2016). *Physik erklären*. Friedrich.
- Kulgemeyer, C., & Riese, J. (2018). From professional knowledge to professional performance: The impact of CK and PCK on teaching quality in explaining situations. *Journal of Research in Science Teaching*. <https://doi.org/10.1002/tea.21457>
- Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2008). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. D. F. vom 16.05.2019*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf
- Kunter, M., & Trautwein, U. (2013). *Psychologie des Unterrichts*. UTB GmbH. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201308055190>
- Kunter, M., & Trautwein, U. (2018). *Psychologie des Unterrichts*. Ferdinand Schöningh.
- Liepert, S. (2017). *Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, dem sachstrukturellen Angebot des Unterrichts und der Schülerleistung*. Logos Verlag GmbH.
- Liepert, S., & Borowski, A. (2019). Testing the Consensus Model: Relationships among physics teachers' professional knowledge, interconnectedness of content structure and student achievement. *International Journal of Science Education*, 41(7), 890–910. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1478165>

-
- Lüdtke, O., Robitzsch, A., Trautwein, U., & Köller, O. (2007). Umgang mit fehlenden Werten in der psychologischen Forschung. *Psychologische Rundschau*, 58(2), 103–117. <https://doi.org/10.1026/0033-3042.58.2.103>
- Massolt, J., & Borowski, A. (2020). Perceived relevance of university physics problems by pre-service physics teachers: Personal constructs. *International Journal of Science Education*, 42(2), 167–189. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1705424>
- Maurer, C., & Rinke, K. (2015). Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität—Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014*, (S. 397–389). IPN Kiel.
- Mayer, R. E. (2011). *Applying the science of learning*. Pearson/Allyn & Bacon.
- Mayring, P. (2016). *Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine Anleitung zu qualitativem Denken* (6., überarbeitete Auflage). Beltz.
- Mazur, E. (1997). *Peer instruction: A user's manual*. Prentice Hall.
- Mazur, E. (2017). Force Concept Inventory. In G. Kurz & U. Harten (Hrsg.), *Peer Instruction* (S. 59–72). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54377-1_8
- Mietzel, G. (2017). *Pädagogische Psychologie des Lernens und Lehrens* (9., aktualisierte und erweiterte Auflage). Hogrefe.
- Miller, G. E. (1990). The assessment of clinical skills/competence/performance: *Academic Medicine*, 65(9), S63-7. <https://doi.org/10.1097/00001888-199009000-00045>
- Milster, J.-J., & Nordmeier, N. (2018). *Professionelle Kompetenzen von Quereinsteiger*innen im Q-Master*. Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik., Kiel: IPN.
- Moosbrugger, H., & Kelava, A. (Hrsg.). (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion: Mit 66 Abbildungen und 41 Tabellen* (2., aktualisierte und überarbeitete Auflage). Springer.
- Müller, J. (2019). *Studienerfolg in der Physik: Zusammenhang zwischen Modellierungskompetenz und Studienerfolg*. Logos Verlag Berlin.
- Neugebauer, M., Heublein, U., & Daniel, A. (2019). Studienabbruch in Deutschland: Ausmaß, Ursachen, Folgen, Präventionsmöglichkeiten. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 22(5), 1025–1046. <https://doi.org/10.1007/s11618-019-00904-1>
- Neumann, K., Fischer, H. E., & Sumfleth, E. (2008). Vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen im Chemie- und Physikunterricht › Forschungs-Explorer. In E.-M. Lankes & Deutsche Gesellschaft für Erziehungswissenschaft (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung*. Waxmann.

- Neuweg, H. G. (2014). Das Wissen der Wissensvermittler. In E. Terhart, H. Bennewitz, & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (2. überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 583–614). Waxmann.
- Newman, D. A. (2003). Longitudinal Modeling with Randomly and Systematically Missing Data: A Simulation of Ad Hoc, Maximum Likelihood, and Multiple Imputation Techniques. *Organizational Research Methods*, 6(3), 328–362.
<https://doi.org/10.1177/1094428103254673>
- Newton, P. (2013). *Validity and educational assessment* (1st ed). Sage Publications.
- Nowak, A., Liepertz, S., & Borowski, A. (2018). Reflexionskompetenz von Praxissemesterstudierenden im Fach Physik. In C. Maurer (Hrsg.), *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen* (S. 150). Universität Regensburg.
- Ohle-Peters, A., Fischer, H., & Kauertz, A. (2011). Der Einfluss des physikalischen Fachwissens von Primarstufenlehrkräften auf Unterrichtsgestaltung und Schülerleistung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 357–389.
- Oser, F. (Hrsg.). (2001). *Die Wirksamkeit der Lehrerbildungssysteme: Von der Allrounderbildung zur Ausbildung professioneller Standards*. Rüegger.
- Oser, F., & Baeriswyl, F. (2001). Choreographies of Teaching: Bridging Instruction to Learning. In V. Richardson & American Educational Research Association (Hrsg.), *Handbook of research on teaching* (4th ed). American Educational Research Association.
- Oser, F., & Renold, U. (2005). Kompetenzen von Lehrpersonen—Über das Auffinden von Standards und ihre Messung. In I. Gogolin, H.-H. Krüger, D. Lenzen, & T. Rauschenbach (Hrsg.), *Standards und Standardisierungen in der Erziehungswissenschaft* (S. 119–140). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
https://doi.org/10.1007/978-3-322-80769-4_9
- Park, S., & Oliver, J. S. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261–284.
<https://doi.org/10.1007/s11165-007-9049-6>
- Paus, H. J. (2007). *Physik in Experimenten und Beispielen* (3., aktualisierte Aufl). Hanser.
- Rach, S., & Heinze, A. (2017). The Transition from School to University in Mathematics: Which Influence Do School-Related Variables Have? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(7), 1343–1363.
<https://doi.org/10.1007/s10763-016-9744-8>
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Logos Verlag.
- Riese, J. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Wirksamkeit der universitären Lehrerbildung. Indizien für notwendige Veränderungen der fachlichen Ausbildung von Physiklehrkräften. *PhyDid A*, 9(1), 25–33.

-
- Riese, J., Kulgemeyer, C., Zander, S., Borowski, A., Fischer, H. E., Gramzow, Y., Reinhold, P., Schecker, H., & Tomczyszyn, E. (2015). Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik. *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft 61*, 55–79.
- Riese, J., & Reinhold, P. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Struktur professioneller Handlungskompetenz von angehenden Physiklehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16.
- Robitzsch, A., Kiefer, T., & Wu, M. (2020). *Test Analysis Modules*.
- Rost, J. (1996). *Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion* (1. Aufl.). Huber.
- Rothland, M. (Hrsg.). (2013). *Belastung und Beanspruchung im Lehrerberuf*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-18990-1>
- Sadler, P. M., Sonnert, G., Coyle, H. P., Cook-Smith, N., & Miller, J. L. (2013). The Influence of Teachers' Knowledge on Student Learning in Middle School Physical Science Classrooms. *American Educational Research Journal*, 50(5), 1020–1049. <https://doi.org/10.3102/0002831213477680>
- Saterdag, H. (2012). Entwicklung und Vereinbarung von Rahmencurricula für Lehramtsstudiengänge durch die Kultusministerkonferenz. In C. Kraler & H. Schnabel-Schüle (Hrsg.), *Kulturen der Lehrerbildung: Professionalisierung eines Berufsstands im Wandel*. Waxmann.
- Schaper, N. (2009). Aufgabenfelder und Perspektiven bei der Kompetenzmodellierung und -messung in der Lehrerbildung. *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*, 2(1), 166–199.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Schwackhamer, G., Hestenes, D., & Hestenes, L. (2005). *Energy Concept Inventory (ECI)*. <https://energyeducation.eku.edu/sites/energyeducation.eku.edu/files/EnergyConceptInventory.pdf>
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–23. <https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>
- Shulman, L. S. (2004). Knowledge and Teaching: Foundations of the new Reform (1987). In S. M. Wilson & L. S. Shulman, *The wisdom of practice: Essays on teaching, learning, and learning to teach* (1st ed). Jossey-Bass.

- Sorge, S., Keller, M. M., Neumann, K., & Möller, J. (2019). Investigating the relationship between pre-service physics teachers' professional knowledge, self-concept, and interest. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(7), 937–955. <https://doi.org/10.1002/tea.21534>
- Sorge, S., Kröger, J., Petersen, S., & Neumann, K. (2017). Structure and development of pre-service physics teachers' professional knowledge. *International Journal of Science Education*, 1–28. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1346326>
- Stadler, M. A., & Frensch, P. A. (Hrsg.). (1998). *Handbook of implicit learning*. Sage Publications.
- Strobl, C. (2015). *Das Rasch-Modell: Eine verständliche Einführung für Studium und Praxis* (3. erweiterte Auflage). Reiner Hampp Verlag.
- Tai, R., Sadler, P., & J. Mintzes, J. (2006). *Factors Influencing College Science Success* (Bd. 36).
- Terhart, E. (Hrsg.). (2000). *Perspektiven der Lehrerbildung in Deutschland: Abschlussbericht der von der Kultusministerkonferenz eingesetzten Kommission*. Beltz.
- Tipler, P. A., Mosca, G., Kersten, P., & Wagner, J. (2019). *Physik: Für Studierende der Naturwissenschaften und Technik*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58281-7>
- Toulmin, S. E. (2003). *The uses of argument*. Cambridge University Press. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=120780>
- Ulrich, I., & Gröschner, A. (Hrsg.). (2020). *Praxissemester im Lehramtsstudium in Deutschland: Wirkungen auf Studierende* (Bd. 9). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-24209-1>
- Vogelsang, C. (2014). Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. *Studien zum Physik- und Chemielernen*, 174(April), 595.
- Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Kulgemeyer, C., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H., & Schröder, J. (2019). Entwicklung von Professionswissen und Unterrichtsperformanz im Lehramtsstudium Physik – Analysen zu valider Testwertinterpretation. *Zeitschrift für Pädagogik*, 65(4), 473–491. <https://doi.org/10.3262/ZP1904473>
- Vogelsang, C., & Woitkowski, D. (2017). *Physikdidaktische Forschung in der Hochschule. Eine Übersicht über Forschungsdesigns und -methoden*. 21.
- Weinert, F. E. (Hrsg.). (2001). *Leistungsmessungen in Schulen* (Dr. nach Typoskript). Beltz.

-
- Woehlecke, S., Massolt, J., Goral, J., Hassan, S., Seider, J., Borowski, A., Fenn, M., Kortenkamp, U., & Glowinski, I. (2017). Das erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext als fachübergreifendes Konstrukt und die Anwendung im universitären Lehramtsstudium. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 35, 413–426.
- Woitkowski, D. (2015). *Fachliches Wissen Physik in der Hochschulausbildung: Konzeptualisierung, Messung, Niveaubildung*. Logos-Verl.
- Woitkowski, D., & Borowski, A. (2017). Fachwissen im Lehramtsstudium Physik. In H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik* (S. 57–74). Logos Verlag.
- Woitkowski, D., & Reinhold, P. (2018). Fachwissenserwerb in der Studieneingangsphase Physik—Ein Längsschnitt. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (S. 532).
- Woitkowski, D., Riese, J., & Reinhold, P. (2011). Modellierung fachwissenschaftlicher Kompetenz angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 289–314.
- Wu, H.-H. (2011). The mis-education of mathematics teachers. *Notices of the American Mathematical Society*, 58.
- Wu, M., Tam, H. P., & Jen, T.-H. (2016). *Educational Measurement for Applied Researchers*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-3302-5>

Anhang



Demographische Daten und persönliche Einstellungen – 10 Minuten

Von der Testadministration einzutragen:

Erhebungseinheit

– – –

Laufende Nummer

Untersuchung des Professionswissens Physik

Liebe Studierende,

der vor Ihnen liegende Test ist Teil eines Forschungsprogramms, das uns helfen soll, die **Qualität der Physik-Ausbildung** (insbesondere für das Lehramt) an deutschen Hochschulen zu beurteilen und ggf. zu verbessern.

Die Ihnen vorliegenden Testhefte sind anonymisiert und über einen von Ihnen generierten Code kodiert.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!



DEMOGRAPHISCHE DATEN

1. PERSÖNLICHER CODE

Die Beantwortung des Fragebogens ist freiwillig und anonym, Ihre Antworten werden streng vertraulich behandelt. Eventuell möchten wir Sie zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal befragen. Dazu ist es notwendig, dass Sie einen Code erhalten. Bei der nächsten Befragung müssen Sie diesen Code dann wieder angeben. Dadurch können wir Ihre Fragebögen in anonymer Form einander zuordnen. Der Code lautet:

Zweiter Buchstabe des Vornamens Ihrer Mutter []

Zweiter Buchstabe des Vornamens Ihres Vaters []

Zweiter Buchstabe Ihres Geburtsortes []

Ihr Geburtstag ist am [] . XX. 19XX

Tag Monat Jahr

2. ALLGEMEINES

2.1. Geschlecht: weiblich männlich

2.2. Alter: []

3. SCHULZEIT

3.1. Welche Ausbildung(en) haben Sie vor Aufnahme Ihres Studiums abgeschlossen?

Abitur

Fachabitur

Ausbildung im Beruf: []

abgeschlossenes Studium: []

Sonstiges: []

Fragen zur Hochschulreife

Bitte beantworten Sie die Fragen 3.2. – 3.3 nur, wenn Sie die Hochschulreife in Deutschland erlangt haben!

3.2. Meine Abiturnote betrug [__,__]. Beispiel: [2,4]
Alternativ: Welche Abschlussnote haben Sie in Ihrer letzten Ausbildung erreicht? [__,__]

3.3. Welches Abitur haben sie abgelegt?
 Abitur nach Klasse 12 (G8)
 Abitur nach Klasse 13 (G9)
 anders, nämlich [_____]

Bitte beantworten Sie Frage 3.4 nur, wenn sie Ihren Schulabschluss nicht in Deutschland erlangt haben!

3.4. Meine Abschlussnote für die Hochschulzugangsberechtigung betrug [__,__].

Bitte geben sie Schulnoten von 1 bis 6 an, bzw. Punkte im Bereich von 15 bis 0 an, wobei 15 Punkte der Note 1+ und 0 Punkte der Note 6 entsprechen.

3.5. Meine letzte Physiknote war: [_____] (alternativ: [_____] Punkte)

3.6. Meine letzte Mathematiknote war: [_____] (alternativ: [_____] Punkte)

3.7. Meine letzte Deutschnote war: [_____] (alternativ: [_____] Punkte)

3.8. Physik war ein Prüfungsfach in meiner Abschlussprüfung (Abitur oder alternative Prüfung zur Hochschulzugangsberechtigung).

ja nein

3.9. Mathematik war ein Prüfungsfach in meiner Abschlussprüfung (Abitur oder alternative Prüfung zur Hochschulzugangsberechtigung).

ja nein

4. STUDIUM

4.1. Fachsemester Physik

Bitte geben Sie die Anzahl der im Physikstudium (Bachelor und Master zusammengezählt) verbrachten Semester inklusive dem aktuellen Semester an. Andere Fächer zählen nicht!

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<input type="checkbox"/>																			

4.2. Welchen Abschluss streben Sie momentan an?

- Physik-Mono (Bachelor/Master)
 Physik-Lehramt (Bachelor/Master)
 Sonstiges, und zwar: [_____].

4.3. Welches Fach bzw. welche Fächer studieren Sie *neben* Physik?

- Keine.
 [_____]

4.4. Fachsemester im zweiten Fach:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<input type="checkbox"/>																			

5. ERFAHRUNGEN IM STUDIUM

5.1. Haben sie neben den Pflichtpraktika noch weitere freiwillige Schulpraktika absolviert?

- ja nein

Falls sie freiwillige Praktika absolviert haben: Anzahl der Wochen [_____]

5.2. Waren sie als Aushilfslehrkraft/Vertretungslehrkraft tätig?

- ja nein

Falls „ja“: Anzahl der Unterrichtsstunden pro Woche [_____]

Anzahl der Schulhalbjahre [_____]

5.3. Haben sie Lehr-Erfahrung an der Universität?

Bsp.: Tutor, Übungsleiter, Betreuer im Praktikum etc.

- ja nein

5.4. Haben sie außerschulische Lehrerfahrungen?

Bsp.: Nachhilfelehrer, Trainingsleiter im Sportverein etc.

- ja nein

6. BESUCHTE LEHRVERANSTALTUNGEN (NUR FÜR LEHRAMTSKANDIDATEN)

Für Studierende nach Studienordnung 2011 (für Studierende mit SO2013 → Bitte 2 x blättern)

- Studiengang: Lehramt Gymnasium Physik als: Erstes Fach
 Lehramt Sek I/ Primar Zweites Fach

Bitte kreuzen Sie die von Ihnen **bestandenen** Module und **bis zum Schluss belegten** Veranstaltungen an. Sofern vorhanden geben Sie bitte ihre **Modulnote** an. Beispiel: [2,3]

Bachelorstudium Modul	[]	Veranstaltung
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik I	[]	<input type="checkbox"/> Vorlesung und Übung (V + Ü)
<input type="checkbox"/> Mathematische Methoden	[]	<input type="checkbox"/> Mathematische Methoden für LA I (V + Ü) <input type="checkbox"/> Mathematische Methoden für LA II (V + Ü)
<input type="checkbox"/> Didaktik I	[]	<input type="checkbox"/> Physikalische Schulexperimente (PSE) I <input type="checkbox"/> Physikalische Schulexperimente (PSE) II
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik II	[]	<input type="checkbox"/> V+Ü
<input type="checkbox"/> Grundpraktikum	[]	<input type="checkbox"/> Teil I: Mechanik und Elektrizitätslehre <input type="checkbox"/> Teil II: Thermodynamik und Optik <input type="checkbox"/> Teil III: Atom- und Kernphysik <input type="checkbox"/> Aufbau-Praktikum Mechanik und E-Lehre <input type="checkbox"/> Aufbau-Praktikum Messtechnik
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik III	[]	<input type="checkbox"/> V+Ü
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik IV	[]	<input type="checkbox"/> V+Ü
<input type="checkbox"/> Moderne Themen	[]	<input type="checkbox"/> Vorlesung und Seminar (V + S)
<input type="checkbox"/> Theoretische Physik I	[]	<input type="checkbox"/> V+Ü
<input type="checkbox"/> Wahlpflichtmodul (z.B.: Astropraktikum, Nicht- lineare Dynamik, Einführung in die Quantenoptik)	[]	<input type="checkbox"/> 1 Semester <input type="checkbox"/> 2 Semester
<input type="checkbox"/> Didaktik II	[]	<input type="checkbox"/> Einführung in die Physikdidaktik (V+Ü) <input type="checkbox"/> Fachdidaktische Tagespraktika + Begleitseminar
<input type="checkbox"/> Theoretische Physik II	[]	<input type="checkbox"/> V + Ü



Masterstudium

Modul	Veranstaltung
<input type="checkbox"/> Physik des Alltags [__,_]	<input type="checkbox"/> Physik des Alltags und der Extreme (V+Ü) <input type="checkbox"/> Fortgeschrittenenpraktikum <input type="checkbox"/> weiteres physikalisches Praktikum
<input type="checkbox"/> Theoretische Physik III [__,_]	<input type="checkbox"/> V+Ü
<input type="checkbox"/> Didaktik II [__,_]	<input type="checkbox"/> Seminar: Wissenschaftstheoretische Grundlagen und aktuelle Forschung in der Physikdidaktik <input type="checkbox"/> Seminar: Forschung in der Physikdidaktik
<input type="checkbox"/> Vertiefungsgebiet [__,_] (z.B.: Laserphysik, Astrophysik, Einführung in die Quanten-Informations-verarbeitung)	<input type="checkbox"/> V+Ü
<input type="checkbox"/> Moderne Themen [__,_]	<input type="checkbox"/> V+Ü
<input type="checkbox"/> Projektpraktikum	<input type="checkbox"/> ein zusätzliches Experiment im Fortgeschrittenenpraktikum

Für Studierende nach Studienordnung 2013

- Studiengang: Lehramt Sek I
 Lehramt Sek II

Bitte kreuzen Sie die von Ihnen **bestandenen Module** und **bis zum Schluss belegten** Veranstaltungen an.

Bachelorstudium

Modul		Veranstaltung
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik I	[__.]	<input type="checkbox"/> Vorlesung und Übung (V + Ü) <input type="checkbox"/> Praktikum
<input type="checkbox"/> Mathematische Grundlagen	[__.]	<input type="checkbox"/> Mathematische Methoden für LA I (V + Ü) <input type="checkbox"/> Mathematische Methoden für LA II (V + Ü)
<input type="checkbox"/> Didaktik I	[__.]	<input type="checkbox"/> Seminar: Ausgewählte physikdidaktische Grundlagen <input type="checkbox"/> Physikalische Schulexperimente (PSE) I
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik II	[__.]	<input type="checkbox"/> V+Ü <input type="checkbox"/> Praktikum
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik III	[__.]	<input type="checkbox"/> V+Ü <input type="checkbox"/> Praktikum
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik IV	[__.]	<input type="checkbox"/> V+Ü <input type="checkbox"/> Praktikum
<input type="checkbox"/> Theoretische Physik I	[__.]	<input type="checkbox"/> V+Ü
<input type="checkbox"/> Didaktik II	[__.]	<input type="checkbox"/> Vorlesung: Einführung in die Physikdidaktik (V+Ü) <input type="checkbox"/> Schulpraktische Studien (SPS) + Begleitseminar
<input type="checkbox"/> Theoretische Physik II	[__.]	<input type="checkbox"/> V + Ü

Für Studierende nach Studienordnung 2013

- Studiengang: Lehramt Sek I
 Lehramt Sek II

Bitte kreuzen Sie die von Ihnen **bestandenen** Module und **bis zum Schluss belegten** Veranstaltungen an.

Bachelorstudium

Modul		Veranstaltung
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik I	[__.]	<input type="checkbox"/> Vorlesung und Übung (V + Ü) <input type="checkbox"/> Praktikum
<input type="checkbox"/> Mathematische Grundlagen	[__.]	<input type="checkbox"/> Mathematische Methoden für LA I (V + Ü) <input type="checkbox"/> Mathematische Methoden für LA II (V + Ü)
<input type="checkbox"/> Didaktik I	[__.]	<input type="checkbox"/> Seminar: Ausgewählte physikdidaktische Grundlagen <input type="checkbox"/> Physikalische Schulexperimente (PSE) I
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik II	[__.]	<input type="checkbox"/> V+Ü <input type="checkbox"/> Praktikum
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik III	[__.]	<input type="checkbox"/> V+Ü <input type="checkbox"/> Praktikum
<input type="checkbox"/> Experimentalphysik IV	[__.]	<input type="checkbox"/> V+Ü <input type="checkbox"/> Praktikum
<input type="checkbox"/> Theoretische Physik I	[__.]	<input type="checkbox"/> V+Ü
<input type="checkbox"/> Didaktik II	[__.]	<input type="checkbox"/> Vorlesung: Einführung in die Physikdidaktik (V+Ü) <input type="checkbox"/> Schulpraktische Studien (SPS) + Begleitseminar
<input type="checkbox"/> Theoretische Physik II	[__.]	<input type="checkbox"/> V + Ü

Masterstudium

Modul

Veranstaltung

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Höhere Physik der Festkörper und der Vielteilchensysteme [__,_] | <input type="checkbox"/> Festkörperphysik I (V + Ü)
<input type="checkbox"/> Theoretische Physik III (V + Ü) |
| <input type="checkbox"/> Physik des Alltags [__,_] | <input type="checkbox"/> Physik des Alltags und der Extreme (V + S)
<input type="checkbox"/> Praktikum |
| <input type="checkbox"/> Didaktik III – Vertiefungsmodul [__,_] | <input type="checkbox"/> PSE II
<input type="checkbox"/> Seminar: Wissenschaftstheoretische Grundlagen und aktuelle Forschung der Physikdidaktik |
| <input type="checkbox"/> Wahlpflichtmodul [__,_]
(z.B.: Astrophysik, Nichtlineare Dynamik, Photonik und Quantenoptik, Klimaphysik) | <input type="checkbox"/> V + Ü |

7. PERSÖNLICHE EINSTELLUNGEN 1

	stimme gar nicht zu			stimme völlig zu	
	1	2	3	4	5
7.1. Gutes Erklären der Lehrperson ist im Physikunterricht wichtiger als das Schaffen entsprechender Lerngelegenheiten zum eigenständigen Lernen.	<input type="checkbox"/>				
7.2. Im Physikunterricht muss die Lehrperson den Unterricht stärker steuern als im Sprachunterricht.	<input type="checkbox"/>				
7.3. Schülerinnen und Schüler sollten Experimente selbst planen und durchführen.	<input type="checkbox"/>				
7.4. Durch Erklärungen und Demonstrationen ihrer Lehrperson lernen Schülerinnen und Schüler Physik am besten.	<input type="checkbox"/>				
7.5. Die Lehrperson sollte sich im Physikunterricht etwas zurücknehmen und in erster Linie nur die Rolle eines Projektleiters oder Lernberaters einnehmen.	<input type="checkbox"/>				

8. PERSÖNLICHE EINSTELLUNGEN 2

	stimme gar nicht zu			stimme völlig zu	
	1	2	3	4	5
8.1. Ich mag es, in der Zeitung etwas über naturwissenschaftliche Themen zu lesen.	<input type="checkbox"/>				
8.2. Eine Karriere in den Naturwissenschaften wäre eher trist und langweilig.	<input type="checkbox"/>				
8.3. Ich rede in der Freizeit mit meinen Freunden nicht über naturwissenschaftliche oder physikalische Themen	<input type="checkbox"/>				
8.4. In physikalische Großprojekte investiertes Geld könnte oft sinnvoller angelegt werden.	<input type="checkbox"/>				

Sitzungsprotokoll

Testleiter/in:

Kohorte:

Datum der Sitzung:

Erhobene Tests:

Anzahl der Studierenden:

Bewerten Sie bitte folgende Aussagen	Gar nicht	mittelmäßig	absolut
Die Studierenden sind den Anweisungen gefolgt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Studierenden haben den Arbeitsauftrag verstanden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Studierenden haben konzentriert gearbeitet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Studierenden haben Einzelarbeit gearbeitet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Studierenden waren mehrheitlich vor Ablauf der Testzeit fertig mit dem Testheft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Studierenden waren mehrheitlich vor Ablauf der Testzeit noch nicht mit dem Bogen fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Insgesamt hat die Sitzung gut geklappt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gab es irgendwelche der folgenden Störungen während der Testsitzung?	ja	nein
Zu spät eintreffende Studierende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wechsel des Seminarraums	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alarm oder Notfallübung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Diskussionen, die die Testzeit verkürzten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Studierenden waren mehrheitlich vor Ablauf der Testzeit noch nicht mit dem Bogen fertig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gab es sonstige Störungen, die zuvor nicht aufgelistet sind und die Testung beeinflussten?

Gab es irgendwelche Probleme mit den einzelnen Testheften (Rechtschreibfehler, Verständnisprobleme etc.) ?

Was kann Ihrer Meinung nach zur Verbesserung der Erhebung dienen?

Testleitermanual für den Test zum fachlichen Wissen

(1) Vor der Testung

- Bitte begrüßen Sie die Teilnehmer und erklären Sie ihnen, wozu der Test eingesetzt wird und wie die Daten danach weiter ausgewertet werden. Sie können sich an den folgenden Hinweisen orientieren:
 - die Testung ist Teil des Verbundprojekts Profile-P+ (mehrere Standorte)
 - Ziel ist eine Verbesserung der Physiklehramtsausbildung durch Erfassung der Wissensentwicklung im Bachelorstudium bzw. im Praxissemester
 - Es werden Zusammenhänge zwischen verschiedenen Wissensbereichen und der Fähigkeit zum Erklären von Physik sowie der Planung und Reflexion von Physikunterricht untersucht.
 - Die Daten werden innerhalb des Profile-P+-Teams analysiert und anonym ausgewertet.
- Erklären Sie den Teilnehmerinnen und Teilnehmern, wie die Rahmenbedingungen des Tests sind
 - Der Test ist anonym. Zur Zuordnung zu den nächsten Testzeitpunkten wird ein generierter Code eingesetzt.
 - Die Teilnahme am Test ist freiwillig
 - Die Studierenden benötigen nur einen **dunkeln Stift (keinen Füller oder Bleistift)**. Es sind keine weiteren Hilfsmittel erlaubt (und auch nicht nötig). Explizit nicht erlaubt sind Taschenrechner, Smartphone, Formelsammlung etc.
 - Der Test muss in Einzelarbeit ausgefüllt werden.
 - Der Test besteht aus drei Teilen: Fragen zur Person (Demografie), Rechentest und einem Test zum fachlichen Wissen.
 - Die gesamte Testzeit beträgt 90 Minuten. **Bei vorzeitigem Abbruch wird kein Geld bezahlt.**
 - Die Studierenden sollen das Testheft in der vorgegeben bzw. gehefteten Reihenfolge bearbeiten (Demografie, Rechentest, Fachwissenstest).
- Bitten weisen Sie die Studierenden darauf hin, dass insbesondere in den ersten Semestern wahrscheinlich nicht alle Aufgaben korrekt gelöst werden können und sie sich nicht davon entmutigen lassen sollen. Der Test wird in höheren Semester erneut eingesetzt, um Veränderungen zu analysieren, und ist daher auch für Studierende im Master konstruiert worden.
- Nachdem dieser Test und der Test zum fachdidaktischen Wissen bearbeitet wurde, erhalten die Studierenden 20 Euro. Erläutern Sie, dass bei der Angabe der belegten Module und Lehrveranstaltungen diejenigen angekreuzt werden sollen, die die Studierenden aktuell im ersten Semester belegen.
- Erläutern Sie den Code an sich selbst beispielhaft an der Tafel. Klären und notieren Sie eventuelle Rückfragen.

(2) Während des Tests

- Teilen Sie die Testhefte aus.

- Nach etwa 35 Minuten sind die ersten beiden Testteile beendet (Demografie und Rechentest). Teilen Sie nun den Studierenden mit, dass sie zum letzten Testteil (fachliches Wissen) übergehen sollen.
- Bitte versuchen sie die Gesamtzeit des Tests – 90 Minuten – einzuhalten.

(3) Nach dem Test

- Insbesondere schwächere Studierende (z.B. Erstsemester) benötigen für den Test zum fachlichen Wissen mitunter mehr Zeit. Achten Sie bitte darauf, dass die Zeiten für den Demographiebogen (10 min.), den Rechentest (25 min.) und den Test des fachlichen Wissens (55 min) trotzdem eingehalten werden.
- Falls es der zweite Testzeitpunkt ist: Nach Abgabe des zweiten ausgefüllten Testheftes unterschreiben die Studierenden auf der separaten, von den Testheften getrennten Liste, und erhalten die Aufwandsentschädigung. (Siehe Überweisungsbogen)