

**WAS WIRKT IN DER UNIVERSITÄREN PHYSIK-LEHRAMTS-
AUSBILDUNG?**

DETERMINANTEN IN DER ENTWICKLUNG DES PROFESSIONS-
WISSENS ANGEHENDER PHYSIKLEHRKRÄFTE

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
Dustin Schiering

Kiel, 2021



Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung 4.0 International zugänglich.

Um eine Kopie dieser Lizenz einzusehen, konsultieren Sie <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> oder wenden Sie sich brieflich an Creative Commons, Postfach 1866, Mountain View, California, 94042, USA.

Erstgutachter: Prof. Dr. Knut Neumann

Zweitgutachter: Prof. Dr. Thilo Kleickmann

Tag der mündlichen Prüfung: 21.04.2022

DANKSAGUNGEN

Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung zahlreicher Menschen in meinem Leben wesentlich kürzer ausgefallen – wenn nicht unmöglich gewesen. An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich auf meinem Weg begleitet und unterstützt haben.

Zunächst möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Knut Neumann bedanken. Knut, ich danke dir dafür, dass du mir die Gelegenheit gegeben hast, diese Arbeit anzufertigen. Danke für dein Vertrauen, das du mir gegenüber aufgebracht hast, danke, dass du mich stets gefördert und gefordert hast, und dafür, dass deine Tür für alle Fragen und Probleme offen stand. Zudem möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Thilo Kleickmann für seine Bereitschaft bedanken, das Zweitgutachten dieser Arbeit anzufertigen.

Ein besonderer Dank gilt meinem Mentor Herrn Dr. Stefan Sorge für seine unentwegte Unterstützung meiner wissenschaftlichen Arbeit. Stefan, ich danke dir von Herzen für deine Hilfsbereitschaft, Geduld und klugen Gedanken. Danke für dein stets ehrliches Feedback und dafür, dass du mich immer motiviert hast, einen Schritt weiter zu denken.

Mein Dank gilt ebenso allen Kolleg*innen am IPN, die mir immer offen und ehrlich entgegen traten und mir viele spannende Einblicke in ihre Arbeit gegeben haben. Besonders meinen Mitstreiter*innen im KeiLa-Projekt möchte ich auf diesem Wege dafür danken, dass sie mir zu jedem Zeitpunkt mit Rat und Tat zur Seite standen. Jessica, danke, dass du mir gerade in meiner Anfangszeit Orientierung gegeben hast. Dir Steffen, danke für deine hilfreiche Mitarbeit an unserem Artikel und deinen Scharfsinn bei den Überarbeitungen.

Zudem danke ich allen Kolleg*innen in der Abteilung der Didaktik der Physik am IPN für die spannenden Gespräche und eure zahlreichen Ideen für meine Arbeiten. Vielen Dank Melanie und Stefan Petersen, dass ich durch eure Mitarbeit an unseren Artikeln so viel lernen durfte. Alice und Antonia, es war eine wundervolle Zeit mit euch im Büro. Danke, für all die ernsten und weniger ernsten Gespräche. Julian und Kristin, danke für die unvergesslichen Erlebnisse rund um den Globus.

Danke an die besten Freunde, die man sich vorstellen kann! Ohne eure motivierenden Worte und offenen Ohren hätte ich diese Arbeit wahrscheinlich nicht beenden können. Finn, Paul, Sina, Svea – danke, dass ihr mich in schwierigen Momenten unterstützt und gute Momente mit mir gefeiert habt.

Caro, ohne dich wäre diese Arbeit kaum möglich gewesen. Ich bin jeden Tag dankbar, dass ich dich an meiner Seite habe. Ich danke dir für deine Geduld mit mir, deinen grenzenlosen Optimismus und deine Wärme.

Mein größter Dank geht an meine Familie, für die immerwährende Unterstützung und dafür, dass sie niemals an mir zweifelten. Danke Mama, danke Papa, dass ihr mir alles ermöglicht habt.

Machen wir uns nichts vor – ohne euch wäre ich nicht da, wo ich heute bin.

Danke.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Lehrkraft wird seit jeher als entscheidender Faktor für den Lernerfolg der Schüler*innen diskutiert, wobei sich in den vergangenen Dekaden das Professionswissen von Lehrkräften zunehmend als zentrale Einflussgröße für den Unterrichtserfolg herauskristallisierte. Das Professionswissen umfasst verschiedene Wissensbereiche wie das pädagogische Wissen, das Fachwissen und das fachdidaktische Wissen. Dabei wird insbesondere dem Fachwissen und fachdidaktischen Wissen größte Bedeutung für die Gestaltung effektiver fachspezifischer Unterrichts- bzw. Lernprozesse zugeschrieben. Bisherige empirische Ergebnisse legen nahe, dass diese beiden Wissensbereiche im Wesentlichen in der universitären Lehramtsausbildung auf- und ausgebaut werden. Die Entwicklung des Professionswissens angehender Lehrkräfte im Verlauf ihrer universitären Lehramtsausbildung wird dabei sowohl durch die angebotenen Lerngelegenheiten, als auch durch deren individuelle Nutzung entschieden. In der vorliegenden Dissertation werden vier Publikationen vorgestellt, die sowohl die Lerngelegenheiten der universitären Physik-Lehramtsausbildung analysieren, als auch die Nutzung der Lerngelegenheiten durch die angehenden Physiklehrkräfte untersucht. Auf diese Weise werden einerseits Ergebnisse über die Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte gewonnen und andererseits Determinanten der universitären Physik-Lehramtsausbildung identifiziert.

In einem ersten Schritt wurden zunächst die Studienstrukturen der universitären Physik-Lehramtsausbildung in Deutschland fokussiert und ihr Einfluss auf das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte untersucht. Hierzu wurden Curricula von 20 deutschen Hochschulen für das Lehramt im Fach Physik verglichen sowie Inhalt und Umfang ihrer Lehrveranstaltungen analysiert. Es konnten vier Cluster von Curricula identifiziert werden, die als prototypische Curricula mit geringem bzw. umfangreichen Fach- und Fachdidaktikanteil interpretiert werden können. Daten zum Fachwissen und fachdidaktischen Wissen von $N = 107$ angehenden Physiklehrkräften zeigten, dass das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte abhängig der vorliegenden Studienstruktur ist. So hängt das fachdidaktische Wissen von Studierenden aus Studiengängen mit geringen Fachdidaktikanteilen stärker vom Fachwissen ab.

Im Anschluss an die Untersuchung der Studienstrukturen der Physik-Lehramtsausbildung wurde die Nutzung der Lehrveranstaltungen in den Blick genommen. Hierzu wurde untersucht, wie sich verschiedene Qualitätsdimensionen der fachlichen Lehrveranstaltungen auf die Entwicklung des Fachwissens von $N = 107$ angehenden Physiklehrkräften auswirken. Mit Hilfe von Pfadmodellen ergab sich der *cognitive support* als zentrale Qualitätsdimension, die die Entwicklung des Fachwissens innerhalb eines Studienjahres positiv beeinflusst. Weiterhin zeigten Cross-Lagged-Modelle, dass der *cognitive support* insbesondere für das prozedural-schematische Fachwissen der angehenden Physiklehrkräfte einen positiven Einfluss hat, während ihr deklaratives Fachwissen lediglich von der Anzahl der

besuchten Lehrveranstaltungen vorhergesagt wird.

Abschließend wurde der Blick noch auf das fachdidaktische Wissen der angehenden Physiklehrkräfte gerichtet. Dazu wurde auf Grundlage von $N = 427$ angehenden Physiklehrkräften zunächst ein bereits bestehendes Niveaumodell für ihr fachdidaktisches Wissen rekonstruiert. Anschließend wurde analysiert, inwieweit Übergänge in nächsthöhere Niveaus des fachdidaktischen Wissens durch ihr Fachwissen, Schulpraktika und Überzeugungen zum Lehren und Lernen vorhergesagt werden können. Es zeigte sich, dass Übergänge in alle Niveaus ein ausgeprägtes Fachwissen erfordern. Übergänge in höhere Niveaus fachdidaktischen Wissens erfordern jedoch zusätzlich Schulpraktika und adäquate Überzeugungen zum Lehren und Lernen.

ABSTRACT

The role of teachers in classrooms has always been understood as crucial. Especially their professional knowledge has been identified as a key factor for students' learning. Teachers' professional knowledge can be divided into different categories including pedagogical knowledge, content knowledge, and pedagogical content knowledge. Particularly content knowledge and pedagogical content knowledge is widely acknowledged as a major predictor for subject-specific teaching and learning processes in classrooms. Previous research highlighted that these two categories of professional knowledge are largely developed during university teacher education. This development is determined by the number and the content of learning opportunities as well as how pre-service teachers engage with them. In this dissertation, four studies are presented. In these studies, learning opportunities which are part of German physics teacher education programs were examined and pre-service physics teachers' use of these learning opportunities to develop their professional knowledge was analyzed.

First, the structure of different university physics teacher education programs in Germany was analyzed. Therefore, curricula of 20 German universities were compared and the amount and content of learning opportunities for pre-service physics teachers' content and pedagogical content knowledge were examined. Findings showed that four clusters can be identified which can be interpreted as programs with more/less learning opportunities for physics and physics education. In addition, data from $N = 107$ pre-service physics teachers revealed that their content and pedagogical content knowledge is determined by the structure of the teacher education program. For instance, for clusters with less learning opportunities for physics education pre-service physics teachers rely more on their content knowledge for their pedagogical content knowledge.

After identifying different teacher education programs and their learning opportunities, pre-service physics teachers' uptake of these learning opportunities was focused. Therefore, course quality in content courses and their influence on $N = 107$ pre-service physics teachers' content knowledge development was examined. Path models revealed that the dimension of cognitive support contributed significantly to the content knowledge development. Moreover, cross-lagged models showed that cognitive support only influences the development of procedural-conditional content knowledge whereas pre-service physics teachers' declarative content knowledge is mainly influenced by the number of content courses.

Finally, pre-service physics teachers' pedagogical content knowledge was analyzed. In a first step, data from $N = 427$ pre-service physics teachers were used to reconstruct an existing proficiency level model for their pedagogical content knowledge. Then, pre-service physics teachers' transitions into higher proficiency levels were investigated. Therefore, the influence of pre-service physics teachers' content knowledge, teaching experience, and beliefs about teaching and learning science on transitions in higher

ABSTRACT

proficiency levels was examined. Results indicated that pre-service physics teachers' content knowledge is of utmost importance for an increase in pedagogical content knowledge proficiency. However, transitions into higher levels of pedagogical content knowledge additionally require teaching experiences and adequate beliefs about teaching and learning.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung.....	i
Abstract.....	iii
Einleitung.....	1
Theoretischer Hintergrund.....	5
2.1. Was charakterisiert erfolgreiche Lehrkräfte?.....	5
2.2. Das Professionswissen als Teil professioneller Kompetenz.....	5
2.2.1. Modellierungen des CK und PCK.....	6
2.2.2. Das Refined Consensus Model of PCK.....	9
2.3. Die Entwicklung von CK und PCK.....	11
2.3.1. Lerngelegenheiten der universitären Lehramtsausbildung.....	13
2.3.2. Die Nutzung von universitären Lerngelegenheiten.....	15
Ziel der Arbeit und Zusammenfassung der Studien.....	17
3.1. Studie 1: Hilft viel viel? Der Einfluss von Studienstrukturen auf das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte.....	18
3.2. Studie 2: Course Quality in Higher Education Teacher Training: What Matters for Pre-Service Physics Teachers' Content Knowledge Development?.....	19
3.3. Studie 3: Promoting Progression in Higher Education Teacher Training: How Does Cognitive Support Enhance Student Physics Teachers' Content Knowledge Development?.....	19
3.4. Studie 4: A Proficiency Model for Pre-Service Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) – What Constitutes High-Level PCK?.....	20
Studie 1.....	23
4.1. Einleitung.....	24
4.2. Theoretischer Hintergrund.....	24
4.2.1. Die universitäre Lehramtsausbildung in Deutschland.....	24
4.2.2. Das Fachwissen und fachdidaktische Wissen als Teil des Professionswissens.....	27
4.2.3. Die Entwicklung von FW und FDW im Rahmen der universitären Ausbildung.....	28
4.3. Fragestellungen.....	29
4.4. Methoden.....	30
4.4.1. Stichprobenbeschreibung.....	30
4.4.2. Erfassung der Studienstrukturen.....	31
4.4.3. Erfassung des FW und FDW.....	33
4.5. Ergebnisse.....	33
4.5.1. Inhaltliche Beschreibung der Studienstrukturen.....	33
4.5.2. Clusterung der Studiengänge.....	35

4.5.3. Einfluss der Cluster auf das FW und FDW	37
4.6. Diskussion.....	39
Studie 2	45
5.1. Introduction.....	46
5.2. Theoretical background	47
5.2.1. Teachers' content knowledge	47
5.2.2. Teacher education as a source of CK development.....	48
5.3. The present study	50
5.4. Methods.....	51
5.4.1. Study design and sample.....	51
5.4.2. Instruments.....	52
5.4.3. Statistical analyses	54
5.5. Results.....	55
5.5.1. Dimensions of quality in CK courses	55
5.5.2. Effects of course quality on pre-service teachers' CK development.....	55
5.6. Discussion	56
5.6.1. Limitations	59
5.7. Conclusion	59
Studie 3	61
6.1. Introduction.....	62
6.2. Theoretical background	62
6.2.1. Experts' knowledge	62
6.2.2. Teachers as experts of teaching	63
6.3. Research questions.....	65
6.4. Methods.....	66
6.4.1. Research context	66
6.4.2. Data basis	66
6.4.3. Instruments.....	66
6.4.4. Data analyses	68
6.5. Results.....	69
6.5.1. Descriptive results.....	69
6.5.2. The development of declarative and procedural–conditional CK	69
6.5.3. Promoting the development from declarative to procedural–conditional CK.....	71
6.6. Discussion	72
6.7. Conclusion	74
Studie 4	75
7.1. Introduction.....	76
7.2. Theoretical Background.....	77
7.2.1. Pedagogical Content Knowledge.....	77
7.2.2. Development of Science Teachers' pPCK.....	78

7.3. Research Questions	81
7.4. Methods.....	81
7.4.1. Research Context	81
7.4.2. Sample.....	82
7.4.3. Instruments.....	82
7.4.4. Data Analysis	83
7.5. Results.....	87
7.5.1. Calculating Levels Thresholds in Participants' pPCK.....	87
7.5.2. Characterizing Proficiency Levels in Participants' pPCK.....	88
7.5.3. Factors Associated with Higher Levels in pPCK	89
7.6. Discussion	92
7.6.1. Limitations	94
7.7. Conclusions.....	95
Gesamtdiskussion und Implikationen	97
8.1. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	97
8.2. Limitationen.....	101
8.3. Implikationen für die Forschung.....	102
8.4. Implikationen für die Praxis.....	104
Literatur.....	107
Abbildungsverzeichnis.....	133
Tabellenverzeichnis	135
Anhang.....	137

EINLEITUNG

Viele Menschen würden vermutlich der Aussage zustimmen, dass Lehrkräfte den Erfolg der schulischen Ausbildung entscheidend beeinflussen. Dabei sind die Anforderungen der Gesellschaft an Lehrkräfte ebenso vielfältig wie hoch (Herzog & Makarova, 2014). Als Folge dieser hohen Anforderungen sind Lehrkräfte sowie ihre Ausbildung oft im Fokus öffentlicher Debatten (siehe z.B. Blömeke, 2005). Insbesondere mit dem nicht zufriedenstellenden Abschneiden der deutschen Schüler*innen in den großen internationalen Studien wie TIMSS 1995 oder PISA 2000, gerieten Lehrkräfte vermehrt in den Fokus der Öffentlichkeit, Politik und Wissenschaft (siehe z.B. Hansel, 2003). So titelte beispielsweise Heckmann (2001) in *Der Spiegel*: „Schlechte Schüler wegen schlecht gebildeter Lehrer?“.

Um Erklärungen für die unzureichenden Leistungen der Schüler*innen zu finden sowie Maßnahme zur Verbesserung einleiten zu können, fokussierte die empirische Bildungsforschung der letzten zwei Dekaden zunächst unterrichtliche Prozesse und ihre Qualität, um dann, in einem zweiten Schritt, die Lehrkräfte und ihre Ausbildung in den Blick zu nehmen (Terhart, 2007). Denn tatsächlich konnte die damalige empirische Forschung zur Ausbildung von Lehrkräften auf nur wenige empirische Untersuchungen verweisen. So führten Larcher und Oelkers (2004) aus, dass, [w]enn es eine Krise in der Lehrerbildung gibt, dann ist es eine Krise der fehlenden Daten“ (S. 129). Dieser Umstand führte Anfang der 2000er Jahre zu einer Expansion in der empirischen Bildungsforschung („neue empirischen Wende in der Schulforschung“, Willems, 2016, S. 189), in dessen Mittelpunkt vielfach die Lehrkräfte standen.

In der Tat konnte durch umfassende Forschungsarbeiten belegt werden, dass Lehrkräfte eine eminente Rolle im schulischen Erfolg der Schüler*innen einnehmen (z.B. Hattie, 2009; Lipowsky, 2006). Insbesondere das Professionswissen konnte als bedeutende Eigenschaft der Lehrkräfte nachgewiesen werden (siehe z.B. Baumert & Kunter, 2006; Bromme, 1997; Shulman, 1987). Das Professionswissen einer Lehrkraft wird typischerweise in drei Wissensbereiche unterteilt: das pädagogische Wissen, das Fachwissen und das fachdidaktische Wissen (Baumert & Kunter, 2006; Riese et al., 2015). Die Forschung zum Professionswissen zeigte in den letzten Jahrzehnten, dass insbesondere das Fachwissen und fachdidaktische Wissen eine wichtige Voraussetzung für fachspezifische Unterrichts- und Lernprozesse darstellen (Fischer et al., 2012). So fand sich für beide Wissensbereiche ein entscheidender Einfluss auf die Unterrichtsqualität (Ergönenç et al., 2014; Lee, 1995; Park et al., 2011) sowie das Lernen der Schüler*innen (Baumert et al., 2010; Keller et al., 2017; Sadler et al., 2013). Vor dem Hintergrund dieser herausragenden Bedeutung der beiden Wissensbereiche Fachwissen und fachdidaktisches Wissen ist ein Verständnis, wie sich diese Wissensbereiche entwickeln bzw. welche Faktoren ihre Entwicklung beeinflussen, von zentraler Wichtigkeit – insbesondere, um die Qualität schulischer Bildung langfristig

sicherzustellen (Darling-Hammond, 2006). Die Ergebnisse bisheriger Forschung legen dabei nahe, dass Lehrkräfte ihr Professionswissen maßgeblich im Verlauf ihrer universitären Lehramtsausbildung entwickeln (z.B. Kleickmann et al., 2013). Während dieser Phase stehen den angehenden Lehrkräften verschiedene Lerngelegenheiten zur Verfügung, die als Grundlage für die Entwicklung ihres Professionswissens angesehen werden können (Kunter, Kleickmann et al., 2011). Allerdings ist die Entwicklung eines Professionswissens „kein passiver Automatismus“ (Kunter, Kleickmann et al., 2011, S. 62), der allein durch das Angebot entsprechender Lerngelegenheiten zur Entwicklung des Fachwissens und fachdidaktischen Wissens führt. Vielmehr ist die Wissensentwicklung angehender Lehrkräfte von einem komplexen Zusammenspiel verschiedener struktureller und individueller Faktoren abhängig (siehe z.B. Flores, 2019; Livingston & Flores, 2017).

Zu diesem komplexen Zusammenspiel der Wissensentwicklung liegen bereits verschiedene Forschungsprojekte und –arbeiten vor. Dabei konnte sich die physikdidaktische Forschung zunächst auf Modelle und Erkenntnisse zu Mathematiklehrkräften beziehen (siehe z.B. Kunter, Baumert et al., 2011). Darauf aufbauend konnten dann ersten Modellierungen des Professionswissens von Physiklehrkräften präsentiert werden (siehe z.B. Riese, 2009; Olszewski, 2010). In Projekten wie ProwiN (*Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften*; Borowski et al., 2010) oder QuiP (*Quality of Instruction in Physics*; Fischer et al., 2014) widmete man sich zunächst praktizierenden Physiklehrkräften und ihrem Physikunterricht. Einige Jahre später rückten dann vermehrt angehende Physiklehrkräfte in den Fokus der Forschung. So wurde insbesondere in Projekten wie ProfiLe-P (*Professionswissen in der Lehramtsausbildung Physik*; Riese et al., 2015) oder KiL (*Messung professioneller Kompetenzen in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen*; Kleickmann et al., 2014) das Professionswissen modelliert, das angehende Physiklehrkräfte im Rahmen ihrer universitären Lehramtsausbildung erwerben sollten. Die Projekte und Studien mündeten in verschiedenen Instrumenten, die einzelne Bereiche des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte erfassen (z.B. Kirschner et al., 2016; Kröger, 2019; Riese & Reinhold, 2010). Doch trotz des Fortschrittes in der Beschreibung und Messung des Professionswissens angehender Lehrkräfte, insbesondere im Bereich Physik, sind zentrale Fragen in der Ausbildung angehender Physiklehrkräfte bislang unbeantwortet geblieben. So herrscht weitestgehend Unklarheit darüber, wie sich zum einen Faktoren wie Umfang und Qualität der universitären Lehramtsausbildung auf die Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte auswirken. Zum anderen bleibt unbestimmt, auf welche Weise sich die Wissensbereiche des Professionswissens in ihrer Entwicklung beeinflussen. Ziel einer evidenzbasierten Lehrkräftebildung sollte demnach sein, Determinanten in der Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte zu identifizieren.

Vor diesem Hintergrund geht die vorliegende Arbeit zum einen der Frage nach, wie sich das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte im Verlauf ihrer universitären

Lehramtsausbildung entwickelt, und zum anderen, welche Determinanten dieser Entwicklung zu Grunde liegen. Um beiden Fragen beantworten zu können, wird in Kapitel 2 zunächst ein Überblick über die verschiedenen Modelle des Professionswissens gegeben und dargestellt, wie sich die Entwicklung des Professionswissens innerhalb der universitären Lehramtsausbildung beschreiben lässt. Darauf aufbauend werden in Kapitel 3 die Ziele dieser Arbeit formuliert und die Ergebnisse der vier durchgeführten Studien zusammengefasst. In den Kapiteln 4 bis 7 werden anschließend die im Rahmen der Promotion durchgeführten Studien vorgestellt. Diese Arbeit schließt in Kapitel 8 mit einer Gesamtdiskussion der Ergebnisse und ihren Limitationen sowie den Implikationen für Forschung und Praxis.

THEORETISCHER HINTERGRUND

2.1. Was charakterisiert erfolgreiche Lehrkräfte?

Um die Frage nach der Ausbildung erfolgreicher Lehrkräfte beantworten zu können, muss zunächst festgelegt werden, was eigentlich unter *erfolgreich* zu verstehen ist. Während die Bildungsforschung in den 50ern und 60ern unter erfolgreichen Lehrkräften jene fasst, die günstige Konstellation von persönlichen Merkmalen besitzen, um gewünschtes Verhalten der Schüler*innen hervorzurufen („Persönlichkeitsparadigma“), wandelte sich dieses Verständnis in den 70ern hin zum sogenannten „Prozess-Produkt-Paradigma“ (Krauss & Bruckmaier, 2014). Im Prozess-Produkt-Paradigma gelten jene Lehrkräfte als erfolgreich, die durch ihre Verhaltensweisen („Prozess“) die Leistungen der Schüler*innen („Produkt“) steigern. Beide Ansätze wiesen jedoch Schwächen auf (Bromme, 1997); während bei den Forschungsergebnissen auf Grundlage des Persönlichkeitsparadigmas fraglich blieb, wie sich identifizierte Persönlichkeitsmerkmale in verschiedenen Kontexten wie zum Beispiel Fächern und Klassenstufen auswirken (Bromme, 1997), zeichnete sich im Prozess-Produkt-Paradigma das Problem ab, dass Lehrkräfte durch ihr Verhalten nur bedingt auf die Leistungen der Schüler*innen einwirken können: „the teacher does not convey or impart the content to the student. Rather the teacher instructs the student on how to acquire the content from the teacher, text, or other source.“ (Fenstermacher, 1986, S. 39).

Dieser Einsicht folgend charakterisiert das heute vorherrschende „Expertenparadigma“ erfolgreiche Lehrkräfte also solche, die Lerngelegenheiten schaffen, in denen Schüler*innen effektiv lernen können (Krauss & Bruckmaier, 2014). Diese hohe Anforderung bedarf weder „vage definierte Charakterzüge“ (Bromme, 1997, S. 186), wie im Persönlichkeitsparadigma propergiert, noch, wie aus dem Prozess-Produkt-Paradigma resultierend, eine in „Bündel von Teilfertigkeiten zerfallene“ (Krauss & Bruckmaier, 2014, S. 242) Lehrkraft. Der Ansatz des Expertenparadigmas synthetisiert beide vorangegangenen Paradigmen (Neuhaus, 2007), indem Wissen und Können einer Lehrkraft zu einer domänenspezifischen Expertise verschmelzen (Bromme & Haag, 2004; Weinert et al., 1990). Dieses Zusammenspiel von Wissen und Können kann im Sinne einer Kompetenz (Weinert, 2001) verstanden werden. Demnach entscheidet sich wie erfolgreich eine Lehrkraft die Anforderungen ihres Berufs bewältigen kann, basierend auf ihrem Konglomerat an Wissen, Überzeugungen, sowie motivationalen und selbstregulativen Merkmalen (Kunter, Kleickmann et al., 2011) – also in ihrer professionellen Kompetenz (Baumert & Kunter, 2006). Von diesen vier Aspekten professioneller Kompetenz wird insbesondere das Professionswissen als zentral für erfolgreichen Unterricht und somit für den Lernerfolg der Schüler*innen angesehen (Kleickmann & Anders, 2011).

2.2. Das Professionswissen als Teil professioneller Kompetenz

Das Professionswissen einer Lehrkraft ist zentraler Bestandteil ihrer professionellen Kompetenz (Baumert & Kunter, 2006). Die ersten systematischen Versuche, das Professionswissen

einer Lehrkraft zu beschreiben, gehen auf die Forschungsarbeiten von Shulman (1986, 1987) zurück (Cauet, 2016). Shulman (1987) unterteilte darin das Professionswissen einer Lehrkraft in sieben Bereiche: (1) content knowledge, (2) general pedagogical knowledge, (3) pedagogical content knowledge, (4) curriculum knowledge, (5) knowledge of learners and their characteristics, (6) knowledge of educational contexts, (7) knowledge of educational ends, purposes, and values. Folgende Forschungsarbeiten bauten vielfach auf der Beschreibung von Shulman (1987) auf (darunter z.B. Bransford et al., 2005; Bromme, 1997; Grossman, 1990). Auch das Modell der professionellen Handlungskompetenz (Baumert & Kunter, 2006) basiert auf den Vorarbeiten von Shulman (1987). Es identifiziert das Professionswissen als zentrales Element professioneller Kompetenz. Dieses Professionswissen ist in die Wissensbereiche Fachwissen, fachdidaktisches Wissen, pädagogisches Wissen, Organisationswissen sowie Beratungswissen gegliedert (Baumert & Kunter, 2006). Insbesondere das Fachwissen (bzw. *content knowledge* – CK), fachdidaktische Wissen (bzw. *pedagogical content knowledge* – PCK¹) sowie das pädagogische Wissen (bzw. *general pedagogical knowledge* – PK) werden dabei als Kernbereiche des Professionswissens von Lehrkräften angesehen (z.B. Baumert et al., 2010; Grossman, 1990; Riese et al., 2015; Kirschner et al., 2016; Sorge, Kröger et al., 2019). Während es sich bei dem PK um allgemeines bzw. generisches Wissen handelt, umfassen CK und PCK Wissen abhängig vom jeweiligen Unterrichtsfach der Lehrkraft (Baumert & Kunter, 2006; Shulman, 1986). Dabei konnte in der Vergangenheit mehrfach gezeigt werden, dass das CK und PCK der Lehrkraft im engen Zusammenhang mit dem Lernerfolg der Schüler*innen steht. Beispielsweise fanden Sadler et al. (2013) in einer Studie heraus, dass das CK von Physiklehrkräften ein wichtiger Prädiktor für die Leistungen der Schüler*innen im Fach Physik darstellt. Keller et al. (2017) berichteten, dass sich das PCK der Physiklehrkraft positiv auf den Lernerfolg der Schüler*innen in Physik auswirkt. Somit entscheiden insbesondere das CK und PCK einer Physiklehrkraft über erfolgreichen Physikunterricht, was beide Wissensbereiche als besonders relevant für den Lernerfolg der Schüler*innen herausstellt (Fischer et al., 2012).

2.2.1. Modellierungen des CK und PCK

Das CK einer Lehrkraft wird typischerweise als eine fundierte Kenntnis der Fachdisziplin beschrieben, welche sich einerseits durch das Verständnis von Konzepten innerhalb der Fachdisziplin, andererseits durch das Wissen über ihre Zusammenhänge mit anderen Konzepten außerhalb der Fachdisziplin auszeichnet (Grossman, 1990; Nixon et al., 2017). Demnach sollte sich das Fachwissen von Lehrkräften nicht nur auf Inhalte beschränken, die für den Unterricht relevant sind (Grossman et al., 2005). Vielmehr benötigen Lehrkräfte ebenso Wissen, das ihnen ermöglicht, Entwicklungen in ihrem Fach zu beurteilen und Schüler*innen für ihre zukünftigen Ausbildungsphasen adäquat vorzubereiten. Somit geht das CK von Lehrkräften über das Wissen hinaus, welches Schüler*innen im Rahmen des Unterricht erwerben sollen (Nixon et al., 2019). Typischerweise wird das CK einer Lehrkraft in Sachgebiet und Art unterschieden

¹ Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass sich fachdidaktisches Wissen und PCK konzeptuell voneinander unterscheiden (siehe z.B. Gramzow et al. 2013). Im Folgenden werden der Einfachheit halber jedoch beide Begriffe synonym genutzt.

(Tepner et al., 2012). Bezüglich der Sachgebiete des CK herrscht zumindest in der Physik weitestgehend Konsens, der auf der Struktur der eigentlichen Fachwissenschaft begründet ist. Für die Physik können die Bereiche Mechanik, Elektrodynamik, Optik, Thermodynamik, Festkörperphysik, Atom- und Kernphysik, spezielle Relativitätstheorie sowie Quantenphysik als zentrale Sachgebiete herausgestellt werden (Sorge, Kröger et al., 2019; siehe auch Halliday et al., 2014; Kultusministerkonferenz [KMK], 2019). Die Art des CK lässt sich in deklaratives („knowing that“) prozedurales („knowing how“) und konditionales Wissen („knowing why“) unterscheiden (Jüttner et al., 2013; Kirschner et al., 2016; Sorge, Kröger et al., 2019).

Neben dem CK, das als Basis für erfolgreichen Unterricht dient (Shulman, 1987), benötigt eine Lehrkraft zudem das Wissen, Fachinhalte so aufzubereiten, dass sie für Schüler*innen verständlich werden. Dieses als PCK bezeichnete Wissen grenzt demnach eine Lehrkraft einerseits von Fachwissenschaftler*innen andererseits von Pädagog*innen ab (Shulman, 1987). Die einflussreichste Konzeptualisierung des PCK geht auf die Definition von Shulman (1986) zurück (Berry et al., 2016). Shulman (1987) führte dazu aus:

[...] pedagogical content knowledge is of special interest because it identifies the distinctive bodies of knowledge for teaching. It represents the blending of content and pedagogy into an understanding of how particular topics, problems, or issues are organized, represented, and adapted to the diverse interests and abilities of learners, and presented for instruction. (S. 8)

Hinsichtlich der inneren Struktur kann das PCK in sogenannte Wissensfacetten aufgefächert werden. Initial umfasste für Shulman (1987) das PCK neben dem Wissen über potentielle Lernschwierigkeiten der Schüler*innen auch das Wissen über Instruktionsstrategien und möglichen Repräsentationen. Aufbauend auf diesen Überlegungen entwickelten Magnusson et al. (1999) ein detailliertes Modell der Wissensfacetten des PCK. Darin unterschieden Magnusson et al. (1999) insbesondere zwischen dem Wissen über (1) Vorstellungen der Schüler*innen, (2) Instruktionsstrategien, (3) das Curriculum sowie (4) Assessment (also dem Bewerten und Beurteilen von Schüler*innen). Nachfolgende Studien unterschieden im PCK weitere oder gänzlich andere Facetten (für einen Überblick siehe z.B. Chan & Hume, 2019; Gramzow et al., 2013; Park & Oliver, 2008). Jedoch hat sich das Modell von Magnusson et al. (1999) als Konsens für die Modellierung der Wissensfacetten innerhalb des PCK etabliert, da es alle relevanten Facetten des PCK ausreichend abdeckt (Chan & Hume, 2019; Kind, 2009; Park & Oliver, 2008).

Im Zuge der Charakterisierung des PCK durch verschiedene Arbeiten wie von Shulman (1986, 1987) oder Magnusson et al. (1999) etablierten sich zwei verschiedene Perspektiven hinsichtlich der Natur des PCK (Neumann et al., 2019; siehe auch Gess-Newsome & Lederman, 1999). Die transformative Perspektive versteht PCK als eigenständigen Wissensbereich, der CK und PK untrennbar miteinander verbindet („that special amalgam of content and pedagogy“, Shulman, 1987, S. 8). PCK ist dabei das Ergebnis der Transformation von Fachinhalten, um sie für den Unterricht nutzbar zu machen (Gess-Newsome, 1999). Die integrative Perspek-

tive hingegen versteht PCK nicht als eigenständigen Wissensbereich, sondern als eine temporäre, im Handlungsmoment entstehende Integration von CK und PK. PCK ist dabei Grundlage (und nicht Ergebnis), Fachinhalte für den Unterricht nutzbar zu machen (Gess-Newsome, 1999): „PCK itself summarises a teacher’s knowledge base, so does not ‘exist’ as a separate type of knowledge” (Kind, 2009, S. 180). Welche Perspektive zur Charakterisierung des PCK jedoch gewählt wird, ist stark vom Fokus der Untersuchung abhängig (Neumann et al., 2019). Kind (2009) führte hierzu aus, dass beispielsweise Studien zum Zusammenhang von Unterrichtspraxis und PCK eine eher integrative Perspektive einnehmen sollten, da diese den eigentlichen Handlungsmoment mit einbezieht. Im Zuge dieser Forschung wird nach van Driel et al. (2014) das PCK als *knowledge for teachers* (siehe hierzu auch Fenstermacher, 1994) interpretiert. Dagegen bietet die transformative Perspektive das Potential, die Entwicklung eines adäquaten Professionswissens zu untersuchen (im Sinne einer Beforschung des PCK als *knowledge of teachers*; van Driel et al., 2014), da durch diese Perspektive Quellen und Mechanismen der Entwicklung des PCK herausgestellt werden können.

Diese theoretischen Überlegungen zum CK und PCK bildeten die Basis für eine detaillierte Beforschung des Professionswissens von Lehrkräften. Eine im deutschen Sprachraum umfassende Untersuchung des Professionswissens mit Hilfe von schriftliche Leistungstests (sog. Paper-Pencil-Tests) erfolgte im COACTIV-Projekt (Baumert et al., 2011). Mit Hilfe von entwickelten Tests zur Erfassung des CK und PCK von Mathematiklehrkräften konnte unter anderem gezeigt werden, dass CK und PCK nicht nur theoretisch, sondern auch empirisch trennbar sind (Baumert et al., 2010). In Anlehnung an die Paper-Pencil-Tests zur Erfassung des Professionswissens von Mathematiklehrkräften folgten bald erste Modellierungen des Professionswissens von Physiklehrkräften (siehe Olszewski, 2010; Riese, 2009). So operationalisierte Riese (2009) das CK von Physiklehrkräften im Sachgebiet Mechanik in verschiedenen Niveaustufen (Schulwissen, vertieftes Wissen, universitäres Wissen) und kognitiven Aktivitäten (Reproduzieren, Verstehen, Beurteilen und Analysieren). Kirschner (2013) hingegen unterschied in ihrem Testinstrument lediglich zwischen den Niveaustufen Schulwissen und vertieftem Schulwissen in Mechanik. Das PCK von Physiklehrkräften konzeptualisierte Riese (2009) als Wissen über Aspekte physikalischer Lernprozesse, Wissen über den Einsatz von Experimenten, der Gestaltung und Planung von Lernprozessen, der Beurteilung, Analyse und Reflexion von Lernprozessen sowie einer adäquater Reaktion in kritischen, unerwarteten Unterrichtssituationen. Ein späteres Testinstrument von Riese et al. (2017) identifizierte das Wissen über Instruktionsstrategien, über Vorstellungen der Schüler*innen, über Experimente und Vermittlung eines angemessenen Wissenschaftsverständnisses sowie über fachdidaktische Konzepte als Facetten des PCK von Physiklehrkräften. Olszewski (2010) unterteilte das PCK von Physiklehrkräften in Wissen über Vorstellungen der Schüler*innen, Wissen über das Curriculum sowie Wissen über Lernschwierigkeiten. Kirschner (2013) wiederum unterschied drei Facetten des PCK: Wissen über Vorstellungen der Schüler*innen, Wissen über Konzepte sowie Wissen über Experimente. Dabei lässt sich das Wissen über Konzepte sowie über Experimente von Kirschner (2013) beziehungsweise Riese et al. (2017) der Facette Instruktionsstrategien von Magnusson et al. (1999) unter-

ordnen (Kirschner, 2013). In späteren Studien rückten dann speziell angehende Physiklehrkräfte in den Fokus, wobei sich Projekte wie KiL (Kröger, 2019) oder ProfiLe-P (Riese et al., 2015) auf die Struktur und Messung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte fokussierten. Diese wie viele weitere quantitative Studien bestätigten die empirische Trennbarkeit von CK und PCK, wenngleich beide Wissensbereiche hochkorreliert sind (z.B. Kirschner et al., 2016: $r = .52$; Kröger, 2019: $r = .58$; Riese & Reinhold, 2012: $r = .68$).

International nährte man sich dem CK und PCK von Physiklehrkräften durch eher qualitative Zugänge (Vogelsang & Cauet, 2017). Hierzu wurden beispielsweise Methoden wie das *concept mapping* (siehe Hashweh, 1987), Einzel- und Gruppeninterviews (siehe de Jong & van Driel, 2004), *stimulated recall interviews* (siehe Nilsson, 2008) sowie videografiertes Unterricht und Befragungen der Schüler*innen (siehe Alonzo et al., 2012) genutzt. Diesen qualitativen Zugängen schlossen sich über die Jahre weitere Forscher*innen an, wobei besonders die Messung des PCK als komplexes Konstrukt (d.h. PCK als *knowledge for* und *knowledge of teachers*) verschiedener Instrumente bedarf (Baxter & Lederman, 1999; siehe auch Kagan, 1990): „Particularly, assessment of PCK requires a combination of approaches that can collect information about what teachers know, what they believe, what they do, and the reasons for their actions” (Park & Oliver, 2008, S. 267). Als Konsequenz wurde vermehrt eine Kombination verschiedener qualitativer Zugänge genutzt, wie beispielsweise Interviews, videografiertes Unterricht und Stundenentwürfe der Lehrkräfte (siehe z.B. Nilsson & Vikström, 2015; Rollnick, 2017). Die verschiedenen Forschungsansätze mündeten so in einer großen Heterogenität der verwendeten Konzeptionen des PCK (Cauet, 2016; Chan & Hume, 2019; Kirschner, 2013). Dies ist besonders problematisch, da dadurch Klarheit und Kohärenz zwischen den Forschungsergebnissen fehlt und umfassendere Aussagen über Forschungen hinweg nur eingeschränkt möglich sind (Abell, 2007; Smith & Banilower, 2015). Um also der Heterogenität in den Konzeptionen und Modellierungen des PCK entgegen zu wirken, entwickelte eine Gruppe von internationalen Fachdidaktiker*innen ein gemeinsames Modell – das *Refined Consensus Model of PCK* (Carlson et al., 2019).

2.2.2. Das Refined Consensus Model of PCK

Mit dem Ziel, die unterschiedlichen internationalen Perspektiven auf das PCK zusammenzuführen, entstand unter der Zusammenarbeit von Fachdidaktiker*innen im Jahr 2012 ein erstes gemeinsames *Consensus Model of PCK* (Gess-Newsome, 2015). Das *Consensus Model* beruht auf den Arbeiten von Shulman (1987) und Magnusson et al. (1999) und definiert PCK als „knowledge of, reasoning behind, and planning for teaching a particular topic in a particular way for a particular purpose to particular students for enhanced student outcomes” (Gess-Newsome, 2015, S. 36). Somit erweitert das *Consensus Model* die ursprüngliche Definition des PCK von Shulman (1986, 1987), da nun die Bedeutung des PCK für die Gesamtheit unterrichtlicher Handlungen (d.h. Planung, Durchführung und Reflexion) fokussiert wird (Shulman, 2015). Das *Consensus Model of PCK* (Gess-Newsome, 2015) führte zu anhaltenden Diskussionen innerhalb der Forschungsgemeinschaft, sodass im Dezember 2016 eine Gruppe von 24 internationalen Fachdidaktiker*innen die Arbeiten an einem gemeinsamen Modell, dem *Refined Consensus*

Model (RCM) of PCK, fortsetzen (Carlson et al., 2019).

Das RCM of PCK übernimmt die Perspektive des *Consensus Model*, indem es die unterrichtlichen Handlungen zum Mittelpunkt des Modells macht. Dabei identifiziert das RCM of PCK verschiedene Teilaspekte des PCK und modelliert ihre Zusammenhänge durch wechselseitigen Austausch (Carlson et al., 2019). Die verschiedenen Teilaspekte des PCK sind im RCM als konzentrische Kreise repräsentiert. Auf diese Weise wird verdeutlicht, dass äußere Kreise als Basis für die jeweiligen inneren Kreise fungieren. Das RCM of PCK identifiziert drei verschiedene Teilaspekte des PCK: *collective PCK* (cPCK), *personal PCK* (pPCK) und *enacted PCK* (ePCK). Das cPCK umfasst normatives Wissen, welches von verschiedenen Personengruppen wie Wissenschaftler*innen oder Lehrkräften kollektiv geteilt wird und der Öffentlichkeit zugänglich ist (z.B. in Form Lehrveranstaltungen an Universitäten). Das pPCK repräsentiert das individuelle Wissen einer Lehrkraft, welches sich durch eigene Lehr-Lernprozesse sowie durch den Austausch mit anderen Personengruppen wie Fachdidaktiker*innen oder dem Schulkollegium entwickelt. Dabei kann das pPCK als Reservoir von Wissen verstanden werden, auf das die Lehrkraft während der Planung, Durchführung und Reflexion von Unterricht zurückgreifen kann. Solche Elemente des pPCK, die nun im Prozess der unterrichtlichen Planung, Durchführung und Reflexion genutzt werden, identifiziert das RCM of PCK als ePCK. Somit stellt das ePCK jene Teilmenge des pPCK dar, die in einer tatsächlichen unterrichtlichen Handlung genutzt wird (Carlson et al., 2019). Umschlossen werden die drei Teilaspekte des PCK, cPCK, pPCK und ePCK, durch eine breite Wissensbasis (*broader professional knowledge bases*; Carlson et al., 2019), in der das CK einen prominenten Anteil als fachliche Grundlage für alle drei Teilaspekte des PCK einnimmt. Durch diese Modellierung des PCK vereint das RCM of PCK transformative und integrative Perspektiven auf das PCK: zum einen werden Wissensbereiche der breiten Wissensbasis (d.h. das CK) in verschiedene Teilaspekte des PCK transformiert, um sie für den Unterricht nutzbar zu machen, zum anderen kann das im Handlungsmoment entstehende ePCK als Integration bestehender Wissensbereiche verstanden werden (Tepner & Sumfleth, 2019). Für Forschungsarbeiten bietet das RCM of PCK somit das Potential, dem PCK als *knowledge for* und *knowledge of teachers* zu begegnen.

Alle vier Wissensbereiche (das cPCK, pPCK, ePCK und CK) sind durch Pfeile verbunden und betonen so den wechselseitigen Austausch zwischen den Wissensbereichen. Lerngelegenheiten können diesen Austausch fördern, so bieten zum Beispiel praktische Unterrichtserfahrungen Möglichkeiten für den wechselseitigen Austausch zwischen pPCK und ePCK (Alonzo et al., 2019). Alonzo et al. (2019) führten hierzu aus:

First, pPCK provides the basis for ePCK at each step of the plan-teach-reflect cycle. In other words, ePCK is generated in the moment, but not out of thin air. All of a science teacher's knowledge, from past teaching and learning experiences, including classroom situations that are similar to the current one, serve as resources. [...] Second, ePCK is transformed into pPCK, i.e., part of the store of knowledge available for future planning, teaching and reflecting. [...] This transformation happens primarily through reflection in, or on, a science teaching episode as

intuition and experiences become part of future knowledge that can be explicitly drawn upon in planning, teaching and reflection. (S. 275)

Der Austausch zwischen den verschiedenen Wissensbereichen wird durch Filter moderiert, die sich in internale und externale Filter unterscheiden lassen (Henze & Barendsen, 2019). Internale Filter beruhen auf der Lehrkraft selbst, wie beispielsweise ihre Überzeugungen und Wertehaltungen. Externale Filter liegen außerhalb der Lehrkraft begründet und können zum Beispiel die Vorbereitung der Unterrichtserfahrungen durch universitäre Lehrveranstaltungen umfassen. Internale und externale Filter berücksichtigen auf diese Weise, dass die Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften nur einen indirekten Einfluss auf das Professionswissen und ihre Unterrichtspraxis einnehmen (Gess-Newsome, 2015) und repräsentieren somit die Individualität und Variabilität des Professionswissens.

Zusammenfassend bildet das RCM of PCK ein geeignetes Modell zur Beschreibung des PCK, da es nicht nur die verschiedenen Konzeptualisierungen des PCK vereinigt, sondern gleichzeitig charakterisiert, wie Lehrkräfte ihr erworbenes PCK im tatsächlichen Handlungsmoment umsetzen und welche Rolle ihr CK in der Unterrichtspraxis einnimmt. Dennoch gibt das RCM of PCK keinen Aufschluss darüber, wie sich verschiedene Lerngelegenheiten innerhalb der beruflichen Laufbahn auf das Professionswissen auswirken. So bleibt beispielsweise unklar, wie sich Lerngelegenheiten der universitären Physik-Lehramtsausbildung auf die Entwicklung von CK und PCK auswirken und in welcher Weise die Nutzung der Lerngelegenheiten die Entwicklung von CK und PCK beeinflusst.

2.3. Die Entwicklung von CK und PCK

Die Physik-Lehramtsausbildung mit ihren Lerngelegenheiten sowie deren effektive Nutzung ermöglicht es angehenden Physiklehrkräften, ihr Professionswissen während der universitären Lehramtsausbildung zu entwickeln. Zwar handelt es sich bei CK und PCK um theoretisch wie auch empirisch trennbare Konstrukte, doch entwickeln sich beide Wissensbereiche nicht getrennt voneinander (van Driel et al., 2014). So zeigte sich zum Beispiel das CK bei de Jong und van Driel (2004) als limitierender Faktor für das PCK angehender Chemielehrkräfte, indem sich ihre fachlichen Schwierigkeiten in ebengleichen Schwierigkeiten in der Durchführung von Instruktionen (d.h. in einem geringen PCK) niederschlagen (für praktizierende Lehrkräfte siehe z.B. Chan & Yung, 2015; Krauss et al., 2008; Rollnick et al., 2008). Auch Kind (2009) beobachtete, dass Lehrkräfte mit mangelndem CK ein ebenso geringes PCK aufweisen: „Where good SMK [subject matter knowledge, d.h. CK] is absent, teachers tend to resort to more passive and less active instructional strategies and show less understanding of students' learning difficulties related to the science“ (S. 191). Dabei scheinen insbesondere das Wissen über Lernschwierigkeiten von Schüler*innen und mögliche Instruktionsstrategien als besonders abhängig vom CK zu sein (Halim & Meerah, 2002; Riese & Reinhold, 2010; van Driel et al., 2002). Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass sich der Einfluss des CK während der Entwicklung des PCK ändert. Beispielsweise deuten die Ergebnisse von Sorge, Kröger et al. (2019)

darauf hin, dass sich die Höhe des Zusammenhangs zwischen CK und PCK im Laufe der universitären Lehramtsausbildung verstärkt. Folglich kann also das CK angehender Lehrkräfte als notwendige Bedingung für ihr PCK angesehen werden (Kaya, 2009; van Driel et al., 2002). Ein hohes CK alleine scheint jedoch nicht ausreichend für ein adäquates PCK zu sein (Kind, 2009), sodass für die Entwicklung des PCK angehender Lehrkräfte weitere Faktoren relevant sind. Bezüglich dieser Faktoren lassen sich gemeinhin zwei Hypothesen unterscheiden (Kunter, Kleickmann et al., 2011). Die Eignungshypothese versucht, Unterschiede im Professionswissen von Lehrkräften auf Persönlichkeitsmerkmale zurückzuführen, beispielsweise auf ihre Überzeugungen zum Lehren und Lernen (siehe z.B. Blömeke et al., 2014) oder ihren kognitiven Fähigkeiten (siehe z.B. Riese & Reinhold, 2012; Woitkowski, 2020). Letzteres wird dabei als stärkster Prädiktor für den Erfolg als Lehrkraft angesehen (Klusmann, 2011). Dem entgegen betont die Qualifikationshypothese, dass das Professionswissen von Lehrkräften zum größten Teil von ihrer (universitären) Ausbildung abhängt und damit weitestgehend unabhängig ihrer Eingangsvoraussetzungen ist (siehe z.B. Darling-Hammond, 2016; Kennedy et al., 2008). Beide Hypothesen sind im Modell zur Entwicklung professioneller Kompetenz von Kunter, Kleickmann et al. (2011) vereint. Das Modell zur Entwicklung professioneller Kompetenz (Kunter, Kleickmann et al., 2011) basiert auf dem Angebot-Nutzungs-Modell (Helmke, 2017), indem es Lerngelegenheiten als Angebot für den Erwerb und die Entwicklung des Professionswissens identifiziert.

Das Modell zur Entwicklung professioneller Kompetenz (Kunter, Kleickmann et al., 2011) identifiziert verschiedene Phasen, die Lehrkräfte während ihrer Berufslaufbahn durchlaufen; vom Studium über das Referendariat bis hin zur aktiven beruflichen Tätigkeit. Als entscheidende Phase für die Entwicklung des Professionswissens kann jedoch die universitäre Lehramtsausbildung mit ihren Lerngelegenheiten identifiziert werden (Kleickmann & Anders, 2011). Somit kann die Entwicklung des CK und PCK innerhalb dieser Phase als grundlegend für den späteren beruflichen Erfolg von Physiklehrkräften gesehen werden. Inwieweit jedoch angebotene Lerngelegenheiten das Professionswissen von angehenden Lehrkräften tatsächlich beeinflussen, wird durch die individuelle Nutzung dieser determiniert (Kunter, Kleickmann et al., 2011). Diese Nutzung hängt zum einen von Kontextfaktoren wie der Universität oder dem besuchten Studiengang ab, zum anderen von individuellen Merkmalen wie zum Beispiel der kognitiven Fähigkeit (Kunter, Kleickmann et al., 2011). Durch die Nutzung der Lerngelegenheiten können angehende Lehrkräfte ihr Professionswissen erwerben und entwickeln, sodass sie im späteren Verlauf ihrer Ausbildung und ihres Berufs an professionellem Verhalten gewinnen. Dieses professionelle Verhalten zeichnet sich durch effektiven Unterricht, aber auch durch die Bewältigung außerunterrichtlicher Tätigkeiten, wie beispielsweise administrativer Aufgaben, aus (Kunter, Kleickmann et al., 2011).

Zusammenfassend bietet das Modell zur Entwicklung professioneller Kompetenz von Kunter, Kleickmann et al. (2011) verschiedene Möglichkeiten, die Entwicklung des CK und PCK angehender Lehrkräfte zu erklären. Insbesondere werden in diesem Modell verschiedene Lerngelegenheiten der universitären Physik-Lehramtsausbildung identifiziert und ihre Nutzung

durch verschiedene Faktoren beschrieben. Jedoch beinhaltet das Modell von Kunter, Kleickmann et al. (2011) im Vergleich zum RCM of PCK (Carlson et al., 2019) keine detaillierte Charakterisierung des PCK. So vernachlässigt das Modell zur Entwicklung professioneller Kompetenz die Bedeutung des CK für das PCK sowie etwaige Zusammenhänge zwischen Teilaspekten des PCK. Ein gemeinsames Modell könnte folglich die Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte im Verlauf ihrer universitären Lehramtsausbildung erklären sowie Determinanten dieser Entwicklung identifizieren. Vereint man das RCM of PCK (Carlson et al., 2019) mit dem Modell zur Entwicklung professioneller Kompetenz (Kunter, Kleickmann et al., 2011), so lässt sich für angehende Physiklehrkräfte das in Abbildung 2.1 dargestellte Modell ableiten. Das dargestellte Modell berücksichtigt verschiedene Lerngelegenheiten der universitären Physik-Lehramtsausbildung und ihre Nutzung, während gleichzeitig das PCK angehender Physiklehrkräfte detailliert aufgeschlüsselt wird. Dieses Modell bildet die Grundlage der vorliegenden Arbeit.

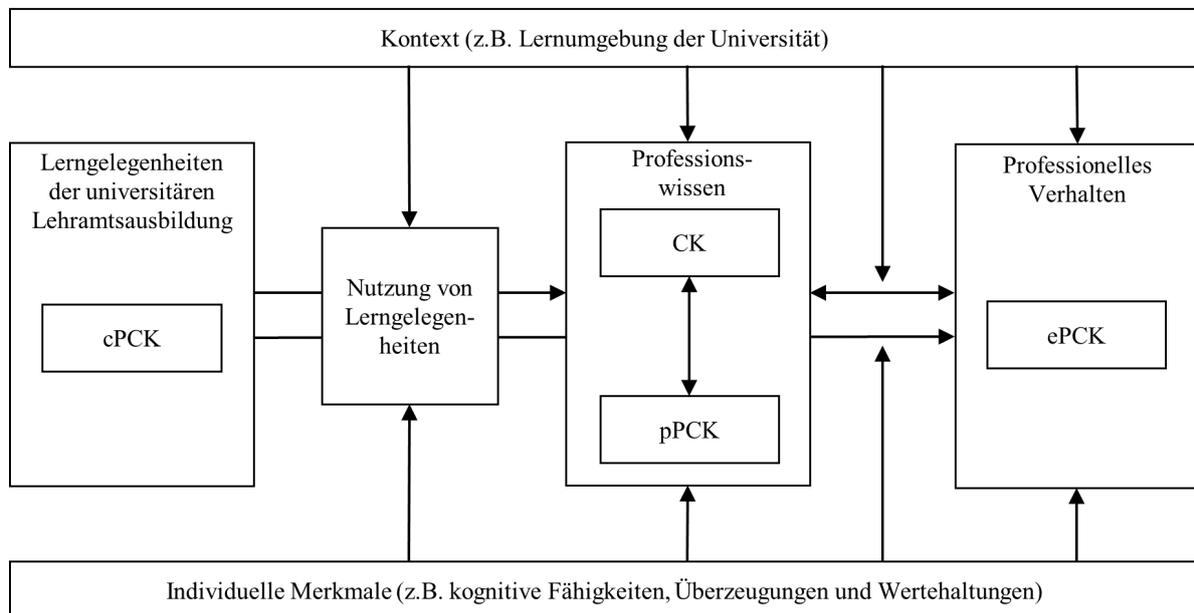


Abbildung 2.1 Modell zur Entwicklung einer professionellen Kompetenz von angehenden Lehrkräften im Rahmen ihrer universitären Lehramtsausbildung. In Anlehnung an Carlson et al. (2019) und Kunter, Kleickmann et al. (2011).

2.3.1. Lerngelegenheiten der universitären Lehramtsausbildung

Die universitäre Ausbildung umfasst eine Reihe von Lerngelegenheiten, die sich gemäß dem Grad ihrer Formalisierung in formale, nonformale und informelle Lerngelegenheiten unterscheiden lassen (Kleickmann et al., 2013; Kunter, Kleickmann et al., 2011). Formale Lerngelegenheiten (wie bspw. Vorlesungen und Seminare) sind durch die Universität organisiert und strukturiert und haben den eigentlichen Wissenserwerb als Hauptintention. Nonformale Lerngelegenheiten (wie bspw. praktische Unterrichtserfahrungen) finden typischerweise außerhalb der Universität statt und führen, im Gegensatz zu formalen Lerngelegenheiten, nicht zum Erwerb von formalen Abschlüssen. Dennoch handelt es sich bei nonformalen Lerngelegenheiten um Situationen, die speziell auf einen Wissenserwerb ausgelegt sind. Informelle Lerngelegen-

heiten (wie bspw. Gespräche mit anderen Lehrkräften während Schulpraktika) entstehen zu meist in spezifischen Situationen und sind weder durch Vorgaben kontrolliert, noch verfolgen sie die Hauptintention des Wissenserwerbs; Lernen findet als Nebeneffekt („side effect“; Ty njälä, 2008) der eigentlichen Tätigkeit statt.

Diverse Studien mit angehenden Lehrkräften legen nahe, dass sich das CK und PCK ange hender Lehrkräfte maßgeblich innerhalb der universitären Ausbildung und ihren formalen Lerngelegenheiten entwickelt (für die Physik z.B. Riese et al., 2017; Sorge, Kröger et al., 2019; für die Biologie z.B. Großschedl et al., 2015; für die Mathematik z.B. Brunner et al., 2006; Kleickmann et al., 2013). Beispielsweise wiesen Sorge, Kröger et al. (2019) nach, dass sich die Studienjahre (und damit mit formalen Lerngelegenheiten der universitären Physik-Lehramts ausbildung) positiv auf das PCK und CK auswirken. Allerdings zeigte sich in den Ergebnissen von Riese und Reinhold (2012), dass ein signifikanter Unterschied im CK zwischen Studien anfänger*innen und –fortgeschrittenen zumindest für angehende Haupt– und Realschullehr kräfte ausbleibt. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Einfluss universitärer Lerngele genheiten starker Varianz unterliegt, die möglicherweise Folge unterschiedlicher Studienmo delle sein könnte (siehe z.B. Boyd et al., 2009; Darling-Hammond et al., 2016). So identifizier ten empirische Arbeiten einzelne Faktoren universitärer Lehramtsausbildung, die im Zusam menhang mit der Entwicklung von CK und PCK stehen (insbesondere der gewählte Lehramts typ; siehe z.B. Riese & Reinhold, 2012; Kleickmann et al., 2013; Schödl, 2017). Bisher wurden diese Faktoren aber isoliert betrachtet, stellvertretend für verschiedene Studienmodelle und ihre Struktur, ohne dabei die eigentlichen Ausbildungspläne der Hochschulen in den Blick zu neh men. Neben den formalen Lerngelegenheiten gelten zudem praktische Unterrichtserfahrungen (d.h. sowohl Unterrichtsbeobachtungen als auch selbst erteilter Unterricht) insbesondere für die PCK Entwicklung als förderlich (z.B. Großschedl et al., 2015; Schneider & Plasman, 2011; Sorge, Kröger et al., 2019; van Driel et al., 2002). Beispielsweise zeigte sich in einer qualitati ven Studie mit 12 angehenden Chemielehrkräften, dass sich praktische Unterrichtserfahrungen positiv auf ihr Wissen über Vorstellungen der Schüler*innen auswirkt (de Jong et al., 2005). Eine generelle Wirksamkeit von praktischen Unterrichtserfahrungen auf angehende Lehrkräfte konnte bisher jedoch nicht bestätigt werden. Verschiedene Studien wiesen drauf hin, dass der positive Effekt praktischer Unterrichtserfahrungen auf das PCK von verschiedenen Faktoren abhängig ist, wie den Überzeugungen (Friedrichsen et al., 2009) oder dem CK (van Driel et al., 2002) der Lehrkräfte sowie den Möglichkeiten zur Reflexion der erlebten Unterrichtserfahrun gen (Zemba-Saul et al., 2002).

Dies zeigt, dass die Wissensentwicklung angehender Lehrkräfte einem komplexen Zusam menspiel verschiedener Faktoren der universitären Lehramtsausbildung unterliegt (Boyd et al., 2009; Terhart, 2012; Zeichner & Conklin, 2008). Um sich der Aufklärung des Einflusses struk tureller Charakteristika der Lehramtsausbildung auf die Entwicklung von CK und PCK empi risch zu nähern, wären zunächst Analysen der Studienstruktur nötig (Bauer et al., 2012). Erste Untersuchungen der universitären Lehramtsausbildung legen nahe, dass sich die Lehramtsstu diengänge in Deutschland hinsichtlich Studienumfang und –inhalte stark unterscheiden (Bauer

et al., 2012; Keller, 2010; Keuffer, 2010). Darüber hinaus konnte bislang für den bildungswissenschaftlichen Teil der universitären Lehramtsausbildung gezeigt werden, dass sich diese strukturellen Unterschiede zwischen Lehramtsstudiengängen im PK der angehenden Lehrkräfte manifestieren (Kunina-Habenicht et al., 2013; Tachtsoglou & König, 2017; Watson et al., 2018). Speziell für die universitäre Lehramtsausbildung in Physik fehlen bislang jedoch Arbeiten, die einerseits die Struktur der fachlichen und fachdidaktischen Lerngelegenheiten systematisch analysieren und andererseits feststellen, wie sich etwaige Unterschiede auf das CK und PCK angehender Physiklehrkräfte auswirken.

2.3.2. Die Nutzung von universitären Lerngelegenheiten

Die Befunde zur Lehrkräftebildung zeigen weitestgehend übereinstimmend, dass sich die Bereitstellung von Lerngelegenheiten positiv auf das CK und PCK angehender Lehrkräfte auswirkt, was generell für eine Wirksamkeit der Lehrkräftebildung spricht (Terhart, 2012). Das Spektrum der angebotenen Lerngelegenheiten kann die Entwicklung des Professionswissens jedoch nur bedingt erklären (McDermott et al., 2000), da angehende Lehrkräfte universitäre Lerngelegenheiten eigenverantwortlich für ihre Wissensentwicklung nutzen (siehe z.B. Cochran-Smith et al., 2012; Lüders et al., 2006; Watson et al., 2018). Die individuelle Nutzung universitärer Lerngelegenheiten wird typischerweise durch distale Maße wie die Anzahl an besuchten Veranstaltungen erfasst (Watson et al., 2018). Da die Erfassung der tatsächlichen Nutzung durch angehende Lehrkräfte jedoch oftmals aufwendige Verfahren wie Befragungen von Dozierenden oder Beobachtungsstudien erfordern würde, betrachtet eine Vielzahl von Studien oftmals Zusammenhänge zwischen dem Professionswissen und Faktoren, die die individuelle Nutzung beeinflussen. Dabei kann die individuelle Nutzung von Lerngelegenheiten einerseits durch persönliche Merkmale wie kognitive Fähigkeiten und Überzeugungen beeinflusst werden (Klusmann, 2011), andererseits durch Kontextfaktoren wie eine positive Lernumgebung in der Universität (Kim & Corcoran, 2018) oder Kohärenz in der Lehramtsausbildung (Nordine et al., 2021).

Als persönliche Merkmale, die für die Entwicklung des Professionswissens relevant sind, fanden sich insbesondere die Überzeugungen von Lehrkräften. Friedrichsen et al. (2009) fanden beispielsweise, dass instruktionelle Entscheidungen von Biologielehrkräften durch ihre Überzeugungen und Wertehaltungen geleitet werden können. Dies legt nahe, dass Überzeugungen und Wertehaltungen von Lehrkräften die Entwicklung des PCK als eine Art Filter beeinflussen können. Die Annahme, dass Überzeugungen und Wertehaltungen von Lehrkräften im engen Zusammenhang mit ihrem Professionswissen und ihrem professionellen Verhalten stehen, ist sowohl durch theoretische Arbeiten (z.B. Magnusson et al., 1999; Schoenfeld, 1998) als auch durch einige qualitative Studien (z.B. Lemberger et al., 1999; Mavhunga & Rollnick, 2016) dokumentiert. Mavhunga und Rollnick (2016) zeigten, dass sich das PCK angehender Chemielehrkräfte innerhalb ihrer Interventionsstudie entwickelte und diese Entwicklung mit einer Änderung der Überzeugungen der angehenden Chemielehrkräfte assoziiert war. Darüber hinaus lieferten Markic und Eilks (2008) Evidenzen dafür, dass die Überzeugungen zum Lehren und Lernen von angehenden Physiklehrkräften des ersten Studienjahres ihre Instruktionen und

Handlungen im Klassenraum, also ihr professionelles Verhalten, beeinflussen können. Allerdings wurden bislang die Zusammenhänge von Überzeugungen und Professionswissen angehender (Physik-) Lehrkräfte entweder im Rahmen von Interventionen erfasst (z.B. Mavhunga & Rollnick, 2016) oder bieten nur Einsichten in einen vergleichsweise kleinen Ausschnitt der universitären Physik-Lehrmatsausbildung (z.B. Markic & Eilks, 2008). Es fehlt somit an quantitativen Untersuchungen, die den Einfluss von Überzeugungen auf das PCK im Rahmen der gesamten universitären Physik-Lehrmatsausbildung differenziert analysieren (Watson et al., 2018). Insbesondere stellt sich die Frage, welchen Beitrag Überzeugungen, neben dem CK und den universitären Lerngelegenheiten, zur Entwicklung des PCK leisten können.

Neben den persönlichen Merkmalen nehmen ebenso Kontextfaktoren Einfluss auf die Nutzung der Lerngelegenheiten. Innerhalb der Kontextfaktoren, die die individuelle Nutzung der Lerngelegenheiten beeinflussen, nimmt die Qualität der Lerngelegenheiten eine herausragende Stellung ein, da sie sich als besonders prädiktiv für den Wissenserwerb von Studierenden erwiesen hat (z.B. Feldmann, 2007; Schneider & Preckel, 2017; Watson et al., 2018). Eine qualitativ hochwertige Hochschulbildung kann dabei als eine solche beschrieben werden, die eine Weiterentwicklung der Studierenden sicherstellt und ihnen ermächtigt, Einfluss auf den eigenen Prozess der Weiterentwicklung zu nehmen (Harvey & Green, 1993). Konkret lässt sich Qualität in Lerngelegenheiten somit anhand der „Gestaltung von Lernarrangements, an motivationalen Faktoren und an Kommunikationsstrukturen festmachen“ (Schmidt, 2008, S. 158). Typischerweise wird die Qualität von universitären Lehrveranstaltungen durch Befragungen erfasst, in denen die gegenwärtige Gestaltungen der Lehrveranstaltungen bewertet wird und darauf aufbauend Möglichkeiten zur zukünftigen Optimierung abgeleitet werden (Rindermann, 2003). Für die Bewertung der Lehrveranstaltung wird in den meisten Fällen auf die subjektive Einschätzung der Studierenden zurückgegriffen, da sich diese als valides und praktikables Maß zur Bestimmung der Qualität von Lehrveranstaltungen herausgestellt haben (Feldmann, 2007; Rindermann, 2003). Solche Evaluationen von Lehrveranstaltungen führten in den letzten vierzig Jahren zu diversen Studien (siehe z.B. Feldmann, 1989; Marsh, 1982; Kulik & McKeachie, 1975; McKeachie, 1969). So zählten Benton und Cashin (2011) über 2500 englischsprachige Publikationen zum Thema Evaluation der Hochschullehre. Auf der einen Seite zeigt dies, dass Evaluationen von Lehrveranstaltungen ein wissenschaftlich etabliertes Instrument sind, um die Qualität und damit die Nutzung von Lerngelegenheiten angemessen zu erfassen. Auf der anderen Seite resultiert aus der deutlichen Praxisorientierung der Evaluationsforschung, dass sich Forschungsergebnisse zum großen Teil an Traditionen ihrer eigenen Domäne orientieren, was die Vergleichbarkeit von Ergebnissen einschränkt (Rindermann, 2003). Um aber vergleichbare und reproduzierbare Aussagen über die Qualität von Lehrveranstaltungen, nicht nur in der Lehrkräftebildung, zu erhalten, bedarf es eines theoretisch fundierten und etablierten Modells als Grundlage. Ein solches Modell kann dann die Qualität universitäre Lerngelegenheiten in der Lehrmatsausbildung detailliert abbilden und so Aufschluss darüber geben, wie angehende Lehrkräfte zur Entwicklung ihres CK und PCK universitäre Lerngelegenheiten nutzen (Kunina-Habenicht et al., 2013; Watson et al., 2018).

ZIEL DER ARBEIT UND ZUSAMMENFASSUNG DER STUDIEN

Das Fachwissen und fachdidaktische Wissen sind die zentralen fachspezifischen Wissensbereiche des Professionswissens von Lehrkräften (Baumert & Kunter, 2006; Fischer et al., 2012), da sie unterrichtliches Handeln der Lehrkräfte beeinflussen und so maßgeblich für das Lernen der Schüler*innen sind (siehe z.B. Coe et al., 2014; Keller et al., 2017; Sadler et al., 2013). Da beide Wissensbereiche in substantiellem Maße während der universitären Lehramtsausbildung entwickelt werden (z.B. Großschedl et al., 2015; Kleickmann et al., 2013) ist eine adäquate und wirksame universitäre Ausbildung von Lehrkräften essenziell für den (schulischen) Erfolg zukünftiger Generationen (Darling-Hammond, 1999; Darling-Hammond et al., 2005). Die Entwicklung des Professionswissens angehender Lehrkräfte unterliegt dabei einem komplexen Wechselspiel verschiedener Faktoren wie der Struktur und Qualität der Lehramtsausbildung sowie den persönlichen Erfahrungen, Werten und Überzeugungen der angehenden Lehrkräfte (siehe z.B. Boyd et al., 2009; Terhart, 2012).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu untersuchen, auf welche Weise sich verschiedene Faktoren innerhalb der universitären Lehramtsausbildung auf die Entwicklung des CK und PCK angehender Physiklehrkräfte auswirken. Dabei liegt der Arbeit das in Abbildung 2.1 dargestellte Modell zur Entwicklung einer professionellen Kompetenz angehender Lehrkräfte nach Carlson et al. (2019) und Kunter, Kleickmann et al. (2011) zu Grunde, sodass die im weiteren Verlauf vorgestellten Studien jeweils unterschiedliche Faktoren sowie ihren Einfluss adressieren (siehe Abbildung 3.1). Dabei wird in der ersten Studie eine systematische Untersuchung der universitären Lehramtsausbildung unternommen und analysiert, inwieweit sich Unterschiede in dieser im Professionswissen angehender Physiklehrkräfte niederschlagen. In der zweiten und dritten Studie werden anschließend die Nutzung universitärer Lerngelegenheiten und ihr Einfluss auf das Professionswissen in den Blick genommen. Hierfür wird am Beispiel der fachlichen Ausbildung untersucht, auf welche Weise die Qualität der universitären Lerngelegenheiten die Entwicklung des CK angehender Physiklehrkräfte determinieren kann. Schließlich wird im Rahmen der vierten Studie analysiert, wie Lerngelegenheiten der universitären Lehramtsausbildung und individuelle Merkmale das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte beeinflussen. Hierzu wird auf Basis des RCM of PCK (Carlson et al., 2019) untersucht, wie das CK, praktische Unterrichtserfahrungen sowie Überzeugungen zum Lehren und Lernen in den Naturwissenschaften in der Entwicklung eines adäquaten PCK münden können.

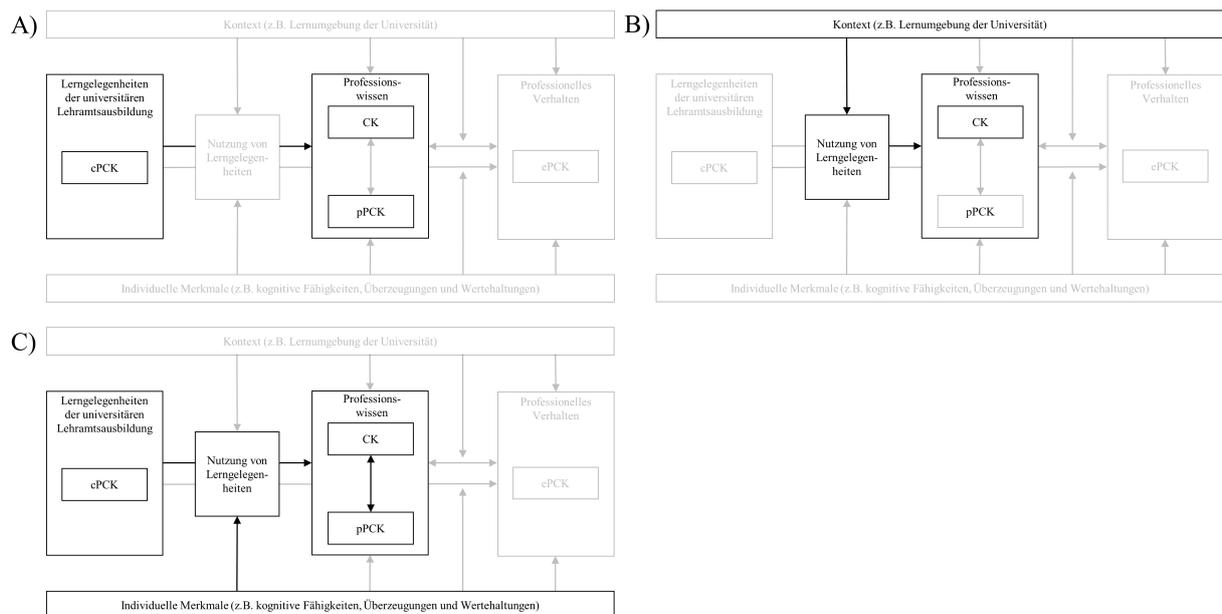


Abbildung 3.1 Überblick über die vier Studien im Modell zur Entwicklung einer professionellen Kompetenz von angehenden Lehrkräften nach Carlson et al. (2019) und Kunter et al. (2011). A) Verortung der Studie 1. B) Verortung der Studien 2 und 3. C) Verortung der Studie 4.

3.1. Studie 1: Hilft viel viel? Der Einfluss von Studienstrukturen auf das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte

Betrachtet man die Lehramtsausbildung in Deutschland, zeigt sich oft keine einheitliche Systematik. Zwar sollte die Bologna-Reform der Hochschulausbildung 1999 und die darauf folgenden Standards zur Lehrkräftebildung (KMK, 2004) die Heterogenität in den Studienmodellen reduzieren, ihnen gegenüber steht jedoch die Länder- und Hochschulautonomie (Bauer et al., 2012). Dieses Spannungsverhältnis legt die Vermutung nahe, dass sich die Lerngelegenheiten über verschiedene Lehramtsprogramme hinweg bezüglich Umfang und Inhalten stark unterscheiden. Die Unterschiede im Umfang und Inhalt der Lerngelegenheiten stehen im Verdacht, das CK und PCK angehender Lehrkräfte zu beeinflussen (z.B. Kunina-Habenicht et al., 2013; Tachtsoglou & König, 2017). Bisher liegen jedoch keine systematischen Untersuchungen zur universitären Physik-Lehramtsausbildung vor, sodass in dieser Studie zunächst die Curricula von 20 Hochschulen für das Lehramt Physik verglichen und Charakteristika in ihrer fach- und fachdidaktischen Ausbildung identifiziert werden. Basierend auf den Daten von $N = 107$ Lehramtsstudierenden des Faches Physik wird anschließend der Frage nachgegangen, inwieweit das CK und PCK angehender Physiklehrkräfte von curricularen Strukturen abhängt. Mit Blick auf die Studienstrukturen können vier prototypische Studienmodellen identifiziert werden, die als Curricula mit geringem bzw. umfangreichen Fach- und Fachdidaktikanteil interpretiert werden können. Studienmodelle mit umfangreichen Fachanteilen wirken sich dabei signifikant besser auf das CK aus. Zudem ist der Einfluss vom CK auf das PCK angehender Physiklehrkräfte abhängig von der jeweiligen Studienstruktur, so ist der Zusammenhang zwischen PCK und CK von Studierenden aus Studiengängen mit geringen Fachdidaktikanteilen höher als von Studierenden in anderen Studienmodellen. Dieses Ergebnis bekräftigt die bisherigen Befunde, dass

das CK eine grundlegende Rolle in der Entwicklung des PCK angehender Physiklehrkräfte einnimmt.

3.2. Studie 2: Course Quality in Higher Education Teacher Training: What Matters for Pre-Service Physics Teachers' Content Knowledge Development?

Da das CK einer Lehrkraft als Bedingung und Grundlage für die Entwicklung des PCK gilt (z.B. Rollnick et al., 2008), sind fachliche Lerngelegenheiten in der universitären Lehramtsausbildung von besonderer Bedeutung. Neben der Anzahl von Lerngelegenheiten wird vermutet, dass auch die Qualität der Lerngelegenheiten ein bedeutender Prädiktor für den Erwerb von CK ist (siehe z.B. Mäntylä & Nousiainen, 2014; McDermott et al., 2000). Trotzdem ist bisher kaum erforscht, wie und welche Aspekte von Qualität universitärer Lerngelegenheiten auf das CK angehender Physiklehrkräfte wirken. Zwar liegen bereits umfangreiche Evaluationsstudien und darauf aufbauende Meta-Analysen zur Qualität in der Hochschullehre vor (siehe z.B. Cohen, 1981; Feldmann, 2007; Marsh, 1982), diese variieren jedoch stark in den resultierenden Qualitätsdimensionen und weisen nur eine unzureichende theoretische Fundierung auf. Dem gegenüber stehen Modelle zur Unterrichtsqualität aus dem Bereich der Primar- und Sekundarbildung, die theoretisch verankert sind und sich hinsichtlich ihrer Dimensionen weitestgehend konsensuell verhalten (Praetorius et al., 2018). Um der Frage nachzugehen, ob sich die Qualitätsdimensionen etablierter Modelle zur Unterrichtsqualität auf die fachliche Lehramtsausbildung übertragen lassen, werden Längsschnittdaten von $N = 107$ angehenden Physiklehrkräften analysiert. Dabei zeigt sich, dass sich die wahrgenommene Qualität in fachlichen Lerngelegenheiten in vier Dimensionen unterscheiden lässt, die mit den Qualitätsdimensionen zur Unterrichtsqualität aus der Primar- und Sekundarbildung übereinstimmen (siehe Kleickmann et al., 2020). Darüber hinaus wird deutlich, dass insbesondere der *cognitive support* in Lerngelegenheiten durch Dozierende für die Entwicklung des CK angehender Physiklehrkräfte von Bedeutung ist. Somit entscheidet die Qualität von fachlichen Lerngelegenheiten darüber, in welchem Maße angehende Lehrkräfte Expertise in ihrer Domäne erlangen.

3.3. Studie 3: Promoting Progression in Higher Education Teacher Training: How Does Cognitive Support Enhance Student Physics Teachers' Content Knowledge Development?

Dass angehende Lehrkräfte Expertise in ihrer Domäne erlangen, ist eines der Hauptziele von Hochschulbildung (Zlatkin-Troitschanskaia et al., 2017). Dabei umfasst Expertise neben dem Faktenwissen (d.h. deklarativem Wissen) auch handlungsnahes Wissen (d.h. prozedural-schematisches Wissen), welche zu einer elaborierten und strukturierten Wissensbasis verknüpft sind (Bransford et al., 2000). Die Entwicklung einer solchen Expertise wird in der Literatur größtenteils als *top-down learning* beschrieben (siehe z.B. Sun et al., 2001), welches lediglich den Einfluss von deklarativem Wissen auf die Ausbildung prozedural-schematischen Wissens berücksichtigt. Zur Entwicklung erfordert es mitunter eine besondere kognitive Unterstützung; so

wird in der Literatur berichtet, dass insbesondere durch Strukturierung der Inhalte und die Förderung der inhaltlichen Klarheit das Lernen in Physik begünstigt werden kann (z.B. Seidel et al., 2005). Es bleibt jedoch unklar, wie *cognitive support* insbesondere die gegenseitige Entwicklung von deklarativem und prozedural-schematischen Wissen fördern kann. Um diesem Forschungsdefizit zu begegnen, wird die Entwicklung des CK von $N = 107$ angehenden Physiklehrkräften innerhalb eines Studienjahres analysiert. Die Ergebnisse geben Hinweise darauf, dass die Entwicklung des deklarativen und prozedural-schematischen CK eng miteinander verwoben ist, da neben dem *top-down learning* auch das prozedural-schematische CK den Erwerb des deklarativen CK beeinflusst. Zudem wirkt sich *cognitive support* in fachlichen Lerngelegenheiten durch Dozierende allein auf die Entwicklung des prozedural-schematischen CK aus. Auf diese Weise kann der *cognitive support* ein elaboriertes und strukturiertes CK fördern und letztendlich eine adäquate Basis für die Entwicklung angehender Physiklehrkräfte darstellen.

3.4. Studie 4: A Proficiency Model for Pre-Service Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) – What Constitutes High-Level PCK?

Neben dem CK stellt das PCK den zentralen Bereich des Professionswissens von Lehrkräften dar, da es sowohl über die Qualität des Unterrichts als auch über den Lernerfolg der Schüler*innen entscheidet (siehe z.B. Kunter et al., 2013; Sadler et al., 2013). Diese Bedeutung des PCK begründet das Interesse, die Entwicklung des PCK angehender Physiklehrkräfte valide einschätzen zu können. Hierfür bieten sogenannte Niveaumodelle ein hilfreiches Werkzeug, da sie eine kriterienorientierte Interpretation der vorhandenen Wissensstruktur ermöglichen (Mullis et al., 2016). Ein erstes Niveaumodell zur Beschreibung des PCK angehender Physiklehrkräfte liegt bereits vor (Schiering et al., 2019), Hinweise für die Robustheit und Validität des Niveaumodells stehen aktuell jedoch noch aus. Darüber hinaus ist unklar, inwieweit das vorliegende Modell zur Beschreibung einer Entwicklung im PCK genutzt werden kann. Für die Entwicklung des PCK von Physiklehrkräften gemäß des RCM of PCK (Carlson et al., 2019) spielen verschiedene Faktoren eine wichtige Rolle. Zum einen wird das PCK in Lerngelegenheiten wie Schulpraktika sowie durch das CK gefördert. Andererseits nehmen persönliche Filter wie die Überzeugungen zum Lehren und Lernen eine wichtige Rolle in der Entwicklung des PCK ein, da sie insbesondere den wechselseitigen Austausch zwischen den verschiedenen Wissensbereichen des PCK beeinflussen. Bisher fehlt aber ein umfassendes empirisches Bild darüber, wie sich CK, Schulpraktika und Überzeugungen abhängig von der vorhandenen Wissensstruktur im PCK auswirken. Zur Beantwortung der Frage wird hierfür zunächst auf Grundlage von $N = 427$ angehenden Physiklehrkräften das Niveaumodell in ihrem pPCK rekonstruiert. Anschließend wird untersucht, inwieweit sich die verschiedenen Faktoren (d.h. CK, Schulpraktika und Überzeugungen zum Lehren und Lernen) auf den Übergang in höhere Niveaus auswirken. Dabei zeigt sich, dass Übergänge in alle Niveaus ein ausgeprägtes CK erfordern. Der Übergang in die hohen pPCK Niveaus hingegen wird zusätzlich durch Schulpraktika und adäquate Überzeugungen zum Lehren und Lernen begünstigt, während sich der Einfluss des CK für diese Übergänge verringert. Die Ergebnisse weisen somit darauf hin, dass innerhalb der universitären

Lehramtsausbildung explizite Lerngelegenheiten für die Entwicklung von Überzeugungen und die Nutzung von Schulpraktika nötig sind, um das Professionswissen angehender Physiklehrkräften zu fördern.

STUDIE 1

Hilft viel viel? Der Einfluss von Studienstrukturen auf das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte

Zusammenfassung

Universitäre Lerngelegenheiten sind zentral für den Erwerb des Fachwissens (FW) und fachdidaktischen Wissens (FDW) angehender Lehrkräfte. Die Unterschiede in Umfang und Inhalt der Lerngelegenheiten zwischen den Hochschulen sind jedoch groß. Am Beispiel des Physik-Lehramtsstudiums werden in dieser Studie verschiedene Studienstrukturen und ihr Einfluss auf das FW und FDW angehender Lehrkräfte analysiert. Hierzu wurden Curricula von 20 deutschen Hochschulen für das Lehramt verglichen und Inhalt sowie Umfang ihrer fach- und fachdidaktischen Anteile in den ersten sechs Semestern identifiziert. Mit Blick auf die fachliche Ausbildung angehender Lehrkräfte zeigte sich, dass sie den Umfang der fachdidaktischen Ausbildung um etwa das Fünffache übersteigt. Zudem konnten vier Cluster identifiziert werden, die als prototypische Curricula mit geringem bzw. umfangreichen Fach- und Fachdidaktikanteil interpretiert werden können. Cluster mit umfangreichen Fachanteilen wirken sich dabei signifikant besser auf das FW aus. Zudem ist der Zusammenhang von FW und FDW abhängig von der Studienstruktur, so hängt das FDW von Probanden aus Studiengängen mit geringen Fachdidaktikanteilen stärker vom FW ab.

Schlüsselwörter: Fachdidaktisches Wissen; Fachwissen; Lehramtsausbildung; Physik; Studienstrukturen

Schiering, D., Sorge, S., & Neumann, K. (2021). Hilft viel viel? Der Einfluss von Studienstrukturen auf das Professionswissen angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24(3), 545–570. <https://doi.org/10.1007/s11618-021-01003-w>

4.1. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten hat die Bildungsforschung wiederholt gezeigt, dass die Lehrkraft ein entscheidender Faktor für erfolgreichen Unterricht ist. Dabei ist das Professionswissen der Lehrkraft, insbesondere die fachspezifischen Wissensbereiche Fachwissen (FW) und fachdidaktisches Wissen (FDW), entscheidend für den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler (Baumert & Kunter, 2011). Die bisherige Forschung legt nahe, dass dieses Wissen maßgeblich im universitären Teil der Lehramtsausbildung erworben wird (z.B. Brunner et al., 2006; Kleickmann et al., 2013). Zur Gestaltung der universitären Lehramtsausbildung verabschiedete die Kultusministerkonferenz (KMK) in den letzten Jahrzehnten diverse Beschlüsse, die die inhaltlichen Anforderungen des Lehramtsstudiums mit dem Ziel konkretisieren, das Lehramtsstudium über die Bundesländer vergleichbarer zu gestalten und Aussagen über die Qualifikation der Lehrkräfte treffen zu können (KMK, 2005).

Die Standards der Lehrkräftebildung auf der einen Seite und die Länder- und Hochschulautonomie auf der anderen Seite mündeten jedoch darin, dass sich verschiedene Lehramtsprogramme bezüglich Umfang und Inhalten der Lehrveranstaltungen stark unterscheiden (z.B. Keller, 2010) und diese Unterschiede mit dem Professionswissen der angehenden Lehrkräfte korrelieren. So konnten zum Beispiel Großschedl et al. (2015) feststellen, dass das FW und FDW von gewählten Lehramtstyp (gymnasiales Lehramt versus nicht-gymnasiales Lehramt) abhängig ist. Darüber hinaus zeigten Studien zu pädagogischen Lerngelegenheiten, dass nicht nur der Lehramtstyp, sondern auch Inhalt und Umfang der eigentlichen Lerngelegenheiten mit dem pädagogischen Wissen angehender Lehrkräfte zusammenhängen (z.B. Kunina-Habenicht et al., 2013; Tachtsoglou & König, 2017; Watson et al., 2018). Bisher fehlen allerdings Untersuchungen zum fachspezifischen Professionswissen, die es ermöglichen festzustellen, wie sich „*welches Element innerhalb welcher Lehrerbildung auf welche Teile der Lehrerkompetenz [auswirkt]*“ (Terhart, 2012, S. 14) – insbesondere in der Ausbildung von Physiklehrkräften.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich aus diesem Grund mit den in Deutschland vorliegenden Studienstrukturen und deren Einfluss auf das FW und FDW angehender Physiklehrkräfte. Hierzu wurden zunächst die Curricula von 20 Hochschulen systematisch analysiert und anhand ihrer Anteile in Fach- und Fachdidaktik klassifiziert. Anschließend wurden Daten von $N = 107$ Physik-Lehramtsstudierenden genutzt, um Zusammenhänge zwischen den Studienstrukturen und dem FW und FDW der angehenden Physiklehrkräfte zu charakterisieren.

4.2. Theoretischer Hintergrund

4.2.1. Die universitäre Lehramtsausbildung in Deutschland

4.2.1.1. Studienmodelle für das allgemeinbildende Lehramt

Die Bologna-Reform der Hochschulausbildung 1999 hatte zum Ziel, das Studium künftig so zu organisieren, dass eine höhere Vergleichbarkeit der Studiengänge und Flexibilität der Studierenden über die nationalen Grenzen hinaus gewährleistet sind (Bauer et al., 2012). Vor diesem

Hintergrund wurden traditionelle Studienstrukturen in Deutschland, darunter auch das Staatsexamen in Lehramtsstudiengängen, größtenteils durch eine modularisierte und gestufte Studienstruktur, das Bachelor-Master-Modell, ersetzt (Eurydice, 2010). Die Umstellung auf das Bachelor-Master-Modell stellt jedoch das Lehramtsstudium vor eine besondere Herausforderung (siehe z.B. Bauer et al., 2011). Einerseits soll im Bachelor-Master-Modell der Bachelor als polyvalenter Studiengang angeboten werden, was den Bachelor als ersten sogenannten berufsqualifizierenden Abschluss etabliert (Keuffer, 2010). Somit qualifiziert der polyvalente Bachelor neben dem Lehramt auch für andere Berufsfelder und Masterstudiengänge, was vorsieht, dass Studierende erst nach Erwerb des Bachelorabschlusses die Entscheidung treffen, das Lehramtsstudium aufzunehmen (Terhart, 2008). Dies würde bedeuten, dass Studiengänge im Bachelor vermehrt Fachwissenschaften lehren und die Ausbildung in den Erziehungswissenschaften und Fachdidaktik hauptsächlich im Master stattfindet (*sequenzielles Modell*) (Terhart, 2008). Andererseits aber wird von der KMK (2005) die thematische Trennung von Bachelor und Master verringert, indem sie Bildungswissenschaften sowie schulpraktische Studien als festen Teil des Bachelor-Studiums festschreiben. Folglich findet bereits im Bachelor eine lehramtsspezifische Ausbildung statt (*integratives Modell*), wodurch sich Studierende aufgrund von Formalitäten tendenziell sehr früh (im Bachelor) auf das Lehramtsstudium festlegen müssen (siehe Bauer et al., 2011). Dies legt die Vermutung nahe, dass der Bachelor de facto nur als Funktion einer Zwischenprüfung (analog zur Zwischenprüfung im Studienmodell Staatsexamen) besteht (Terhart, 2012) und „inneruniversitär keine Funktion“ (Weiler, 2007, S. 26) trägt.

Der polyvalente Bachelor auf der einen Seite und die Vorgaben der KMK (2005) zu lehramtsspezifischen Inhalten im Bachelor auf der anderen führten zu ganz unterschiedlichen Studienstrukturen (Bauer et al., 2012). So kommt beispielsweise Keuffer (2010) zu dem Schluss, dass die Reformen der Studienstrukturen tatsächlich eine stärkere Heterogenität im Lehramtsstudium hervorbrachten als zuvor; Keller (2010) spricht von einem „bunte[n] Flickenteppich unterschiedlicher Varianten der Einführung oder auch Nichteinführung von Bachelor- und Masterstudiengängen in der Lehrerbildung“ (Keller, 2010, S. 102). Vor diesem Hintergrund attestieren Bauer et al. (2012) der aktuellen Studiensituation für allgemeinbildende Lehrämter in Deutschland einen hohe Heterogenität. Welche Auswirkungen diese Heterogenität jedoch auf die Struktur des Lehramtsstudiums speziell im Fach Physik hat, ist bislang nicht klar. Einen ersten Hinweis hierfür können Standards, Curricula und Richtlinien zur Ausbildung von Physiklehrkräften geben.

4.2.1.2. Lehramtsstudium Physik: Standards und Richtlinien

Spricht man über Studienstrukturen, so müssen die universitären Curricula auf drei Ebenen unterschieden werden: Intendiertes, implementiertes sowie erreichtes Curriculum (Hascher, 2014). Tachtsoglou und König (2017) führen hierzu aus, dass das intendierte Curriculum Inhalte und Anforderungen in Form von Prüfungs- oder Studienordnungen verbindlich formalisiert. Das implementierte Curriculum beschreibt die tatsächliche Umsetzung des intendierten Curriculums. Das erreichte Curriculum fokussiert schließlich das Können und Wissen der Lernenden und ist somit als Resultat der beiden anderen Curricula zu verstehen (Hascher, 2014).

Während zur Untersuchung des erreichten Curriculums ein Instrument zur Erfassung der Lernziele (hier der professionellen Kompetenzen angehender Physiklehrkräfte) nötig ist und das implementierte Curriculum mindestens eine Befragung der Lehrenden erfordert, sind intendierte Curricula oft öffentlich zugänglich und dienen als rechtlicher Rahmen von und für Hochschulen sowie Dozierende.

Die Grundlage intendierter Curricula der Lehrkräftebildung bildet der Beschluss der KMK (2019). Darin werden die zu erreichenden fachspezifischen Kompetenzen der angehenden Lehrkräfte sowie Studieninhalte für Fachwissenschaft und Fachdidaktik definiert. Damit Lehrkräfte am Ende ihrer Ausbildung entsprechende fachspezifische Kompetenzen erreichen, nennt die KMK (2019) Studieninhalte, die als inhaltliche Vorgabe des Physik-Lehramtsstudiums dienen. Untergliedert sind diese Studieninhalte in sechs Themenbereiche und dazugehörige Inhalte. So finden sich unter dem Themenbereich „Experimentalphysik“ die Inhalte Mechanik, Thermodynamik, Elektrodynamik und Optik, Atom- und Quantenphysik sowie Festkörper-, Kern- und Elementarteilchenphysik, Kosmologie. Der Themenbereich „Theoretische Physik“ umfasst die Inhalte Theoretische Mechanik, Thermodynamik, Elektrodynamik und Quantentheorie. Unter dem Themenbereich „Physikdidaktik“ führt die KMK (2019) die Inhalte Fachdidaktische Positionen und Konzeptionen, Motivation und Interesse, Lernprozesse, Diagnose von Lernschwierigkeiten, Planung und Analyse von Physikunterricht, Aufgaben, Experimente und Medien, Umgang mit Heterogenität im Physikunterricht sowie Fachdidaktische Forschung auf. Weitere Themenbereiche sind physikalische Praktika, Mathematik für Physik und angewandte Physik, auf die hier nicht im Detail eingegangen wird. Zu welchem Zeitpunkt des Lehramtsstudiums oder in welchem Umfang die Inhalte behandelt werden sollen, ist nicht festgelegt, da „die Zuordnung von Inhalten zu Veranstaltungen [...] in Studienplänen zu treffen [ist]“ (KMK, 2019, S. 5), somit also der Länder- und Hochschulautonomie unterliegt.

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft [DPG] (2014) veröffentlichte ihrerseits Empfehlungen zur Strukturierung des Physik-Lehramtsstudiums. Die darin beschriebenen Kompetenzen angehender Physiklehrkräfte explizieren die der KMK (2019), gehen teilweise auch darüber hinaus. So empfiehlt die DPG (2014), beispielsweise den Studieninhalt Natur der Naturwissenschaften („Nature of Science“) explizit als eigenen Inhalt in die fachdidaktischen Ausbildung aufzunehmen. Zudem wird ein detaillierter Vorschlag für den Studienverlauf hinsichtlich der fachlichen wie auch fachdidaktischen Inhalte vorgegeben. Inwieweit jedoch dieser und andere exemplarische Vorschläge an den einzelnen Hochschulen tatsächlich in die Modulpläne aufgenommen wurden, ist fraglich, gerade weil Hochschulen im „Spannungsverhältnis zwischen Hochschulautonomie und föderalen Bildungsentscheidungen der Kultus- und Wissenschaftsministerien zu sehen [sind]“ (Bauer et al., 2012, S. 105). Es ist demnach allein schon auf Grund der bestehenden Studienmodelle (Staatsexamen vs. Bachelor-Master-Modell) zu erwarten, dass das intendierte Curriculum des Physik-Lehramtsstudiums eine hohe Heterogenität aufweist. Zudem ist anzunehmen, dass sich eben diese Heterogenität in den erreichten Curricula, also dem Erwerb von Fachwissen und fachdidaktischen Wissen angehender Physiklehrkräfte, niederschlagen wird (Riese & Reinhold, 2010).

4.2.2. Das Fachwissen und fachdidaktische Wissen als Teil des Professionswissens

Die einflussreichste Modellierung des Professionswissens geht auf Shulman (1987) zurück, der sieben Aspekte des Professionswissens formulierte, von denen das Fachwissen (FW), fachdidaktische Wissen (FDW) und das pädagogisch-psychologische Wissen die „allgemein akzeptierten Kernkategorien des Professionswissens von Lehrkräften darstellen“ (Krauss & Bruckmaier, 2014, S. 251). Forscherinnen und Forscher folgten in den letzten Jahrzehnten dieser Modellierung und beschrieben die fachbezogenen Wissenskategorien – das Fachwissen (FW) sowie fachdidaktische Wissen (FDW) – genauer (Kleickmann et al., 2013)

Das FW umfasst ein tiefes Verständnis der Struktur und Inhalte der Domäne (z.B. Grossman, 1990; Krauss et al., 2008), sodass Lehrkräfte befähigt werden, Zusammenhänge in der Domäne zu erkennen. Folglich wird das FW üblicherweise in zwei Dimensionen unterschieden: *Art des Wissens* und *Inhalt* (Tepner et al., 2012). Die möglichen Inhaltsdimensionen des FW (also den zentralen Themen der Physik) verhalten sich weitestgehend konsensuell und lassen sich in den von der KMK (2019) definierten Studieninhalten identifizieren (Sorge, Kröger et al., 2019). Die Art des Wissens wird dabei in Anlehnung an Shavelson et al. (2005) in deklaratives, prozedurales und strategisches bzw. konditionales Wissen unterschieden.

Die Modellierungen des FDW sind im Vergleich zu denen des FW weniger übereinstimmend (für einen Überblick siehe Gramzow et al., 2013). Daraus folgt, dass die Operationalisierungen des FDW nur schwer vergleichbar sind. Dennoch stützen sich alle Forschungsarbeiten zum FDW zunächst auf Shulmans (1986) Konzeptualisierung als Wissen, mit dessen Hilfe Lehrkräfte Fachinhalte aufbereiten können, um sie den Schülerinnen und Schülern verständlich zu machen (Shulman, 1986, S. 9). Eine innere Systematik erlangt das FDW durch sogenannte Facetten. Hierzu existieren bereits detaillierte Übersichtsarbeiten zu möglichen Facetten (siehe z.B. Kind, 2009; Kirschner, 2013). Weitestgehend wird das Modell von Magnusson et al. (1999) als Konsens für die Beschreibung der Facetten des FDW angesehen (Kind, 2009; Park & Oliver, 2008). Darin postulieren Magnusson et al. (1999) eine Unterteilung des FDW in die fünf Facetten Wissen über Curriculum, Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler, Assessment, Instruktionsstrategien sowie Orientierungen gegenüber naturwissenschaftlichem Unterricht. Die Orientierungen gegenüber dem naturwissenschaftlichen Unterricht als *Wissensfacette* zu verstehen, ist jedoch als problematisch zu sehen (z.B. Schiering et al., 2019). Darüber hinaus wird dem FDW in Modellen wie dem Consensus Model (Gess-Newsome, 2015) oder dem Refined Consensus Model (Carlson et al., 2019) eine handelnde Komponente ergänzt, indem das FDW sowohl das Wissen über Unterrichten als auch die eigentliche Handlung im Unterricht umfasst (im Sinne einer professioneller Handlungskompetenz nach Baumert & Kunter, 2006). Dabei stellt das Wissen eine wichtige Voraussetzung für das Handeln im Unterricht dar (siehe z.B. auch Blömeke et al., 2015), weshalb in der universitären Ausbildung der Erwerb von fachdidaktischem *Wissen* fokussiert wird.

Mittlerweile zeigt eine Reihe von Studien, dass die Trennung von FW und FDW empirisch möglich ist (z.B. Kirschner et al., 2016; Kleickmann et al., 2013; Sorge, Kröger et al., 2019). Somit kann angenommen werden, dass es sich beim FW und FDW um zwei sowohl theoretisch

als auch empirisch trennbare (aber hoch korrelierte) Bereiche des Professionswissens von Lehrkräften handelt (Neumann et al., 2019).

4.2.3. Die Entwicklung von FW und FDW im Rahmen der universitären Ausbildung

Die physikdidaktische Forschung zur Entwicklung des FW und FDW angehender Lehrkräfte kann bereits auf eine Vielzahl von Projekten und Arbeiten zurückblicken. Dabei konnten sich die Arbeiten im Bereich der Physik zunächst auf Erkenntnisse der Mathematik beziehen (siehe z.B. Brunner et al., 2006; Schmidt et al., 2007) und schließlich eigenständige Ergebnisse präsentieren. Aufbauend auf den ersten Modellierungen der professionellen Kompetenz von Physiklehrkräften (z.B. Riese, 2009) widmete man sich in Projekten wie ProwiN (Borowski et al., 2010) oder QuiP (Fischer et al., 2014) der Frage, welchen Einfluss das Professionswissen auf den Unterricht und das Lernen der Schülerinnen und Schüler hat. In weiteren Projekten rückten dann speziell *angehende* Physiklehrkräfte in den Fokus, wobei ihr Wissen (z.B. Riese et al., 2015 für ProfiLe-P; Schödl, 2017 für FALKO-P; Kröger, 2019 für KiL), ihre naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen (z.B. Straube, 2016 für Ko-WADiS) und der Zusammenhang zwischen Wissen und Handeln (z.B. Korneck et al., 2017 für Phi-Actio; Vogelsang et al., 2020 für ProfiLe-P+) genauer untersucht wurden.

Auf Grundlage dieser Forschung konnten in den letzten Jahren die Erkenntnisse zur Entwicklung des FW und FDW angehender Physiklehrkräfte weiter konkretisiert werden. So stehen den angehenden Physiklehrkräften während der universitären Ausbildung verschiedene Lerngelegenheiten zur Verfügung, wobei formale Lerngelegenheiten wie Vorlesungen und Seminare eine zentrale Rolle in der Förderung von FW und FDW einnehmen (Sorge, Kröger et al., 2019). Diverse Studien mit angehenden Physiklehrkräften konnten zeigen, dass fortgeschrittene Studierende über ein höheres FW und FDW verfügen als Studienanfänger (z.B. Riese & Reinhold, 2012; Riese et al., 2017; Sorge, Kröger et al., 2019; siehe auch Großschedl et al., 2015; Kind & Chan, 2019; Kleickmann et al., 2014). Dieser Unterschied im Wissen spricht für eine generelle Wirksamkeit des Lehramtsstudiums (Kleickmann & Anders, 2011; Schödl, 2017). Beide Wissensbereiche entwickeln sich jedoch nicht getrennt voneinander. So gilt das FW als notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für das FDW (z.B. Kind & Chan, 2019; Riese & Reinhold, 2010). Diverse Studien zeigen entsprechend einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem FW und FDW angehender und praktizierender Physiklehrkräfte (z.B. Kirschner et al., 2017; Liepertz & Borowski, 2018; Schödl, 2017; Sorge, Kröger et al., 2019). Neben diesen Ergebnissen zum Zusammenhang von FW und FDW zeigen bisherige Arbeiten auch, dass deren Höhe vom gewählten Lehramtstyp (gymnasiales Lehramt vs. Haupt- und Realschullehramt) abhängt (z.B. Riese & Reinhold, 2012). So zeigte sich zum Beispiel, dass angehende Gymnasiallehrkräfte ein höheres FW aufweisen als angehende Haupt- und Realschullehrkräfte (Physik: Kirschner et al., 2017; Schödl, 2017; Mathematik: Kleickmann et al., 2013; Biologie: Großschedl et al., 2015). Für das FDW zeigte sich jedoch in Untersuchungen von Riese und Reinhold (2012) sowie Sorge, Kröger et al. (2019), dass angehende Gymnasiallehr-

kräfte in Physik nicht zwangsläufig ein höheres FDW besitzen als angehende Haupt- und Realschullehrkräfte in Physik.

Zusammenfassend zeigen die bisherigen Arbeiten, dass die universitäre Ausbildung angehender Physiklehrkräfte signifikante Einflüsse sowohl auf das FW als auch auf das FDW hat (z.B. Sorge, Kröger et al., 2019). Darüber hinaus scheint ein fundiertes FW Grundlage für ein adäquates FDW zu sein (z.B. Riese & Reinhold, 2010). Insgesamt liefern bisherige Untersuchungen somit wichtige Ergebnisse, jedoch scheinen Merkmale wie Lehramts- oder Hochschultyp nicht differenziert genug zu sein, um detaillierte Rückschlüsse auf das FW und FDW angehender Physiklehrkräfte zuzulassen.

4.3. Fragestellungen

Die universitäre Lehramtsausbildung stellt einen entscheidenden Faktor für die Entwicklung des FW und FDW angehender Lehrkräfte dar (siehe z.B. Kleickmann & Anders, 2011). Offen ist aber, wie sich verschiedene Studienstrukturen auf das FW und FDW auswirken. Zwar liegen vereinzelt Studien vor, die die Studienzeit mit dem Wissenserwerb verknüpfen, es fehlen jedoch detaillierte Untersuchungen zu verschiedenen Arten universitärer Lehramtsausbildungen angehender Physiklehrkräfte und inwieweit sich die Vorgaben der KMK (2019) tatsächlich in den Modulplänen des Lehramtsstudiums wiederfinden lassen. Somit ist es nötig, eine systematische Untersuchung von intendierten Curricula der Hochschulen, wie auch deren Manifestation im FW und FDW angehender Physiklehrkräfte durchzuführen. Demnach ergeben sich für diese Studien folgende Forschungsfragen:

1. **FF** Welche fachlichen und fachdidaktischen Themen und Inhalte kennzeichnen das Physik-Lehramtsstudium in Deutschland?
2. **FF** Wie lassen sich die verschiedenen Physik-Lehramtsstudiengänge hinsichtlich ihrer Fach- und Fachdidaktikanteile klassifizieren?
3. **FF** Welchen Einfluss haben unterschiedliche Studienstrukturen auf das Fachwissen und fachdidaktische Wissen angehender Physiklehrkräfte?

Das Spannungsverhältnis zwischen Polyvalenzforderung und Vorgaben der KMK (2005) mündete in einer Vielzahl von verschiedenen Studienstrukturen. Bislang ist es weitestgehend unklar, ob die erste Hälfte des Physik-Lehramtsstudiums hauptsächliche Fachinhalte beinhaltet oder bereits lehramtspezifische Inhalte fördert (sequenzielles vs. integratives Modell). Es stellt sich somit die Frage, wie sich gerade die erste Hälfte des Physik-Lehramtsstudiums auf das FW und FDW angehender Lehrkräfte auswirkt. Zudem hat die in Deutschland herrschende Heterogenität in den Studienstrukturen auch Auswirkungen auf die Regelstudienzeit des Physik-Lehramtsstudiums, „sodass die Ausbildungsdauer im bundesweiten Vergleich nach wie vor variiert“ (Radhoff & Ruberg, 2016, S. 47), mindestens jedoch sechs Semester beträgt. Um also einerseits die erste Hälfte des Physik-Lehramtsstudiums genauer beschreiben zu können und andererseits eine möglichst hohe Anzahl an verschiedenen Studienstrukturen miteinander zu vergleichen, fokussiert diese Studie die ersten sechs Semester des Physik-Lehramtsstudiums.

4.4. Methoden

Zur Beantwortung der oben formulierten Forschungsfragen wurden zwei Methoden miteinander kombiniert. Zunächst sollen die vorherrschenden Studienstrukturen für das Physik-Lehramtsstudium in Deutschland identifiziert werden, anschließend soll das FW und FDW von angehenden Physiklehrkräften erfasst werden. Ersteres geschieht anhand öffentlich zugänglicher Dokumente der Hochschulen. Zur Erfassung des FW und FDW wurden Daten aus dem Projekt *Kompetenzentwicklung in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen* (Akronym: KeiLa) genutzt, dessen Ziel es war, die Entwicklung des Professionswissens angehender Lehrkräfte verschiedener Fächer zu untersuchen. Zudem wird angenommen, dass sich Studienstrukturen über alle Studienjahre erstrecken und daher in Zusammenhang mit dem FW und FDW von Probanden unabhängig vom Studienjahr stehen.

4.4.1. Stichprobenbeschreibung

Im Fach Physik nahmen 20 Hochschulen mit $N = 107$ Lehramtsstudierenden (43% weiblich) aus den ersten sechs Semestern teil. 37 der 107 Probanden nahmen die Möglichkeit wahr, in den nachfolgenden Jahren wiederholt an der Messung des FW und FDW teilzunehmen. Für diesen Fall wurden die vorliegenden Längsschnittdaten der Studienteilnehmenden als Querschnittdaten interpretiert. Somit liegen von den $N = 107$ Probanden insgesamt $n = 159$ Datenpunkte vor. 88 Probanden (130 Datenpunkte) studieren mit dem Ziel des Gymnasiallehramts, die durchschnittliche Studiendauer beträgt 2,11 Jahre ($SD = 0,85$ Jahre). In Abbildung 4.1 ist die Verteilung der Datenpunkte über die Studienjahre aufgeführt.

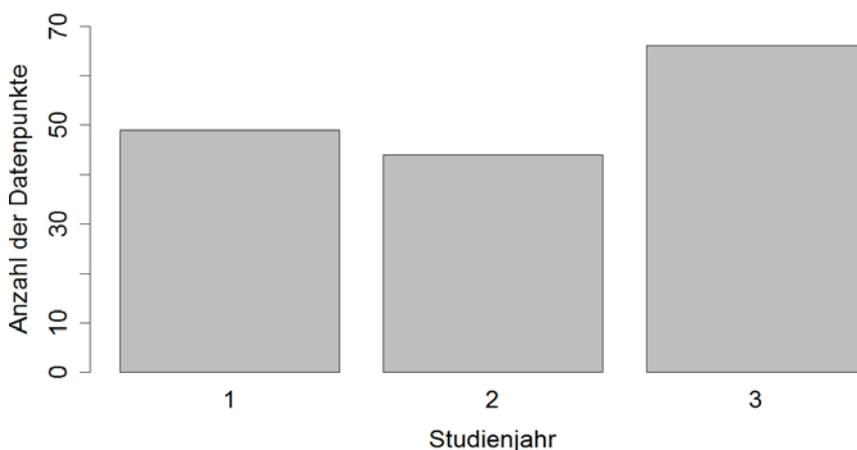


Abbildung 4.1 Verteilung der Datenpunkte über die Studienjahre.

Die 20 teilnehmenden Hochschulen stammen aus elf verschiedenen Bundesländern, bei 3 der 20 Hochschulen handelt es sich um Pädagogische Hochschulen. Da einige Hochschulen das Studium verschiedener Schulformen anbieten (z.B. Gymnasiallehramt und Haupt- und Realschullehramt), liegen 25 Studiengängen aus 20 verschiedenen Hochschulen vor. Von den 25 Studiengängen sind 11 Studiengänge dem Staatsexamen-Modell zuzuordnen, die restlichen 14 Studiengänge folgen dem Bachelor-Master-Modell. Die Regelstudienzeit für das Physik-Lehramtsstudium beträgt für 2 Studiengänge 7 Semester, für 7 Studiengänge 8 bis 9 Semester und

für 16 Studiengänge 10 Semester. Die ausgewählten Hochschulen mit ihren Studiengängen decken somit die Breite unterschiedlicher regionaler Besonderheiten und Studienmodelle ab. Zudem verteilen sich die 107 Probanden (bzw. 159 Datenpunkte) relativ gleichmäßig über die 25 Studiengänge.

4.4.2. Erfassung der Studienstrukturen

Zur Erfassung der Studienstrukturen wurden die öffentlich zugänglichen Dokumente der 25 Studiengänge an 20 deutschen Hochschulen herangezogen. Waren innerhalb einer Hochschule Probanden verschiedener Schulformen vertreten (z.B. Gymnasiallehramt und Haupt- und Realschullehramt), so wurden beide Studiengänge getrennt erfasst. Außerdem führten 6 der 25 Studiengänge das sogenannte „Major-Minor-Modell“, in dem das Studium zweier Fächer nicht im gleichen Umfang geschieht. Für die Analyse der Studienstrukturen wurden für Studiengänge mit dem Major-Minor-Modell jeweils die Modulpläne für *Physik als Hauptfach* betrachtet.

Die Sammlung der Dokumente umfasste neben den Modulhandbüchern weiterhin Studienverlaufspläne und Studien- sowie Prüfungsordnungen. Die Dokumente entsprachen dabei dem Stand der Studienstruktur zu Beginn der Erhebung im Wintersemester 2014/2015. Mit Hilfe der gesammelten Dokumente wurde für jeden Studiengang eine tabellarische Übersicht aller Lehrveranstaltungen im Physik-Lehramtsstudium erstellt und entsprechend ihrer Thematik in Fach und Fachdidaktik unterschieden. Für Veranstaltungen, die Fach und Fachdidaktik gleichermaßen betrafen, wurde mit Hilfe der Angaben in den Modulhandbüchern entschieden, zu welchen Anteilen die Semesterwochenstunden (SWS) auf Fach und Fachdidaktik aufzuteilen sind. Waren in den Modulhandbüchern keine eindeutigen Informationen über die Aufteilung der SWS vorhanden, wurde anhand der Beschreibung der Modul-Lernziele überprüft, ob der Fokus der Veranstaltung eher auf fachwissenschaftliche oder fachdidaktische Inhalte lag. Hatten beispielsweise Experimentierpraktika Lernziele wie etwa Sachkompetenz in der Benutzung physikalischer Messgeräte, so wurden sie dem Fach zugeordnet. Fokussierten die Experimentierpraktika etwa das Kennenlernen von physikalischen Schulexperimenten, so wurden die SWS der Fachdidaktik zugeordnet. Darüber hinaus wurden Schulpraktika nicht berücksichtigt, da es sich hierbei um Lerngelegenheiten handelt, die unter anderem stark von der Praktikumschule abhängig sind (z.B. die Betreuung durch Mentorinnen und Mentoren und Kollegium, Anzahl an Hospitationen, Anzahl an selbst erteilten Unterrichtsstunden) und weniger von den eigentlichen Studiengängen.

Zur Charakterisierung der Studieninhalte wurden mit Hilfe der tabellarischen Übersichten für jeden Studiengang erfasst, wie viele SWS² jeweils auf Veranstaltungen der Experimentalphysik, der theoretischen Physik und der Fachdidaktik entfallen. Bei der Experimentalphysik und Fachdidaktik wurde zudem mit Hilfe des Modulhandbuches ermittelt, wie viele SWS für den jeweiligen Inhalt (gemäß Vorgaben der KMK, 2019) vorgesehen waren. Für die Physikdidaktik ließen sich eine Vielzahl der fachdidaktischen Veranstaltungen (typischerweise die sog.

² In einigen Studien werden Leistungspunkte (LP) als Maß für die Quantität von Lehrveranstaltungen genutzt. Dabei ist zu beachten, dass LP u.a. auch individuelle Lernzeiten berücksichtigen. Da diese Studie jedoch die Strukturen des Studiums untersucht, werden die SWS als Maß für den Umfang von Lehrveranstaltungen genutzt.

Einführungsveranstaltungen) thematisch nicht eindeutig zuordnen, weshalb zusätzlich der Inhalt *Allgemeine Fachdidaktik* hinzugefügt wurde. Da die KMK (2019) für Studierende des Haupt- und Realschullehramts im Bereich der theoretischen Physik lediglich eine „Übersicht über Strukturen und Konzepte der Physik“ (KMK, 2019, S. 51) fordert, wurde bei der theoretische Physik nicht nach einzelnen Inhalten unterschieden. Um nun Aussagen über das „typische“ Physik-Lehramtsstudium zu tätigen, wurden die inhaltspezifischen SWS über alle Studiengänge gemittelt. Außerdem wurde ermittelt, wann der Inhalt durchschnittlich das erste Mal explizit thematisiert wird, mit wie vielen SWS dieser Inhalt maximal und minimal thematisiert wird und wie viele Studiengänge diesen Inhalt nicht explizit thematisieren.

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurde anhand der tabellarischen Übersichten berechnet, wie viele SWS Studierende bis zum Ende des sechsten Semesters in jedem der 25 Studiengänge in Fach und Fachdidaktik absolvieren sollten. Diese aufsummierten SWS in Fach und Fachdidaktik wurden dann genutzt, um entsprechende Cluster zu bilden. Ziel der Bildung von Clustern war es, die studiengangspezifischen SWS von Fach und Fachdidaktik so zu gruppieren (clustern), dass die Varianz innerhalb der Cluster minimal wird. Für die Bildung der Cluster wurde die sogenannte k-Means-Methode (MacQueen, 1967) gewählt. Die k-Means-Methode hat den Vorteil, dass jeder Cluster von einem ggf. fiktiven Zentrum (*Centroid*) repräsentiert wird (Kassambara, 2017). Folglich liefert die k-Means-Methode neben den Clustern auch cluster-typische SWS für Fach und Fachdidaktik. Für die k-Means-Methode stehen verschiedene iterative Verfahren zu Verfügung (für einen Überblick siehe Sharafi, 2013), welche die quadrierte (euklidische) Distanz zum Centroid minimieren. Für die vorliegende Studie wurde der Algorithmus von Hartigan und Wong (1979) genutzt, welcher im verwendeten R-Paket *factoextra* (Kassambara & Mundt, 2017) implementiert ist. Zu beachten ist, dass es die k-Means-Methode verlangt, die gewünschte Clusteranzahl im Vorwege festzulegen (Hartigan & Wong, 1979). Um die Frage nach der optimalen Clusteranzahl zu beantworten, wurde der durchschnittliche Silhouettenkoeffizient genutzt (Rousseeuw, 1987). Der Silhouettenkoeffizient vergleicht für jedes Element die Entfernung von Elementen im eigenen Cluster (*within*) mit der Entfernung von Elementen in nächstliegenden Clustern (*between*). Der Silhouettenkoeffizient eines Elementes kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Negative Werte (between-Abstände sind kleiner als within-Abstände) können als falsche Clusterzuordnung eines Elementes interpretiert werden, positive Werte (within-Abstände sind kleiner als between-Abstände) als gute Passung zwischen Element und Cluster. Beträgt der Silhouettenkoeffizient den Wert 0 , so liegt ein Element genau zwischen zwei Clustern (Rousseeuw, 1987). Um nun mit dem Silhouettenkoeffizient die optimale Clusteranzahl k zu finden, wird für verschiedene Werte für k (z.B. von 1 bis 15) der durchschnittliche Silhouettenkoeffizient aller Elemente bestimmt. Die Clusteranzahl k , für die der durchschnittliche Silhouettenkoeffizient maximal wird, kann dann als optimale Clusteranzahl interpretiert werden (Kassambara, 2017). Auf diese Weise dient der durchschnittliche Silhouettenkoeffizient zum einen als Möglichkeit, die optimale Clusteranzahl zu bestimmen (Rousseeuw, 1987), und zum anderen als eine von der Clusteranzahl *unabhängige* Maßzahl für die Qualität des Clusterings (Kassambara, 2017).

4.4.3. Erfassung des FW und FDW

Die Testinstrumente für das FW und für das FDW der angehenden Physiklehrkräfte wurden im Projekt *Messung professioneller Kompetenzen in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen* (Akronym: KiL) entwickelt und validiert (siehe Sorge, Kröger et al., 2019). Das Testinstrument für das FW der angehenden Physiklehrkräfte beinhaltet 40 Aufgaben (sogenannte Ankeritems) sowie zusätzlich 20/20/18 Aufgaben für Studierende des ersten/zweiten und dritten Studienjahres. Der Test adressiert die folgenden Inhaltsbereiche der Physik: Mechanik, Elektrodynamik, Optik, Thermodynamik, Festkörperphysik, Atom- und Kernphysik, spezielle Relativitätstheorie sowie Quantenphysik. Die Anzahl der Aufgabe je Inhaltsbereich schwankt jedoch abhängig vom studienjahrspezifischen Testheft. Von den 40 gemeinsamen Ankeritems liegen 33 Aufgaben als Multiple-Choice-Format vor. Das Testinstrument für das FDW der angehenden Physiklehrkräfte beinhaltet 39 Aufgaben und war für alle Probanden unabhängig ihres Studienjahres identisch. Der Test umfasst die Facetten Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler, Instruktionsstrategien, Curriculum und Assessment (Magnusson et al., 1999) in den oben genannten physikalischen Inhaltsbereichen. Die gewählten Aufgabenformate (19 offene Aufgaben, 15 Aufgaben im Multiple-Choice-Format, 2 Wahr-Falsch-Aufgaben sowie 3 Zuordnungsaufgaben) waren über die Facetten vergleichbar verteilt.

Für die statistische Analyse, inwieweit die Studienstrukturen das FW und FDW angehegender Physiklehrkräfte beeinflussen, wurden die Rohdaten der $N = 107$ Probanden mit Hilfe des Rasch-Modells in Personenfähigkeiten überführt. Hierfür wurden virtuelle Personen genutzt, „d.h. die Messungen derselben Personen zu späteren Zeitpunkten werden behandelt, als ob es sich um zusätzliche Personen handeln würde, die dieselben Items bearbeitet haben“ (Hartig & Kühnbach, 2006, S. 33). Zum Teil vorliegende Längsschnittdaten wurden also als Querschnittdaten interpretiert, somit lagen $n = 159$ Datenpunkte zur Analyse vor. Die Ergebnisse des fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Tests wurden mit dem R-Paket *TAM* (Robitzsch et al., 2019) analysiert, wobei die Tests jeweils simultan raschskaliert wurden (Trendtel et al., 2016). Fünf bzw. zwei Aufgaben des fachwissenschaftlichen bzw. fachdidaktischen Tests zeigten einen schlechten Infit (d.h. kleiner als 0,8 oder größer als 1,2) und wurden folglich aus der Analyse ausgeschlossen. Nach erneuter Raschskalierung zeigten die übrigen Items gute Infits (d.h. zwischen 0,8 und 1,2), was für eine hohe Passung zum gewählten Rasch-Modell spricht (Bond & Fox, 2007). Beide Tests wiesen sehr gute WLE-Reliabilitäten auf ($\alpha_{WLE,FW} = 0,88$; $\alpha_{WLE,FDW} = 0,87$). Die aus der Rasch-Analyse generierten Personenfähigkeiten für das FW und FDW wurden dann genutzt, um den Einfluss der Studienstrukturen näher zu bestimmen. Hierfür wurden verschiedene lineare Regressionsmodelle berechnet, die das FW und FDW der angehenden Physiklehrkräfte mit Hilfe der Clusterzugehörigkeit erklären sollen.

4.5. Ergebnisse

4.5.1. Inhaltliche Beschreibung der Studienstrukturen

Entsprechend der ersten Forschungsfrage wird im Folgenden dargestellt, wie das Physik-Lehramtsstudium in Deutschland in den ersten sechs Studiensemestern strukturiert ist.

STUDIE 1

Die Analyse der Dokumente der 25 Studiengänge zeigt, dass bis zum Ende des sechsten Semesters im Durchschnitt 44,32 SWS ($SD = 13,83$ SWS) im Fach und 9,46 SWS ($SD = 4,55$ SWS) in Fachdidaktik vorgesehen sind. Im Durchschnitt ist also die Zahl der SWS, die auf fachliche Veranstaltungen entfallen, 4,7-mal höher als die der SWS, die auf fachdidaktische Veranstaltungen entfallen (siehe Abbildung 4.2). Diese Beobachtung könnte jedoch durch die Entscheidung, nur die ersten sechs Semester des Physik-Lehramtsstudiums zu betrachten, bedingt sein.

Um Aussagen über Häufigkeit und Sequenzierung der Inhalte zu treffen, wurden für jede der 25 Studiengänge die SWS entlang der von der KMK (2019) definierten Themenbereiche Experimentalphysik, theoretische Physik und Fachdidaktik aufsummiert (siehe Abbildung 4.3).

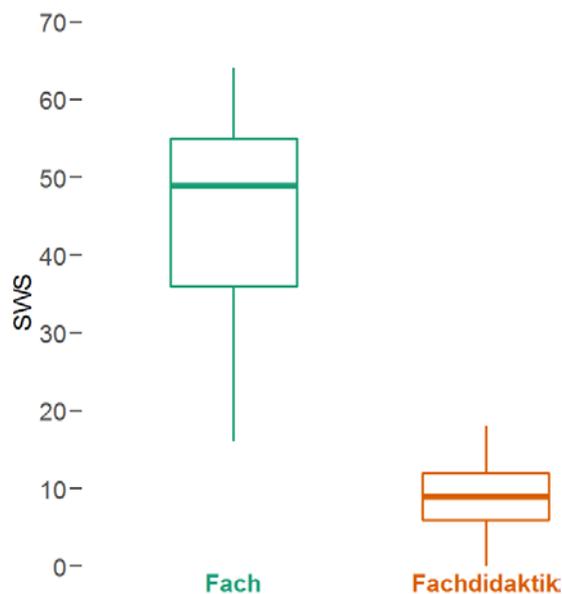


Abbildung 4.2 Boxplot der aufsummierten Semesterwochenstunden (SWS) in den 25 Studiengängen bis zum Ende des sechsten Semesters. Links (grün) sind die SWS im Fach, rechts (orange) die SWS in der Fachdidaktik dargestellt. Die Box spannt sich jeweils vom 25%-Quantil bis zum 75%-Quantil auf, der Balken in der Mitte der Box kennzeichnet den jeweiligen Median.

In Abbildung 4.3 fällt zunächst auf, dass im Mittel die meisten SWS auf die theoretische Physik entfallen; wobei dieser Wert auch die höchste Varianz aufweist. Beides hängt jedoch mit der Entscheidung zusammen, die theoretische Physik nicht in Inhaltsbereiche zu differenzieren. Der Inhaltsbereich Elektrodynamik und Optik hat nach der theoretischen Physik die meisten SWS, die größte Variation nach der theoretischen Physik weist der Inhaltsbereich Festkörper-, Kern- und Elementarteilchenphysik, Kosmologie auf. Die wenigsten SWS werden im Inhaltsbereich Thermodynamik absolviert. Die Inhaltsbereiche Mechanik sowie Elektrodynamik und Optik werden in allen 25 Studiengängen mit mindestens 2 SWS fokussiert. Aus dem durchschnittlichen Startzeitpunkt lässt sich zudem ableiten, dass die Inhaltsbereiche Mechanik und Thermodynamik vorzugsweise im selben Semester fokussiert werden (analog zum Inhaltsbereich Elektrodynamik und Optik). Unterstützt wird diese Folgerung durch die mittleren SWS der Elektrodynamik und Optik, die vergleichbar mit den summierten SWS von Mechanik und Thermodynamik sind.

Inhalt	<i>M</i>	<i>SD</i>	Min	Max	Start	NA
Mechanik	4,10	1,85	2	10	1	0
Thermodynamik	3,29	1,33	0	7	1	1
Elektrodynamik und Optik	6,65	2,40	2	12	2	0
Atom- und Quantenphysik	5,21	3,16	2	16	4	2
Festkörper-, Kern- und Elementarteilchenphysik, Kosmologie	4,79	3,66	0	12	5	7
Theoretische Physik	8,33	6,70	0	22	3	9
Fachdidaktische Positionen und Konzeptionen	0,83	1,55	0	6	4	19
Motivation und Interesse	0,08	0,41	0	2	3	24
Lernprozesse, Diagnose von Lernschwierigkeiten	0,42	0,78	0	2	3,5	19
Planung und Analyse von Physikunterricht	2,00	1,79	0	6	4	9
Aufgaben, Experimente und Medien	1,17	1,37	0	4	4	14
Fachdidaktische Forschung	0,25	0,68	0	2	5,5	23
Allgemeine Fachdidaktik	2,08	2,00	0	8	3	6

Abbildung 4.3 Mittlere SWS (bis zum Ende des sechsten Semesters) über alle 25 Studiengänge entlang der Themenbereiche (dargestellt sind die Themenbereiche Experimentalphysik (Inhalte 1–5, grün), theoretische Physik und Physikdidaktik (Inhalte 7–13, orange). *M* gibt den durchschnittlichen Umfang in SWS an, *SD* die Standardabweichung. Min bzw. Max stellt die kleinste bzw. größte SWS-Anzahl über alle 25 Studiengänge dar. Start repräsentiert den Median der Semester, in dem der Inhalt das erste Mal in einer Veranstaltung fokussiert wird. NA gibt an, wie viele Studiengänge den Inhalt bis zum Ende des sechsten Semesters nicht adressieren.

Für die Inhalte der fachdidaktischen Ausbildung belegen die Ergebnisse in Abbildung 4.3, dass sie deutlich weniger kanonisch verläuft als die fachliche Ausbildung. Es zeigt sich aber auch, dass bis zum Ende des sechsten Semesters typischerweise allgemeine Fachdidaktik (in der Regel in Form von sog. Einführungsveranstaltungen) gelehrt wird. Außerdem wird in einer Vielzahl von Studiengängen (16 von 25) das Hauptaugenmerk auf die Planung und Analyse von Physikunterricht gelegt. Immerhin 10 Studiengänge explizieren Aufgaben, Experimente und Medien in ihrer fachdidaktischen Ausbildung. Motivation und Interesse, fachdidaktische Positionen und Konzeptionen sowie die fachdidaktische Forschung werden in einer Vielzahl von Studiengängen zunächst nicht thematisiert. Verlässliche Aussagen zu einer „typischen“ Abfolge der fachdidaktischen Ausbildung können aufgrund der geringen SWS der Inhalte nicht getätigt werden. Jedoch stärkt Abbildung 4.3 den Eindruck, dass die fachdidaktische Ausbildung typischerweise im dritten und vierten Semester stattfindet.

Die Abbildung 4.3 gibt insgesamt einen Überblick, welche Inhalte in welcher Intensität in den ersten sechs Semestern des Physik-Lehramtsstudiums thematisiert werden. Jedoch zeigt sich in den teilweise hohen Standardabweichungen, dass es bedeutende Variationen zwischen den einzelnen Studiengängen gibt.

4.5.2. Clusterung der Studiengänge

Um die verschiedenen Physik-Lehramtsstudiengänge systematisch zu gruppieren, wurden die aufsummierten SWS in Fach und Fachdidaktik der 25 Studiengänge genutzt, um entsprechende Cluster zu bilden. Da sich die aufsummierten SWS in Fach und Fachdidaktik jedoch stark in

STUDIE 1

ihrer Größe unterscheiden, wurden für die Clusteranalyse der Studiengänge die aufsummierten SWS von Fach und Fachdidaktik z-standardisiert. Die Daten der z-standardisierten SWS aller Studiengänge zeigen für $k = 4$ Cluster den maximalen durchschnittlichen Silhouettenkoeffizienten von 0,52. Dies kann zum einen als eine angemessene Qualität der Clusterung interpretiert werden (Kaufman & Rousseeuw, 1990), und es kann zum anderen angenommen werden, dass die Daten durch vier Cluster am besten beschrieben werden (Kaufman & Rousseeuw, 1990). Das Ergebnis der Clusterung ist in Abbildung 4.4 dargestellt. Durch diese Cluster können 77,4% der Varianz innerhalb der SWS von Fach bzw. Fachdidaktik auf den Unterschied zwischen den Clustern zurückgeführt werden. Anhand der Centroide in Abbildung 4.4 können die cluster-typischen SWS für Fach und Fachdidaktik bestimmt werden, diese sind in Tabelle 4.1 aufgeführt. Hieran kann abgelesen werden, dass die Cluster 1 und 2 sowie 3 und 4 vergleichbare SWS im Fach aufweisen. Hingegen zeigen die Cluster 1 und 4 sowie 2 und 3 vergleichbare SWS in der Fachdidaktik. Diese Unterscheidung wird dadurch bestätigt, dass sich die Clusterpaare vergleichbarer SWS tatsächlich signifikant in der Gesamtanzahl an fachlichen bzw. fachdidaktischen SWS voneinander unterscheiden (Fach: $F(1,23) = 56,81$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,71$; Fachdidaktik: $F(1,23) = 39,49$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,63$).



Abbildung 4.4 Ergebnis der k-mean Clusterung mit $k = 4$ Cluster gemäß ihrer Semesterwochenstunden (SWS) in Fach und Fachdidaktik bis zum Ende des sechsten Semesters. Die großen Symbole repräsentieren den jeweiligen Centroid des Clusters. Die x- und y-Achse sind z-standardisiert.

Teilt man das Koordinatensystem in Abbildung 4.4 in die vier Quadranten auf, lässt sich jeder der vier Cluster genau einem Quadranten zuordnen. Da beide Achsen z-standardisiert sind, der Ursprung beider Achsen also dem Mittelwert der SWS entspricht, kann man Cluster 1 und 2 einen *geringen Fachanteil*, Cluster 3 und 4 einen *umfangreichen Fachanteil*, Cluster 2 und 3 einen *geringen Fachdidaktikanteil* und Cluster 1 und 4 einen *umfangreichen Fachdidaktikanteil* zuordnen.

Tabelle 4.1 Centroide der vier Cluster.

Cluster	Mittlere SWS Fach	Mittlere SWS Fachdidaktik
1	23 (8,87)	14,75 (2,99)
2	37,13 (5,22)	7,56 (1,99)
3	57,17 (5,42)	4,67 (2,80)
4	53,71 (5,47)	12,71 (2,87)

Dargestellt sind die jeweiligen fiktiven Zentren (d. h. die SWS in Fach und Fachdidaktik gemittelt über alle im Cluster befindlichen Studiengänge) der vier Cluster. Die Klammer enthält die jeweilige Standardabweichung.

4.5.3. Einfluss der Cluster auf das FW und FDW

Zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage wurde der Einfluss der Studienstrukturen auf das FW und FDW der angehenden Physiklehrkräfte untersucht. Dazu wurde zunächst ein Regressionsmodell mit der Abiturnote, dem Geschlecht sowie dem aktuellen Studienjahr als Prädiktoren für das FW und FDW als Baseline-Modell geschätzt. Diese individuellen Faktoren haben sich in der bisherigen Literatur als bedeutsam für das FW und FDW herausgestellt (z.B. Riese & Reinhold, 2012; Sorge, Kröger et al., 2019; Woitkowski, 2020). Anschließend wurden die Cluster als Maß der Studienstruktur als Prädiktor für das FW und FDW hinzugefügt. Dadurch wird berücksichtigt, dass das fachspezifische Lehramtsstudium (also die fachliche und fachdidaktische Ausbildung) zwei-dimensional vorliegt und beide Ausbildungen abhängig voneinander sind. Deskriptive Angaben sowie die Korrelationen zwischen den untersuchten Variablen sind der Tabelle 4.2 zu entnehmen. Es ist zu erkennen, dass die Abiturnote und das Studienjahr signifikant mit dem FW und FDW korrelieren. Zudem korrelieren Geschlecht (männlich) und FW signifikant. Anhand von Tabelle 4.2 ist außerdem zu erkennen, dass das FW und FDW der Probanden signifikant zusammenhängen und abhängig von der Clusterzugehörigkeit sein könnten.

Für das FW (siehe Tabelle 4.3) klärt das Regressionsmodell mit Cluster (Modell 2) im Vergleich zum Referenzmodell (Modell 1) signifikant mehr Varianz in den Daten auf ($F(2,151) = 4,33, p = 0,015$), somit lässt sich das FW der angehenden Physiklehrkräfte signifikant besser durch den Einbezug der Studienstruktur erklären. Anhand der standardisierten Regressionsgewichte aus Tabelle 4.3 ist erkennbar, dass sich Cluster mit umfangreichem Fachanteil signifikant besser auf das FW der Probanden auswirken als Cluster mit geringem Fachanteil ($\beta = -0,16, p = 0,008$).

Für das FDW (siehe Tabelle 4.4) ist zu erkennen, dass das Modell 2 nicht signifikant mehr Varianz in den Daten aufklärt als das Referenzmodell ($F(2,150) = 1,52, p = 0,22$). Somit ist zunächst anzunehmen, dass das FDW der Probanden nicht signifikant besser durch die alleinige Hinzunahme der Studienstruktur erklärt wird. Jedoch zeigt sich, dass das FDW der Probanden stark durch das FW vorhergesagt wird (im Modell 1: $\beta = 0,45, p < 0,001$). Modell 3 (Tabelle 4.4) bezieht deshalb mögliche Interaktionseffekte zwischen FW und Cluster ein. Zu erkennen ist, dass Modell 3 signifikant mehr Varianz in den Daten aufklärt als Modell 1 ($F(4,148) = 2,65, p = 0,035$), somit lässt sich auch das FDW der angehenden Physiklehrkräfte signifikant besser

STUDIE 1

Tabelle 4.2 Korrelationsmatrix und deskriptive Angaben der verwendeten Variablen.

	<i>M</i>	<i>SD</i>	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(1) Abitur	2,19	0,59	0,00	-0,01	-0,33***	-0,36***	0,18*	0,12
(2) Studienjahr	2,11	0,85	-	-0,01	0,44***	0,38***	-0,01	-0,02
(3) Geschlecht	-	-	-	-	0,38***	0,12	-0,09	-0,22**
(4) FW	-	-	-	-	-	0,58***	-0,26***	-0,20**
(5) FDW	-	-	-	-	-	-	-0,23**	-0,05
(6) Geringer Fachanteil	-	-	-	-	-	-	-	0,20**
(7) Geringer Fachdidaktikanteil	-	-	-	-	-	-	-	-

M gibt den Mittelwert der jeweiligen Skala an, *SD* die Standardabweichung. Geringer Fach- bzw. Fachdidaktikanteil wurde bei Zugehörigkeit zum Cluster 1 oder 2 bzw. 2 oder 3 mit 1 codiert, ansonsten mit 0; Geschlecht: 0 = weiblich, 1 = männlich. FW und FDW sind aus dem Rasch-Modell resultierende Personenfähigkeiten, liegen also auf einer willkürlichen Skala, somit sind Mittelwerte und Standardabweichungen nicht interpretierbar. Für dichotome Variablen wurde darauf verzichtet, Mittelwerte und Standardabweichungen anzugeben. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

unter Einbezug der Interaktion von FW und Cluster erklären. An den Regressionskoeffizienten in Tabelle 4.4 ist ersichtlich, dass Cluster mit geringem Fach- wie auch Fachdidaktikanteil allein keinen direkten Einfluss auf das FDW besitzen (Fach: $\beta = -0,09$, $p = ,173$; Fachdidaktik: $\beta = -0,02$, $p = ,781$). Jedoch zeigt sich neben dem positiven Einfluss des FW auf das FDW, dass ein signifikanter Interaktionseffekt von Clustern mit geringem Fachdidaktikanteil und FW auf das FDW besteht ($\beta = 0,21$, $p = ,020$). Anders formuliert zeigt dieses Ergebnis, dass der ohnehin positive Effekt des FW auf das FDW in den Clustern mit geringem Fachdidaktikanteil noch verstärkt wird.

Tabelle 4.3 Regressionsmodelle zur Erklärung des Fachwissens angehender Physiklehrkräfte.

	Modell 1		Modell 2	
	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>
Achsenabschnitt	0,00	0,328	0,00	0,267
Abitur	-0,33	0,000***	-0,29	0,000***
Studienjahr	0,45	0,000***	0,44	0,000***
Geschlecht	0,37	0,000***	0,35	0,000***
Geringer Fachanteil	-	-	-0,16	0,008**
Geringer Fachdidaktikanteil	-	-	-0,05	0,455
R ²	0,45	-	0,48	-

Abgebildet sind die standardisierten Regressionskoeffizienten. Geringer Fach- bzw. Fachdidaktikanteil wurde bei Zugehörigkeit zum Cluster 1 oder 2 bzw. 2 oder 3 mit 1 codiert, ansonsten mit 0; Geschlecht: 0 = weiblich, 1 = männlich. ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Tabelle 4.4 Regressionsmodelle zur Erklärung des fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte.

	Modell 1		Modell 2		Modell 3	
	β	p	β	p	β	p
Achsenabschnitt	0,00	0,073	0,00	0,115	0,00	0,021*
Abitur	- 0,20	0,003**	- 0,20	0,004**	- 0,21	0,003**
Studienjahr	0,17	0,019*	0,18	0,014*	0,14	0,056
Geschlecht	- 0,05	0,470	0,03	0,625	- 0,05	0,464
FW	0,45	0,000***	0,43	0,000***	0,30	0,004**
Geringer Fachanteil	-	-	- 0,10	0,137	- 0,09	0,173
Geringer Fachdidaktikanteil	-	-	0,07	0,271	- 0,02	0,781
Geringer Fachanteil : FW	-	-	-	-	0,07	0,369
Geringer Fachdidaktikanteil : FW	-	-	-	-	0,21	0,020*
R ²	0,40	-	0,41	-	0,44	-

Abgebildet sind die standardisierten Regressionskoeffizienten. Geringer Fach- bzw. Fachdidaktikanteil wurde bei Zugehörigkeit zum Cluster 1 oder 2 bzw. 2 oder 3 mit 1 codiert, ansonsten mit 0; Geschlecht: 0 = weiblich, 1 = männlich. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

4.6. Diskussion

Die Entwicklung des FW und FDW angehender Lehrkräfte erfolgt maßgeblich in der universitären Lehramtsausbildung (siehe z.B. Kleickmann & Anders, 2011). Trotz der Bologna-Reform und bundesweiten Standards herrscht an deutschen Hochschulen aktuell jedoch ein hohes Maß an Heterogenität in den Lehramtsstudiengängen (z.B. Keller, 2010; Keuffer, 2010). Der Zusammenhang zwischen diesen unterschiedlichen Studienstrukturen und dem Professionswissen angehender Physiklehrkräfte ist bislang weitgehend unklar. Ziel des vorliegenden Artikels war es deshalb, die intendierten Curricula der universitären Lehramtsausbildung angehender Physiklehrkräfte systematisch zu analysieren und mit dem erreichten Curriculum im FW und FDW zu verknüpfen. Die systematische Analyse der öffentlich zugänglichen Dokumente von 25 Studiengängen an 20 deutschen Hochschulen zeigte vier typische Studienstrukturen. Diese vier Studienstrukturen können dabei jeweils einem geringen oder umfangreichen Fach- bzw. Fachdidaktikanteil zugeordnet werden. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass Probanden in Clustern mit umfangreichem Fachanteil ein signifikant höheres FW aufweisen, wohingegen das FDW von Studierenden aus Studiengängen mit geringem Fachdidaktikanteil zu einem großen Teil auf deren FW und den entsprechenden fachlichen Lerngelegenheiten beruht. Somit konnte gezeigt werden, wie strukturelle Unterschiede in den Studiengängen im Zusammenhang mit dem FW und FDW der angehenden Physiklehrkräfte stehen. Die Ergebnisse der curricularen Analyse verdeutlichen auch, dass der Umfang an fachwissenschaftlichen Veranstaltungen den der fachdidaktischen Veranstaltungen bis zum Ende des sechsten Semesters im Schnitt um das Fünffache übertrifft. Es sei jedoch erwähnt, dass dieses Ergebnis mit der methodischen Entscheidung einhergeht, nur die ersten sechs Semester des Physik-Lehramtsstudiums zu betrach-

ten. Gerade in sequenziellen Bachelor-Master-Studienmodellen sollten vermehrt eher fachwissenschaftliche Veranstaltungen im Bachelor-Studium stattfinden. Dennoch findet eine, wenn auch vergleichsweise geringe, fachdidaktische Ausbildung statt. Somit erfahren die angehenden Physiklehrkräfte bereits innerhalb der ersten sechs Semester eine lehramtspezifische Ausbildung, was bedeutet, dass das in Deutschland vorliegende Lehramtsstudium nicht sequenziell sondern eher *integrativ* (siehe Terhart, 2008) verläuft.

Bezüglich der fachwissenschaftlichen Ausbildung lässt sich erkennen, dass die Fachinhalte Mechanik und Elektrodynamik und Optik in jedem der 25 Studiengänge explizit gelehrt werden. Zudem werden die Bereiche Mechanik und Thermodynamik typischerweise in derselben Veranstaltung bzw. im selben Modul behandelt. Der Umfang der theoretischen Physik weist die höchste Zahl an SWS aber auch die stärkste Variation auf. Beides hängt jedoch mit der Entscheidung zusammen, die theoretische Physik nicht in Inhaltsbereiche zu differenzieren, um die Vergleichbarkeit gymnasialer und nicht-gymnasialer Studiengänge zu erhöhen. Mithilfe der inhaltlichen Differenzierung der Studiengänge kann ein typischer Studienverlauf in der fachlichen Ausbildung festgestellt werden: Mechanik und Thermodynamik; Elektrodynamik und Optik; Atom- und Quantenphysik; Festkörper-, Kern- und Elementarteilchenphysik, Kosmologie. Die theoretische Physik beginnt typischerweise mit dem dritten Semester. Vergleicht man den hier identifizierten Studienverlauf mit den Empfehlungen der DPG (2014), so empfiehlt die DPG (2014) analog zu den Ergebnissen dieser Studie, die Inhalte Mechanik und Thermodynamik gemeinsam im ersten Semester anzubieten, Elektrodynamik im zweiten Semester und Quanten- und Atomphysik im vierten Semester zu verorten. Jedoch trennt die DPG (2014) die Inhaltsbereiche Optik und Elektrodynamik voneinander und schlägt zwei neue „Inhaltspaare“ vor: Elektrodynamik und Relativität im zweiten Semester sowie Optik und Quantenphysik im dritten Semester. Zudem wird der Inhaltsbereich Festkörper-, Kern- und Elementarteilchenphysik, Kosmologie am Ende des Lehramtsstudiums (Semester 8, 9 und 10) verortet. Es ist also durchaus möglich, dass bei den Studiengängen, die diese Inhalte in den ersten sechs Semestern nicht behandelt haben, diese später noch adressiert werden.

Die fachdidaktische Ausbildung bis zum Ende des sechsten Semesters verläuft wesentlich weniger kanonisch. Größtenteils werden die von der KMK (2019) vorgegeben Inhaltsbereiche in den Dokumenten nicht explizit adressiert. Auffällig ist, dass der Planung und Analyse von Physikunterricht eine herausragende Stellung in der fachdidaktischen Ausbildung zukommt, da die meisten der untersuchten Studiengänge (ausschließlich) diesen Inhaltsbereich explizit in den Curricula erwähnen. Die übrigen fachdidaktischen Veranstaltungen sind oft nicht einem speziellen Inhaltsbereich zuzuordnen, sodass sie eher als eine überblicksartige Einführungsveranstaltung zu interpretieren sind. Dies kann durchaus als problematisch gewertet werden, da es nach Kind (2009) unverzichtbar ist, dass (angehende) Lehrkräfte die Inhalte der Fachdidaktik (neben denen der Fachwissenschaft) explizit erfahren („be more aware of the process they are undertaking“, Kind, 2009, S. 170). Folglich sollte das Lehramtsstudium als Grundlage der fachdidaktischen Entwicklung die von der KMK (2019) als relevant eingestuften Inhaltsbereiche des FDW explizit fokussieren und deren Bedeutung für das FDW thematisieren („making PCK

more explicit in the teacher education process“; Kind, 2009, S. 169), auch, um die fachdidaktische Ausbildung zwischen Studiengängen vergleichbar zu machen. Da sich die vorliegenden Analysen jedoch auf die ersten sechs Semester konzentrieren, ist es durchaus denkbar und zu erwarten, dass die Hochschulen diese Aufgabe im zweiten Teil des Lehramtsstudiums erfüllen.

In den Regressionsmodellen zeigte sich, dass die Zugehörigkeit zu einem Cluster alleine keinen signifikanten Effekt auf das FDW der Probanden hat. Grund dafür könnte sein, dass selbst in Clustern mit umfangreichem Fachdidaktikanteil die Anzahl an Lerngelegenheiten zu niedrig ist und somit kein Effekt nachweisbar war. In Clustern mit umfangreichem Fachdidaktikanteil beträgt die durchschnittliche SWS in der Fachdidaktik 13,45 SWS. Zum Vergleich werden selbst in Clustern mit geringem Fachanteil noch durchschnittlich 32,42 SWS im Fach angeboten. Allerdings konnte festgestellt werden, dass das FW einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des FDW besitzt. Auch dieses Ergebnis bestätigt vorangegangene empirische Untersuchungen, die den positiven Effekt des FW auf das FDW hervorheben (z.B. Baumert et al., 2010; Großschedl et al., 2015). Darüber hinaus zeigte sich, dass die Interaktion zwischen Clustern mit geringem Fachdidaktikanteil und FW signifikant auf das FDW angehender Physiklehrkräfte Einfluss nimmt. Somit legen unsere Daten nahe, dass die Anzahl an fachdidaktischen Veranstaltungen den Einfluss des FW auf das FDW moderiert. Im Falle von wenig fachdidaktischen Veranstaltungen ist zu erkennen, dass sich die Höhe des FW der angehenden Physiklehrkräfte signifikant unterschiedlich auf deren FDW auswirkt. Sind hingegen viele fachdidaktische Veranstaltungen vorgesehen, so wirkt sich verschieden stark ausgeprägtes FW nicht unterschiedlich auf das FDW aus. Daraus lässt sich ableiten, dass vor allem bei wenig fachdidaktischen Veranstaltungen bis zum Ende des sechsten Semesters die Höhe des FW entscheidend für das FDW der angehenden Physiklehrkräfte ist. Ein Grund für diese Interaktion könnte sein, dass bei einem hohen Fachdidaktikanteil mehr Lernzeit zur Verfügung steht, um grundlegende fachdidaktische Prinzipien unabhängig vom Fachwissen zu vermitteln. Die hier gefundenen Ergebnisse betonen also ein weiteres Mal die Bedeutsamkeit des FW (und der fachlichen Veranstaltungen) für ein angemessenes FDW – besonders in Studiengängen, in denen wenig fachdidaktische Veranstaltungen angeboten werden und weniger stark das FDW der Lehramtsstudierenden explizit adressiert wird.

Bezüglich des Zusammenhangs von Studienstruktur und Fachwissen angehender Physiklehrkräfte legen die Ergebnisse nahe, dass angehende Physiklehrkräfte in Clustern mit geringem Fachanteil ein signifikant schlechteres FW aufweisen als jene in Clustern mit umfangreichem Fachanteil. Diese Beobachtung stimmt im Wesentlichen mit anderen empirischen Untersuchungen überein, die einen Einfluss der Quantität von Lerngelegenheiten auf das FW fanden (z.B. Großschedl et al., 2015; Riese & Reinhold, 2012; Schödl, 2017; Sorge, Kröger et al., 2019). An dieser Stelle sei jedoch hervorgehoben, dass hier, im Gegensatz zu vorherigen Studien, zwei verschiedene Datenquellen verknüpft wurden: auf der einen Seite die Modulpläne der Hochschulen, auf der anderen Seite die Testergebnisse der Probanden. Somit zeigt dieses Ergebnis, dass es möglich ist, die intendierten Curricula mit den erreichten Curricula zumindest in Teilen in Einklang zu bringen. Dies legt zudem die Vermutung nahe, die Umsetzung und Nutzung der Lernangebote (also die implementierten Curricula) als ebenso wirkungsvoll zu klassifizieren.

Mit Blick auf die Ergebnisse ist jedoch zu beachten, dass die erreichten Curricula ausschließlich durch Paper-Pencil-basierte Wissenstests operationalisiert wurden. Das fachdidaktische *Können*, wie es etwa im Refined Consensus Model beschrieben wird (siehe Carlson et al., 2019), wurde nicht mit einbezogen. In den letzten Jahren konnte gezeigt werden, dass sogenannte Performanztests ein valides Messinstrument darstellen, um eine handlungsnahen Kompetenz von Lehrkräften abzubilden (z.B. Kulgemeyer & Riese, 2018). Jedoch wird im Modell von Carlson et al. (2019) auch hervorgehoben, dass das Wissen als Voraussetzung für Können verstanden werden muss, FW und FDW somit die Grundlage für handlungsnahen Kompetenzen darstellen (siehe auch Blömeke et al., 2015). Darüber hinaus ist es aktuell unklar, durch welche Lerngelegenheiten angehende Lehrkräfte tatsächlich handlungsnahen Kompetenzen erwerben. Erste Ergebnisse lassen darauf schließen, dass Praktika bzw. Praxissemester bedeutende Gelegenheiten hierfür darstellen (z.B. Schröder et al., 2020), die allerdings in dieser Studie nicht erfasst wurden. Nichtsdestotrotz erscheinen Performanztests für die Operationalisierung von fachdidaktischem Können vielversprechend zu sein, weshalb zukünftige Studien auch die Auswirkungen der universitären Lerngelegenheiten auf die Performanz angehender Lehrkräfte stärker in den Blick nehmen sollten.

Bei der Untersuchung und Beschreibung der Studiengänge hinsichtlich ihrer fachlichen und fachdidaktischen Anteile ist zu beachten, dass lediglich ein spezifischer Abschnitt des tatsächlichen Physik-Lehramtsstudiums untersucht wurde. Diese Einschränkung war nötig, da die Studiendauer für die verschiedenen Lehramts- und Hochschultypen stark variiert (siehe z.B. Radhoff & Ruberg, 2016). Beispielsweise umfasst die Studiendauer bei 2 der 25 Studiengänge sieben Semester. Um also alle Studiengänge und dabei eine möglichst lange Studiendauer abzudecken, wurden nur die ersten sechs Semester berücksichtigt. Es ist demnach denkbar, dass die fachdidaktischen Inhalte an den meisten Hochschulen vermehrt und vor allem explizit nach dem sechsten Semester gelehrt werden (insbesondere im Bachelor-Master-Modell). Trotzdem kann nicht erwartet werden, dass sich das Verhältnis von fachlichen und fachdidaktischen Anteilen in der zweiten Hälfte des Studiums umkehrt, sodass auch am Ende der universitären Ausbildung die fachlichen Anteile die der fachdidaktischen übersteigen werden. Darauf aufbauend sollten Forscherinnen und Forscher zukünftig die zweite Hälfte des Physik-Lehramtsstudiums untersuchen, um insbesondere mehr Erkenntnisse über die fachdidaktische Ausbildung von angehenden Physiklehrkräften zu erlangen. Dennoch bieten die hier vorgestellten Ergebnisse zumindest die Möglichkeit, die Rolle des ersten Teils des Lehramtsstudiums zu klären und sind somit als erster Beitrag zu verstehen, die Heterogenität in den Studienstrukturen sowie deren Einfluss auf das Professionswissen der Studierenden zu beschreiben.

Zudem liefern die Ergebnisse keine Aussagen über die individuelle *Entwicklung* der Lehramtsstudierenden. Wie sich die verschiedenen Studienstrukturen also auf die individuellen Wissenszuwächse auswirken, kann hier nicht beantwortet werden. Für zukünftige Forschungsvorhaben sollten außerdem weitere Faktoren des Lehramtsstudiums mit einbezogen werden. Zu beachten ist weiterhin, dass die Regressionsmodelle unter Hinzunahme der Studienstruktur nur eine geringe (aber signifikante) zusätzliche Varianzaufklärung bringen, was vermutlich in der Distanz zwischen intendierten und erreichten Curricula begründet liegt. Zukünftige Studien

sollten verstärkt das implementierte Curriculum in den Blick nehmen, um den Übergang von intendierten zu erreichten Curricula genauer zu beleuchten. So könnten beispielsweise Befragungen der Dozierenden oder Beobachtungsstudien in formalen Lerngelegenheiten den Zusammenhang zwischen Studienstrukturen und Professionswissen weiter aufklären. Dennoch stellt die vorliegende Studie einen wichtigen ersten Schritt dar, mögliche Einflüsse der heterogenen Studienstrukturen in der Lehramtsausbildung auf die Entwicklung der professionellen Kompetenz angehender Lehrkräfte zu identifizieren.

Prospektiv können die hier vorgestellten Ergebnisse dafür genutzt werden, Studiengänge anhand ihrer fachlichen und fachdidaktischen Anteile genauer zu klassifizieren und mögliche Schwächen in der Abdeckung der Inhalte zu identifizieren. Dies bedeutet insbesondere, dass Hochschulen zukünftig ihre fachdidaktische Ausbildung hinsichtlich der ländergemeinsamen Anforderungen (KMK, 2019) neu strukturieren sollten. Durch die Darstellung der verschiedenen Möglichkeiten, die sich für das Physik-Lehramtsstudium ergeben, können Hochschulen ihre Studiengänge zukünftig evaluieren und den Einfluss auf den Wissenserwerb angehender Physiklehrkräfte einschätzen. So sollten Hochschulen die fachdidaktische Ausbildung in den ersten sechs Semestern stärker fokussieren und insbesondere relevante Inhalte explizit thematisieren, statt lediglich überblicksartig zu lehren. Zudem zeigt die vorliegende Studie auch, dass die fachdidaktische Ausbildung von Physiklehrkräften in den ersten sechs Semestern weitestgehend losgelöst von den ländergemeinsamen Anforderungen (KMK, 2019) verläuft, da vorgeschriebene Inhaltsbereiche kaum thematisiert werden. Die Bildungspolitik der Länder sowie die KMK sollten sich also zwei Fragen stellen: Zum einen, welche fachdidaktische Inhalte Physiklehrkräfte tatsächlich benötigen und zum anderen, wie sich diese Inhalte durch verbindliche und realisierbare Anforderungen bereits im ersten Teil der universitären Lehramtsausbildung implementieren lassen. Auf diese Weise können Studiengänge und nachfolgend auch die Professionalisierung angehender Physiklehrkräfte zukünftig weiter optimiert werden.

STUDIE 2**Course Quality in Higher Education Teacher Training: What Matters for Pre-Service Physics Teachers' Content Knowledge Development?****Abstract**

This study examines the impact of course quality on pre-service physics teachers' content knowledge (CK) development. Teachers' CK is crucial to the development of pedagogical content knowledge and hence effective teaching. The quality of higher education content courses, therefore, plays a major role in the education of effective teachers. Yet, models of course quality for higher education vary in their number of dimensions. Research from secondary education suggests more parsimonious models of instructional quality. Are these models suitable for the assessment of course quality in higher education? To address this issue, we investigated $N = 107$ pre-service physics teachers' CK over one year of CK courses as a function of course quality during that year. A four-dimensional model described ratings of CK course quality best. Path models revealed that the dimension of cognitive support contributed to CK development highlighting it an effective means for improving pre-service physics teachers' CK development.

Keywords: Course Quality; Instructional Quality; Pre-service Physics Teachers; Content Knowledge; Higher Education

Schiering, D., Sorge, S., Tröbst, S., & Neumann, K. (2021). Course Quality in Higher Education Teacher Training: What Matters for Pre-Service Physics Teachers' Content Knowledge Development? Manuskript eingereicht zur Publikation.

5.1. Introduction

Teachers' professional knowledge is essential for quality instruction and hence student learning (e.g., Baumert et al., 2010; Hashweh, 1987; Sadler et al., 2013). As one part of this knowledge, teachers need a sound content knowledge (CK) (Shulman, 1986; see also Grossman, 1990). CK is considered to provide the foundation for the development of other professional knowledge bases such as pedagogical content knowledge (PCK) (e.g., Kind & Chan, 2019; Rollnick et al., 2008) and has been found to predict teachers' behaviour in the classroom (see e.g., Childs & McNicholl, 2007; Lee, 1995). Hence, CK can be understood as a prerequisite for the development of teachers' professional knowledge, their teaching practice, and subsequently students' learning. Given this crucial role of CK, higher education must provide pre-service teachers with the knowledge they will need to be effective (Tatto, 2021).

Multiple studies have highlighted the importance of higher education CK courses like lectures and lab work for the development of pre-service teachers' CK (Großschedl et al., 2015; Schmidt et al., 2007). In particular, the quantity of these CK courses (i.e., the number of courses taken) has been identified as one important factor for pre-service teachers' CK development (Baumert et al., 2010; Kleickmann et al., 2013). In addition to the quantity of courses, the importance of well-designed (i.e. quality) CK courses for the development of pre-service teachers' CK has been emphasised in many studies (e.g., Mäntylä & Nousiainen, 2014; McDermott et al., 2000). Studies have shown, for example, that pre-service science teachers need lectures' guidance during science courses (Mäntylä & Nousiainen, 2014; see also Windschitl, 2002) in order to enhance their CK. Thus, CK courses need to consider criteria of course quality for higher education. Research on course quality in higher education led to a broad range of criteria that have a strong association with students' achievement (see e.g., Schneider & Preckel, 2017). These criteria, however, were often selected idiosyncratically for the evaluation of specific courses (Feldmann, 2007), instead of being rooted in established theories and research traditions from teaching and learning. In contrast, research on the quality of primary and secondary education resulted in parsimonious and widely established models for instructional quality which are based on general theories of teaching and learning (Praetorius et al., 2018). These models have been found to predict students' learning in domains such as mathematics (e.g., Holzberger et al., 2019) or physics (see Fischer et al., 2014). However, it is unclear to which extent these models apply to pre-service teachers' physics learning in higher education and more importantly which dimensions of course quality affect pre-service physics teachers' CK development.

The aim of this study is, to (1) delineate the quality of physics teacher education CK courses and (2) determine the effect of CK course quality on pre-service teachers' CK development. To answer our research questions, we first used confirmatory factor analyses to delineate the structure of CK course quality in higher education physics teacher training.

Further, we examined pre-service physics teachers' data over one year of CK courses in order to analyse the role of course quality for their CK development. As a result, we can reveal features that are required to improve future teacher education programs.

5.2. Theoretical background

One of the most influential models of teachers' professional knowledge was proposed by Shulman (1987). His model of teacher knowledge distinguished between several categories of professional knowledge, from which content knowledge (CK), pedagogical content knowledge (PCK), general pedagogical knowledge (PK) emerged as the core components of teachers' professional knowledge (Gess-Newsome, 1999; Grossman, 1990; see also van Driel et al., 2014). Amongst these three components of teachers' professional knowledge, CK is considered "foundational" (Nixon et al., 2019, S. 150) to the development of teacher professional knowledge.

5.2.1. Teachers' content knowledge

The impact of teachers' CK on their professional development, classroom instructions, and students' achievement is well researched (e.g., Childs & McNicholl, 2007; Hill et al., 2005; Nixon et al., 2017). Teachers' CK has, for example, been found to determine the ability to notice students' difficulties with subject matter (e.g., Käpylä et al., 2009). Moreover, CK has been shown to determine the capability of adapting content for teaching purposes (i.e., PCK) (Rollnick et al., 2008). It is, therefore, key for pre-service teachers to acquire sufficient CK.

CK is commonly conceptualised as the understanding of "major facts and concepts within a field and the relationships among them" (Grossman, 1990, S. 6). Schwab (1978) suggests that, in addition to these substantive structures, scientific knowledge also incorporates an understanding of the discipline's syntactic structures (see also Shulman, 1986). The syntactic structure refers to rules and methods in which evidence and knowledge are evaluated within the domain. In terms of the framework proposed by Shavelson et al. (2005), knowledge of a discipline's substantive structures can be understood as declarative (knowing "that") and procedural knowledge (knowing "how"), whereas knowledge of syntactic structures can be viewed as schematic (knowing "why") or strategic knowledge (knowing "when, where and how knowledge applies"). However, the frameworks by Schwab (1978) and Shavelson et al. (2005) were not exclusively developed to describe teachers' knowledge. Thus, it remains an open question, how teachers' CK "differs from what students are expected to learn" (Nixon et al., 2019, S. 151).

To improve the characterisation of teachers' CK, Ball et al. (2008) stressed a multidimensional perspective. Following this approach, teachers' CK needs to comprise also knowledge "required inside the work of teaching" (Ball et al., 2008, S. 404). Based on this research, Nixon et al. (2019) suggested that CK is made up from three distinct domains: core CK, specialised CK, and linked CK. Core CK comprises fundamental concepts, facts,

and processes of science students are expected to learn. Moreover, this core CK overarches different content areas which pre-service teachers need to understand. Physics teachers are typically expected to develop knowledge in at least eight areas of physics: mechanics, electricity, optics, thermodynamics, solid-state physics, atomic and nuclear physics, relativity, and quantum mechanics (Sorge, Kröger et al., 2019; see also Halliday et al., 2014; KMK, 2019). Specialised CK goes beyond core CK and describes scientific knowledge that is needed to teach like selecting adequate representations or examples for students. Linked CK consists of knowledge about connections between different science concepts and disciplines and resembles the substantive structures of CK (see Shulman, 1986).

Taken together, the structure of teachers' CK has been described in many different ways. However, three important features of CK emerge from the conceptualisations presented above: teachers' CK (1) consists of different kinds of knowledge (e.g., Shavelson et al., 2005), (2) includes knowledge about different content areas (Sorge, Kröger et al., 2019), and (3) should have greater depth than students' knowledge (Nixon et al., 2019).

5.2.2. Teacher education as a source of CK development

In Germany, higher education teacher training includes academic studies of content in two prospective school subjects (e.g., physics), corresponding content pedagogy (e.g., physics education), and general pedagogy. Typically, these courses in higher education include lectures, seminars, and lab work (Neumann et al., 2017). The bachelor program provides courses in all three studies (physics, physics education, and general pedagogy), thus, can be described as a combined degree program. However, studies of physics (i.e., CK courses) are mainly located in this phase of teacher training (Neumann et al., 2017). This consecutive model of teacher education (i.e. studying the subject before focusing on pedagogical studies) is most commonly for secondary teacher education – at least in Europe (Caena, 2014). In the US, higher education teacher training is more diffuse (Olson et al., 2017). Programs can include teacher education courses as part of the bachelor program (i.e., combined degree program), which is comparable to teacher education in Germany. Another type of program can be described as a post-degree program as it requires a content specific bachelor's degree which is independent from the actual teacher certification program (Olson et al., 2017). However, the content specific bachelor program is comparable to the bachelor program of the consecutive model of teacher education since both focus on pre-service teachers' CK.

Irrespective of the actual type of higher education teacher training, programs must provide future teachers with sound CK (Shulman 1986; see also van Driel, Berry, and Meirink 2014). Research has shown that the quantity of CK courses (i.e., the number of courses taken) influences pre-service teachers' CK (e.g., Baumert et al., 2010; Großschedl et al., 2015; Sorge, Kröger et al., 2019). The quantity of courses, however, should not be the only factor determining teachers' CK development (McDermott et al., 2000). In higher

education, student ratings of course quality have a long tradition as a means to evaluate and improve instruction (see e.g., Cohen, 1981; Feldmann, 1989; Marsh, 1982). Course quality has traditionally been conceptualised as multi-dimensional. For example, Feldmann's (2007) classification of course quality consists of 28 dimensions like teachers' clarity and understandableness, teachers' friendliness, concern, and respect for students. Schneider und Preckel (2017) also analysed factors determining success in higher education in their systematic literature review and identified 11 dimensions of high-quality courses. The dimensions, however, were often selected idiosyncratically for specific contexts, instead of being rooted in theories of motivation and learning; rendering them multifarious and eclectic. In contrast to higher education, models of instructional quality in primary and secondary education are parsimonious and often more grounded in theory (e.g., Holzberger et al., 2019; Kleickmann et al., 2020; Klieme et al., 2009; Pianta & Hamre, 2009; Praetorius et al., 2018).

5.2.2.1. Models of instructional quality

Models of instructional quality in primary and secondary education delineate aspects of instructions positively associated with student learning (König & Pflanzl, 2016). Commonly, these models of instructional quality comprise three basic dimensions covering instructional, organisational, and emotional aspects of classroom teaching and learning (Holzberger et al., 2019). The *cognitive activation* (or instructional support) dimension refers to the promotion of high-level thinking processes through the use of specific teaching strategies (e.g., initiating challenging tasks). The *emotional support* (or student support, supportive climate, motivational support) dimension represents positive social interaction, respect, and sensibility for students' ways of thinking. The *classroom management* (or classroom organisation) dimension fosters students' productivity and self-regulatory skills by managing students' behaviour in classroom. Despite the consensus about the three-dimensional structure of instructional quality in school education, conceptualisations of dimensions vary in scope and meaning (see Figure 5.1).

Authors	Cognitive Activation	Cognitive Support	Emotional Support	Classroom Management
Praetorius et al. (2018)	Cognitive activation	Student support		Classroom management
Pianta and Hamre (2009)	Instructional support		Emotional support	Classroom organization
Klieme et al. (2009)	Cognitive activation	Classroom management, clarity & structure	Supportive climate	Classroom management, clarity & structure
Kleickmann et al. (2020)	Cognitive activation	Cognitive support	Motivational support	Classroom management

Figure 5.1 Dimensions of instructional quality suggested by different authors. Dimensions in the column heads represent dimensions examined in this study.

Pianta und Hamre (2009), for example, combined features of cognitive activation with those of cognitive support (for example give consistent feedback). In contrast, Klieme et al. (2009) identified structuring of content as part of classroom management. But in all of these models, aspects of cognitive support are “not sufficiently represented in the basic dimensions” (Kleickmann et al., 2020, S. 38). Kleickmann et al. (2020), therefore, extended the three-dimensional model of instructional quality by adding a fourth dimension: *cognitive support*. This dimension captures the extent to which the teacher successfully reduces complexity and cognitive demands “by means of structuring content and promoting clarity” (Kleickmann et al., 2020, S. 38). Thus, whereas most of the studies mentioned a three-dimensional framework of instructional quality, there is evidence for a fourth dimension that has the potential to explain student learning (Kleickmann et al., 2020).

5.2.2.2. Promoting CK development through course quality

Dimensions of instructional quality can be used to describe the quality of CK courses for pre-service teachers. However, studies in teacher education mostly focused on interventions and case studies and are rather fragmented with regard to the investigated dimensions. For example, Aiello-Nicosia und Sperandeo-Mineo (2000) showed that pre-service physics teachers can benefit from higher education CK courses that feature characteristics of high school physics classrooms. In their case study, they stressed the role of stimulating and activating pre-service physics teachers’ thinking in order to gain a better understanding of the physics content (Aiello-Nicosia & Sperandeo-Mineo, 2000). In addition, in a case-study of Mäntylä und Nousiainen (2014), they found that offering structural guidance through didactical reconstruction supported pre-service physics teachers in building CK (Mäntylä & Nousiainen, 2014). Similarly, McDermott et al. (2000) pointed out that pre-service physics teachers need instructions that are carefully sequenced and, thus, stressed that learners’ needs in higher education are comparable to those for school learning. As one example of structural guidance through instructions, Didiş et al. (2010) as well as Şahin und Yağbasan (2012) highlighted the role of lectures’ explanations and examples to overcome pre-service physics teachers’ insufficient CK in difficult physics topics.

Overall, these studies highlight the importance of course quality for CK development. Especially providing guidance in learning and structuring content through explanations appear to be effective ways of supporting pre-service physics teachers’ CK development. However, these studies did not use a common framework (i.e., the model of instructional quality) to systemically examine the influence of course quality in everyday teacher training programs. Thus, it is uncertain which dimensions of course quality can promote pre-service physics teachers’ CK development.

5.3. The present study

Teachers need to know the content they are expected to teach (Nixon et al., 2017). More

specifically, teachers need to have different types of knowledge (Shavelson et al., 2005) about various domain-specific content areas (Sorge, Kröger et al., 2019) at a level that has to be deeper than students' science knowledge (Nixon et al., 2019). Higher education teacher training must provide pre-service teachers with such knowledge, known as CK. Therefore, higher education teacher training needs to build on well-designed courses that reflect high-quality ways of teaching (see e.g., Darling-Hammond, 2017; Mäntylä & Nousiainen, 2014). To describe the quality of higher education CK courses, studies have captured a broad range of characteristics resulting in various different dimensions of course quality (e.g., Feldmann, 2007; Schneider & Preckel, 2017). Instead, research on quality in primary and secondary education has provided parsimonious and well-established models of instructional quality (Praetorius et al., 2018). However, models of instructional quality have so far not been implemented in higher education to describe course quality and it is not clear how different dimensions of course quality impact pre-service teachers' CK development. To address this gap, we examined the influence of course quality on pre-service physics teachers' CK development during their higher education teacher training in the German context. Accordingly, our research was guided by the following two research questions:

- (1) Is a four-dimensional conceptualisation (cognitive activation, cognitive support, emotional support, and classroom management) viable as a delineation of CK course quality in higher education teacher training?
- (2) How do the dimensions of course quality affect the development of pre-service physics teachers' CK across one year of higher education teacher training?

Teacher education in Germany is divided into two stages: pre-service and in-service training (Neumann et al., 2017). Pre-service training takes place at universities and encompasses a three-year bachelor program and a consecutive two-year master program with a Master of Education degree. Both programs emphasises the development of teacher professional knowledge in the prospective school subject. Thus, focusing on pre-service teacher education is ideal to bring insights into the dimensionality and influence of CK course quality.

5.4. Methods

5.4.1. Study design and sample

To answer our research questions, we drew on data from a subsample of a four-year longitudinal study (The Development of Professional Competence in Pre-Service Mathematics and Science Teacher Education, German acronym: *KeiLa*) with German pre-service teachers during higher education teacher training that lasted from 2014 to 2017 (see Figure 5.2). At the onset of each winter semester, pre-service teachers completed paper-pencil tests on professional knowledge, including CK. Towards the end of the subsequent

summer semester, pre-service teachers were presented with online surveys that featured items on course quality and quantity in the concurrent and preceding semester. Our subsample included 107 undergraduate pre-service physics teachers (43% female) from 20 universities. Individual participation, however, varied across the years. Therefore, we focused on the development of pre-service teachers across a single year in higher education teacher training. To do so, pre-service teachers who participated, for example, at two measurement points in winter 2014 and 2015 (i.e., CK 1, CK 2) were split into two pre-post CK observations (i.e., pre-post development between CK 1 in 2014 and CK 2 in 2015; pre-post development between CK 2 in 2015 and NA for 2016). Hence, our data consists of 159 pretest CK observations, 76 posttest CK observations, and 130 ratings of CK course quality. Figure 5.3 shows the number of pretest observations per year of study.

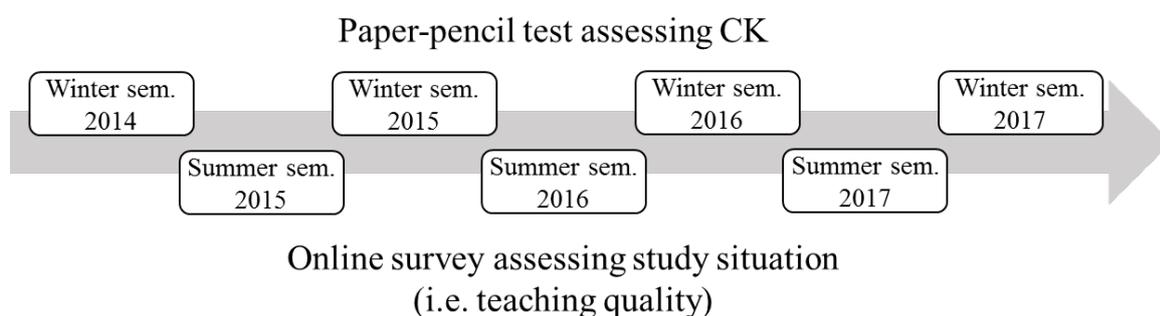


Figure 5.2 Study design.

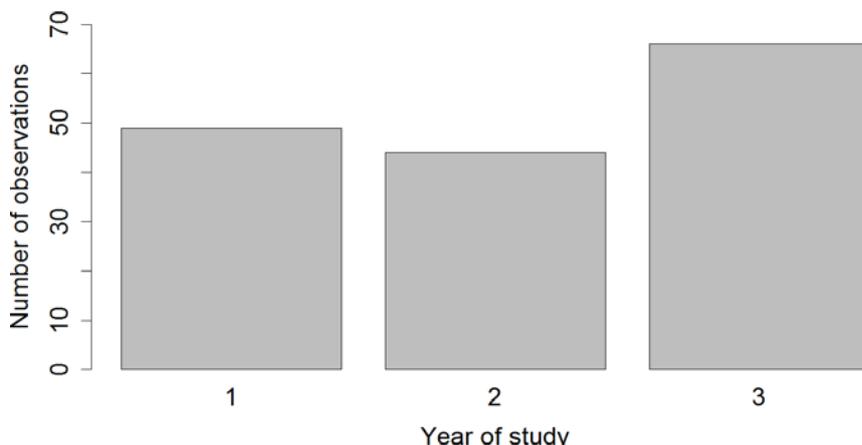


Figure 5.3 Distribution of the number of pretest observations per year of study.

5.4.2. Instruments

5.4.2.1. Content knowledge

Pre-service teachers' CK was assessed using a paper-pencil test developed and tested in the previous project (Measuring the professional knowledge of preservice mathematics and science teachers; German acronym: *KiL*). The development of the CK instrument was based on an instrument development framework which was informed by a review of CK literature. This framework represented different kinds of knowledge (declarative, procedural, and schematic and strategic knowledge; Shavelson et al., 2005) as well as

different content areas (mechanics, electricity, optics, thermodynamics, solid-state physics, atomic and nuclear physics, relativity, and quantum mechanics; Sorge, Kröger et al., 2019). Furthermore, the CK instrument was developed to measure CK at the college entry level (for details see Sorge, Kröger et al., 2019). This way, the items can be used across different years of study while ensuring that they measure CK that goes beyond primary and secondary science education (Nixon et al., 2019).

The development of the CK items included a pilot study, expert reviews, and guided interviews to provide information about substantive validity (for details see Sorge, Kröger et al., 2019) and to ensure that CK items are a valid measure of the CK pre-service teachers should acquire during their teacher education program. The final test included 40 anchor items and 20, 20, and 18 items designed specifically for the first, second, and third year of bachelor programs. The number of items for each content area differed depending on the year-specific booklet. The 40 core items appeared as multiple-choice items (33 items), open-ended items (4 items), matching items (2 items), and true-false-items (1 item). Figure 5.4 shows one sample CK multiple-choice item.

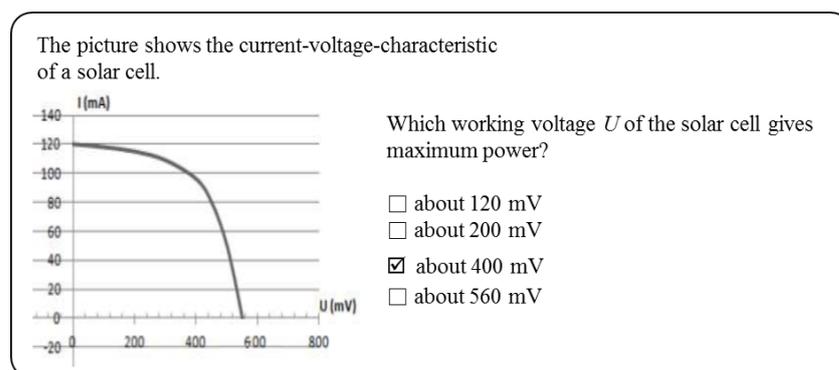


Figure 5.4 Sample CK item in solid-state physics.

5.4.2.2. Course quality and quantity

In online surveys at the end of the summer semester, participants summarily rated the quality of CK courses attended in the concurrent and preceding semesters. The surveys featured 16 items with a four-point Likert scale (1: “strongly disagree” to 4: “strongly agree”). The items were adapted from existing instruments for evaluation in higher education (Gollwitzer et al., 2006; Marsh, 1982; Rindermann & Amelang, 1994) and covered different aspects of teaching and learning included in generic models of instructional quality (Kleickmann et al., 2020; Klieme et al., 2009; Pianta & Hamre, 2009; Praetorius et al., 2018). Hence, each item was aligned with one of the four dimensions of instructional quality: cognitive activation (e.g., “Courses were intellectually challenging and inspiring.”), cognitive support (e.g., “Professors’ explanations were clear.”), emotional support (e.g., “Professors were cooperative and approachable.”), and classroom management (e.g., “Courses were organised well.”). Values of Cronbach’s α were .84, .86, .90, and .63 for cognitive activation, cognitive support, emotional support, and classroom management, respectively. The quantity of CK courses was indicated by participants in

terms of how many CK courses they attended in their concurrent and preceding semester.

5.4.3. Statistical analyses

To answer the first research question, we used confirmatory factor analyses (CFA) using the R (R Core Team, 2020) package *lavaan* (Rosseel, 2012). We compared five CFA models: Model a) included only one factor (baseline model). Model b) to Model d) comprised three-dimensional models in which cognitive activation, emotional support, and classroom management were separate factors and cognitive support was assigned to one of them. Finally, Model e) represented a four-dimensional model with factors for cognitive activation, cognitive support, emotional support, and classroom management. We analysed the fit of the models based on the χ^2 goodness-of-fit statistic, comparative fit index (CFI), the root-mean-square error of approximation (RSMEA), and the standardised root-mean-square residual (SRMR) (Hu & Bentler, 1998; 1999). To compare the different models, we used the Bayesian Information Criterion (BIC). In comparing BIC values between different CFA models, a difference higher than 10 points corresponds to “very strong” ($p < .001$) evidence that the model with smaller BIC fits better (Raftery, 1995).

To answer the second research question, we calibrated participants’ CK test scores according to the Rasch model (Rasch, 1960) using the R package *TAM* (Robitzsch et al., 2019). We submitted rotated test booklets to a concurrent calibration (von Davier & von Davier, 2011) in order to place item responses on a common scale (see also Hanson & Béguin, 2002). After concurrent calibration, 7 CK items showed insufficient infit outside of 0.8 to 1.2 (Bond & Fox, 2007) and were excluded. The remaining items showed a good EAP reliability of .88. To analyse participants’ CK development, we estimated different path models using *lavaan*. We regressed participants’ posttest CK on course quality and quantity while conditioning on and adjusting for the pretest CK (see Lüdtke & Robitzsch, 2020). Further, we adjusted for participants’ gender since literature reported gender effects in pre-service physics teachers’ CK (e.g. Sorge, Kröger et al., 2019; Woitkowski, 2020).

5.4.3.1. Missing Data

For CFA and path models we used the full information maximum likelihood (FIML) estimation implemented in *lavaan* to handle missing data in posttest CK observations and ratings of course quality. We included auxiliary variables (participants’ self-concept and interest in physics, current year of study, high school grade point average, fluid intelligence, indicator for preparation for teaching at the academic track, teachers study satisfaction) into the FIML procedures as saturated-correlates (Collins et al., 2001; Graham, 2003) by using the package *semTools* (Jorgensen et al., 2020) to improve the estimation. This approach is, in comparison to listwise deletion, less biased and enables analyses without the reduction of statistical power (e.g., Enders, 2008).

5.5. Results

5.5.1. Dimensions of quality in CK courses

Participants' ratings of course quality were generally similar in magnitude and in the range of the average quality across all dimensions ($M = 3.01$, $SD = 0.50$) (see Table 5.1). All ratings of dimensions were significantly correlated with the correlation between cognitive activation and cognitive support being the strongest ($r = .62$, $p < .001$) and the correlation between emotional support and classroom management being the smallest ($r = .31$, $p < .001$).

Table 5.1 Descriptive statistics and correlations for ratings of course quality.

	(2)	(3)	(4)	<i>M</i>	<i>SD</i>
(1) Cognitive Activation	.62***	.53***	.51***	2.91	0.66
(2) Cognitive Support	–	.53***	.54***	2.73	0.63
(3) Emotional Support		–	.31***	3.18	0.73
(4) Classroom Management			–	3.23	0.50
General Course Quality	–	–	–	3.01	0.50

*** $p < .001$.

The first research question addressed the factor structure (i.e., dimensionality structure) of CK course quality. The results of the CFA are presented in Table 5.2. The unidimensional baseline model showed a bad overall fit and the CFI of models b) and c) was insufficient (.803 and .868 respectively). The model with a common “organisational factor” (Model d) and the four-dimensional model (Model e) had both acceptable to good indices. All fit indices, however, showed the best values for the four-dimensional Model e) ($\chi^2(98) = 154.424$, $p < .001$; CFI = .951, RMSEA = .060, SRMR = .050). Especially the difference of BIC between Model d) and Model e) was higher than 10 points. Hence, it can be suggested that Model e) is a more fitting description of the collected ratings compared to the other models (Raftery, 1995). The latent correlations in the final Model e) were between .50 (emotional support and classroom management) and .74 (between cognitive support and classroom management).

5.5.2. Effects of course quality on pre-service teachers' CK development

To answer our second research question, we examined the development of pre-service physics teachers' CK across one year of higher education teacher training. A paired-sample t-test showed that participants' posttest CK was significantly higher than their pretest CK ($t(75) = 7.45$, $p < .001$, $d = 0.85$, 95% CI [0.26, 0.45]), thus, our data indicated a positive CK development during one year of study.

Table 5.2 Model fit indices for CFA.

Model	χ^2	BIC	CFI	RMSEA	SRMR
Model a unidimensional	457.972***	5489.247	.691	.146	.081
Model b three-dimensional (CS & ES)	326.885***	5373.366	.803	.119	.081
Model c three-dimensional (CS & CA)	252.276***	5298.757	.868	.097	.057
Model d three-dimensional (CS & CM)	181.889***	5228.371	.929	.071	.055
Model e four-dimensional	154.424***	5216.112	.951	.060	.050

Note. CA = cognitive activation, CS = cognitive support, ES = emotional support, CM = classroom management. *** $p < .001$.

To explain this positive CK development in more detail, we compared six path models that regressed posttest CK on CK course quality and quantity while adjusting for the pretest CK and participants' gender (see Table 5.3). All six path models had a good fit. The effect of pretest CK was significant in all path models since the initial knowledge is highly predictive for the outcome. In addition, gender had a significant influence on posttest CK in all models, thus, male participants showed greater CK development than female participants. Furthermore, the quantity of CK courses influenced the posttest CK significantly so that the number of attended courses promotes CK development. Moreover, of all dimensions of course quality, only cognitive support (Model 3) predicted posttest CK significantly ($\beta_{CS} = 0.11, p = .037$). In Model 6, however, no dimensions of course quality showed significant loadings. Chi-square difference test of the models showed that only Model 3 fits the data significantly better than Model 1 ($\Delta\chi^2 = 4.30, \Delta df = 1, p = .038$). Therefore, cognitive support and the quantity of CK courses explained pre-service teachers' CK development more sufficiently than the quantity of CK courses alone.

5.6. Discussion

To date, aspects of course quality in higher education teacher training have been examined mostly in interventions and case studies (e.g., Mäntylä & Nousiainen, 2014). Little attention has been paid to a systematic analysis of course quality in higher education teacher training and its impact on pre-service teachers' CK development. Examining data from 107 pre-service physics teachers, we were able to confirm a four-dimensional structure of quality in higher education CK courses. Interestingly, our analyses revealed that only the dimension cognitive support predicts pre-service physics teachers' CK development.

Table 5.3 Results of path models to predict pre-service teachers' posttest CK.

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
χ^2	21.005	19.977	16.709	19.100	18.774	15.964
CFI	.970	.979	.989	.982	.983	.982
RMSEA	.056	.058	.042	.054	.053	.061
SRMR	.033	.031	.032	.030	.032	.032
Pretest CK	0.82***	0.83***	0.82***	0.82***	0.83***	0.82***
Gender ^a	0.12*	0.11*	0.12*	0.13*	0.12*	0.13*
Quantity	0.18**	0.16**	0.16**	0.17**	0.16**	0.17**
Cognitive activation		0.05				-0.06
Cognitive support			0.11*			0.11
Emotional support				0.07		0.03
Classroom management					.07	0.04

Note. All values are standardised. ^a 0 = female and 1 = male. * $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$.

Contrary to several studies of instructional quality in primary and secondary education, we observed that three-dimensional models (e.g., Klieme et al., 2009; Pianta & Hamre, 2009; Praetorius et al., 2018) showed a weaker model fit than a four-dimensional model. Our results, therefore, suggest a four-dimensional structure of course quality in teacher education and corroborate evidence of cognitive support as a separate dimension of course quality in pre-service physics teachers' CK courses (Kleickmann et al., 2020).

While existing research recognised the vital role of quantity of CK courses for CK development (e.g., Großschedl et al., 2015), our results stress the importance of course quality, in particular cognitive support. For example, pre-service teachers' CK development requires adequate and structured guidance through explanations as well as clarity of learning goals. Lectures should, therefore, promote individual as well as general support for the entire learning group by promoting structural guidance (e.g., giving appropriate explanations) and fostering clarity (e.g., clarity of goals). This result builds upon previous studies that noticed the importance of cognitive support, as they identified for example scaffolding elements (e.g., Şahin & Yağbasan, 2012; see also Puntambekar & Hübscher, 2005) and a reduction of complexity (e.g., Kleickmann et al., 2020) as crucial for learning in science.

The effects of quantity of CK courses and cognitive support on CK development were only significant with small effect sizes. However, since pre-service teachers' initial CK was highly predictive for their later performance, it is even more remarkable that the quantity of CK courses and cognitive support had a substantial impact on CK development at all. Further, results showed that in this study both factors, quantity of CK courses and cognitive support, are comparable in terms of their effect sizes. Thus, there is an effective and accessible source for the development of teachers' CK in courses that provide cognitive support.

In contrast to other studies (e.g., Kleickmann et al., 2020; Klieme et al., 2009), we found no significant effect of cognitive activation, emotional support, and classroom management on the development of pre-service teachers' CK. One possible explanation for this result may be the fact that these dimensions of course quality (e.g., having a need-to-know, satisfying social interactions, and less disruption) can be provided by pre-service teachers themselves since they can be considered as a population with sufficient cognitive abilities and interest (see Klusmann, 2013; Roloff Henoch et al., 2015). Another possible explanation for no significant effect of cognitive activation, emotional support, and classroom management might be our summative assessment of participants' CK. It could be the case that pre-service teachers benefitted from, for example, cognitive activating CK courses (see e.g., Kleickmann et al., 2020), but this effect may not be detectable at the end of a whole year of study. However, our results indicate that pre-service teachers' knowledge development requires cognitive support provided by their lectures, which could be related to the structure of physics itself (and science in general). Physics is understood as formalistic, hierarchical, highly structured, and, at least difficult (see Angell et al., 2004).

Thus, to promote effective learning, lecturers have to provide a reduction of complexity and cognitive demands explicitly. However, it remains unclear if the importance of cognitive support for CK development is limited to pre-service *physics* teachers. Further work is needed to determine the role of cognitive support for pre-service teachers' knowledge development in other domains like chemistry or biology.

5.6.1. Limitations

Our results are subject to limitations. First, participants summarily rated the quality of CK courses attended in the concurrent and preceding semester. These ratings of course quality are reflecting a global ranking of CK courses during a whole year of study. Therefore, claims about the influence of course quality on CK development across a sequence of individual class meetings or a whole class as it is typical for research in primary or secondary schools (see e.g., Praetorius et al., 2018) may be limited. Second, since our study was carried out at higher education teacher training in Germany, the findings are based on the context of German teacher education so far. It remains unclear to what extent the quantity of CK courses and the course quality may have been confounded by the structure of teacher education programs, especially in comparison to other countries. For example, CK courses in other countries may vary in their degree to what they explicitly prepare pre-service teachers for their future vocation (i.e., CK courses for teaching purpose). However, content courses are a foundational part of preparing future teachers (e.g., Shulman, 1986), therefore, it can be assumed that cognitive support is an important factor for CK courses irrespective of country-specific teacher education. Our results require replication for different higher education teacher training programs in other countries. Third, 21 participants attended more than one consecutive measurement and path models treated all consecutive measurements as independent observations – although they derived from the same participant, respectively. Path models with a dataset that contains only one consecutive measurement per participant showed that the direction of effects remains similar. Only the significance of effects decreases due to the smaller sample size. Hence, the potential bias of dependent observation seems to be negligible.

In sum, our data confirmed the important role of course quantity for pre-service teachers' CK emphasised by cross-sectional studies (e.g., Großschedl et al., 2015) but goes beyond them: Our repeated measurements allowed us to explain a one-year CK *development* by tracing the difference in CK back to the quantity of CK courses and the perceived course quality. In addition, by including various different teacher education programs in Germany, we were able to increase the generalisability of our results and bring more insights into the development of pre-service teachers' CK.

5.7. Conclusion

This paper provides new insights into the understanding of course quality in teacher education. We found that a four-dimensional model encompassing cognitive activation,

cognitive support, emotional support, and classroom management is viable as a framework for the assessment of course quality in German pre-service physics teachers' CK courses. Particularly, cognitive support played a major role in CK development. This result suggests that pre-service physics teachers are not able to overcome the cognitive demands and complexity of learning physics on their own – lectures have to address cognitive support explicitly, for example by providing structure for challenging tasks or presenting coherent instructional materials (see also Mäntylä & Nousiainen, 2014). However, the actual number of CK courses is still of utmost importance. Therefore, teacher education needs both: an adequate number of courses and cognitive support for learners. In this way, teacher education can provide an adequate CK development of pre-service physics teachers and enhance their future teaching and eventually student learning.

STUDIE 3

Promoting Progression in Higher Education Teacher Training: How Does Cognitive Support Enhance Student Physics Teachers' Content Knowledge Development?

Abstract

This study examined the influence of higher education teacher training on student physics teachers' progression in content knowledge (CK). To become experts, student teachers must acquire both declarative and procedural–conditional CK. This progression is generally characterized by the prerequisite role of declarative knowledge, meaning that declarative knowledge influences procedural–conditional knowledge exclusively. The progression in declarative as well as procedural–conditional CK requires special support, due to the complexity of physics. This special cognitive support is assumed to enhance student teachers' CK development by reducing complexity and cognitive demand. To date, however, it has been unclear how cognitive support contributes to student physics teachers' declarative and procedural–conditional CK development. To address this issue, we analyzed data across one year of higher education teacher training of student physics teachers ($N = 107$). We used a cross-lagged model to examine the development of declarative and procedural–conditional knowledge under the influence of cognitive support. Our findings revealed that the development of student teachers' declarative and procedural–conditional CK is intertwined. Interestingly, cognitive support only influenced the development of procedural–conditional CK. This implies that higher education teacher training should provide cognitive support to promote student teachers' progression toward CK expertize.

Keywords: Teacher Education; Student Physics Teachers; Expert Knowledge; Cognitive Support; Content Knowledge

Schiering, D., Sorge, S., & Neumann, K. (2021). Promoting Progression in Higher Education Teacher Training: How Does Cognitive Support Enhance Student Physics Teachers' Content Knowledge Development? *Studies in Higher Education*, 46(10), 2022–2034.
<https://doi.org/10.1080/03075079.2021.1953337>

6.1. Introduction

Expert knowledge can be characterized as the understanding of facts and relationships and the ability to apply knowledge in specific situations (Bransford et al., 2000). Therefore, to become experts, teachers must not only know that something is so but also understand *why* (Shulman, 1986). Accordingly, higher education teacher training involves supporting student teachers in developing declarative and procedural–conditional knowledge.

Many studies on learning in higher education teacher training have shown that the quantity of learning opportunities positively affects student teachers' content knowledge (CK) (e.g., Großschedl et al., 2015; Kleickmann et al., 2013). Beyond that, the importance of teaching quality in supporting student teachers is well documented. In particular, coherent, clear, and well-structured presentations of content (i.e., cognitive support; Kleickmann et al., 2020) have been found to support the development of student teachers' professional knowledge (Schiering et al., 2021). Despite the findings that higher education teacher training programs support the development of student teachers' professional knowledge, how higher education teacher training in particular supports student teachers' progression toward declarative and procedural–conditional knowledge and the role that cognitive support plays in this process are unclear. The aim of this study was therefore to produce insights into (1) student teachers' knowledge progression during higher education teacher training and (2) the influence of cognitive support on that progression.

6.2. Theoretical background

6.2.1. Experts' knowledge

Developing students' expertise in a domain is a main goal of higher education (Zlatkin-Troitschanskaia et al., 2017). Expertise rests on a highly elaborate and structured knowledge base organized around big ideas (e.g., Bransford et al., 2000; Shavelson et al., 2005). From this point of view, novice knowledge consists mainly of facts (Ferguson-Hessler & de Jong, 1990), while expert knowledge also includes schemes, heuristics, or mental models (Shavelson et al., 2005). Therefore, to have expert knowledge means to know 'ideas deeply, know how these ideas are connected and why they are important, and know when, where, and how to use this knowledge to accomplish a task' (Brownell & Kloser, 2015, S. 530).

The characteristics of expert knowledge presented by Brownell und Kloser (2015) were also reflected in Shavelson et al.'s (2005) distinction of four kinds of knowledge: *declarative*, *procedural*, *schematic*, and *strategic*. Declarative knowledge ('knowing that,' see also Ryle, 1949) comprises knowledge of facts and definitions, such as Newton's second law of motion. Procedural knowledge ('knowing how,' see also Ryle, 1949) consists of applicable knowledge, such as methods and how to use them, e.g., knowledge of how to measure the force of an accelerating body. Schematic knowledge ('knowing why') involves understanding how knowledge is applied and how to reason in specific situations, e.g.,

knowing why bodies of all masses accelerate downward at the same rate, neglecting air resistance. Lastly, strategic knowledge ('knowing when, where, and how knowledge applies') comprises an understanding of ways in which knowledge can be applied as well as the ability to check whether they are reasonable, for instance, knowing that Newton's second law of motion can only be applied to an entire system of constant mass. As these different kinds of knowledge can be located on a level continuum that ranges from low (declarative knowledge) to high (strategic knowledge) proficiency (Shavelson et al., 2005), they can be used to differentiate between novices and experts. Novices, at one end of the continuum, are typically able to recall a list of facts and definitions and are restricted in their conceptual understanding (Bransford et al., 2000). Experts, at the other end of the continuum, have elaborated knowledge, meaning that their knowledge contains declarative, procedural, schematic, and strategic knowledge (de Jong & Ferguson-Hessler, 1996).

6.2.1.1. Progression in developing experts' knowledge

Models on the development of the different kinds of knowledge differ, especially with respect to how the interrelation between declarative and procedural knowledge is delineated in the progression (for an overview, see Sun et al., 2001). Most models have outlined the importance of declarative knowledge in the development of procedural knowledge (e.g., Anderson, 1982). In this view, declarative knowledge is transformed (i.e., *proceduralized*) through continuous practice into a procedural form, which consequently results in a gain of procedural knowledge ('top-down learning,' see Sun et al., 2001). However, Rittle-Johnson et al. (2001) outlined the opposite. From this point of view, using procedural knowledge to solve problems can help learners become aware of underlying key concepts, leading to a deeper understanding of principles ('bottom-up learning,' see Sun et al., 2001). For example, Sahdra und Thagard (2003) examined biologists' knowledge and found that their procedural knowledge can be developed without having a priori declarative knowledge. In sum, knowledge development can occur from declarative to procedural knowledge as well as the other way around; the development of declarative and procedural knowledge is assumed to be interdependent.

6.2.2. Teachers as experts of teaching

Teachers are experts in teaching their subjects and must therefore understand the content they teach (see e.g., Shulman, 1986). This understanding is commonly known as subject matter knowledge or CK. CK has been found to predict teachers' actions in classrooms (e.g., Childs & McNicholl, 2007) and to serve as a baseline for developing pedagogical content knowledge (e.g., Rollnick et al., 2008). Therefore, there is no doubt that CK represents a key component of teachers' professional knowledge (Nixon et al., 2017).

CK is commonly described as knowledge about 'major facts and concepts within a field and the relationships among them' (Grossman, 1990, S. 6). To characterize this knowledge in more detail, teachers' CK can also be classified into different kinds of

knowledge: declarative, procedural, and conditional (e.g., Jüttner et al., 2013; Kirschner et al., 2016; Sorge, Kröger et al., 2019). Teachers' declarative and procedural CK are conceptualized similarly to Shavelson et al. (2005), whereas conditional CK includes schematic and strategic knowledge. In line with recent research on competence measurement (Blömeke et al., 2015), the assessment of these different kinds of CK can be located on a continuum. While most of the research used paper–pencil tests to assess the cognitive characteristics of CK (see e.g., Kirschner et al., 2016; Sorge, Kröger et al., 2019), Kulgemeyer et al. (2020) developed performance assessments to measure procedural knowledge. However, little is known about the extent to which teachers actually hold these different kinds of CK. Jüttner et al. (2013) showed that teachers were more likely to answer declarative items correctly than they were procedural or conditional items. However, it was not possible to differentiate between the procedural and conditional items. Woitkowski (2020) emphasized that student teachers started their study program with only factual (i.e., declarative) CK and were able to extend it during their first year of study.

Overall, it seems appropriate to differentiate between declarative and procedural–conditional knowledge (i.e., factual and applicable knowledge, respectively) to describe teachers' CK. While beginner student teachers are comparable to novices, as they rely on only declarative knowledge, it is expected that they will develop declarative *and* procedural–conditional CK throughout their higher education teacher training.

6.2.2.1. Progression in becoming teaching experts

Student teachers' CK is mainly developed during higher education teacher training (e.g., Jüttner et al., 2013; Kirschner et al., 2016; Kleickmann et al., 2013). Multiple studies have shown that the *quantity* (i.e., number of courses taken) of learning opportunities such as lectures and seminars has a strong influence on student teachers' CK (e.g., Großschedl et al., 2015; Sorge, Kröger et al., 2019). However, the mere number of courses is not sufficient to explain teachers' CK development. Garet et al. (2001) pointed out that various teaching factors impact teachers' professional development, such as the coherence of instructional guidance they receive. Indeed, the relevance of *teaching quality* for improving students' outcomes has been stressed in many studies and meta-analyses (e.g., Schneider & Preckel, 2017). Most recently, Kleickmann et al. (2020) emphasized the role of cognitive support as a crucial dimension of teaching quality (see also Schiering et al., 2021). The cognitive support dimension comprises the reduction in complexity and cognitive demands 'by means of structuring content and promoting clarity' (Kleickmann et al., 2020, S. 38).

Because the structure of physics is complex and hierarchically organized (e.g., Koponen & Pehkonen, 2010), learning seems to be particularly challenging within this domain (Mulhall & Gunstone, 2017). One way to overcome learning barriers in physics is to purposefully provide cognitive support, ranging from support for the entire class to individualized support (Kleickmann et al., 2020). Support for the entire class addresses the clarity of learning goals, coherence among larger units, well-structured presentations of

content, and adequate learning materials (Helaakoski & Viiri, 2014; Seidel et al., 2005). This kind of support can foster self-determined learning motivation because well-structured learning opportunities are assumed to result in the integration of teaching goals in individual learning goals (Seidel et al., 2005). Individualized support comprises support to adjust students' individual learning through adjusted explanations and analogies or methods and strategies of scaffolding (see e.g., Puntambekar & Hübscher, 2005). Individualized support helps students overcome limitations in working memory and allows for the transfer of information into long-term memory (Kirschner et al., 2006). For example, student physics teachers can fail at authentic physics problems if they lack strategies to handle rich information: the working memory load hampers learning. To support student teachers in coping with such situations, they require adequate scaffolding, such as feedback on their problem-solving strategies (see e.g., Taconis et al., 2001). Consequently, cognitive support provides strategies to guide students through these challenging problems. As challenging problem solving is predominantly related to students' knowledge of methods and their application in specific situations, it can be assumed that cognitive support especially results in a gain of procedural–conditional knowledge.

In sum, cognitive support promotes self-determined learning motivation and enables learners to actively engage in the challenging process of knowledge development. It is therefore likely that CK learning opportunities in higher education teacher training also need to provide cognitive support to promote student teachers' CK development. In fact, the research indicated that cognitive support is a key influencing factor of student physics teachers' CK development during higher education teacher training (Schiering et al., 2021). Therefore, it can be assumed that cognitive support will benefit student teachers' progression from novice to expert by promoting their procedural–conditional CK development.

6.3. Research questions

Student teachers need both declarative and procedural–conditional CK to become expert teachers in their domains. Although cognitive support in learning opportunities is positively related to student teachers' CK (Schiering et al., 2021), it remains unclear how cognitive support contributes to student teachers' progression from novice to expert. To fill this gap, this study focused on the following two research questions:

- (1) How do student teachers progress in their CK development during higher education teacher training?
- (2) How does cognitive support promote student teachers in developing their declarative and procedural–conditional CK?

6.4. Methods

6.4.1. Research context

To address our research questions, we used data from a four-year longitudinal study (The Development of Professional Competence in Pre-Service Mathematics and Science Teacher Education, German acronym: KeiLa). Student physics teachers from German higher education teacher training programs were invited by local teacher educators to participate in the study.

Pre-service teacher preparation in Germany takes place in universities and emphasizes the development of teachers' professional knowledge (Neumann et al., 2017). This stage includes academic studies of two subjects (e.g., physics), corresponding subject education (e.g., physics education), and general education and psychology. Typically, student teachers complete a three-year bachelor's program before finishing a two-year master's program. Learning opportunities for CK are mainly located in the bachelor's program (see Neumann et al., 2017). Hence, this stage is of interest for answering the research questions.

6.4.2. Data basis

This study was conducted in 20 German universities from 2015 to 2017 during the winter and summer semesters. At the onset of the winter semester, the participants completed a paper–pencil test on their CK, followed by an online survey at the end of each subsequent summer semester. The online survey featured items concerning the students' cognitive support in the current year of study. In addition, the participants were asked to specify the number of CK learning opportunities they had attended in their current year of study.

A total of 107 undergraduate student physics teachers (42% female) participated in the study. However, the number of participants varied across years. Therefore, longitudinal participation was considered to be multiple single pre–post cases. Student teachers who participated, for example, at three measurement points (e.g., CK 1, CK 2, and CK 3) were split into two pre–post CK observations (i.e., CK 1 and CK 2, CK 2 and CK 3). Hence, our data consisted of 159 pretest CK observations, 76 posttest CK observations, and 130 ratings of cognitive support of CK learning opportunities. Figure 6.1 shows the number of observations per year.

6.4.3. Instruments

6.4.3.1. Content knowledge

The participants' CK were assessed using a paper–pencil test focusing on the cognitive characteristics of CK. The development of the CK items was based on an instrument development framework that accounts for different kinds of knowledge (declarative, procedural–conditional knowledge). Prior analyses provided information about the substantive validity of the instrument (e.g., measurement invariance across teacher

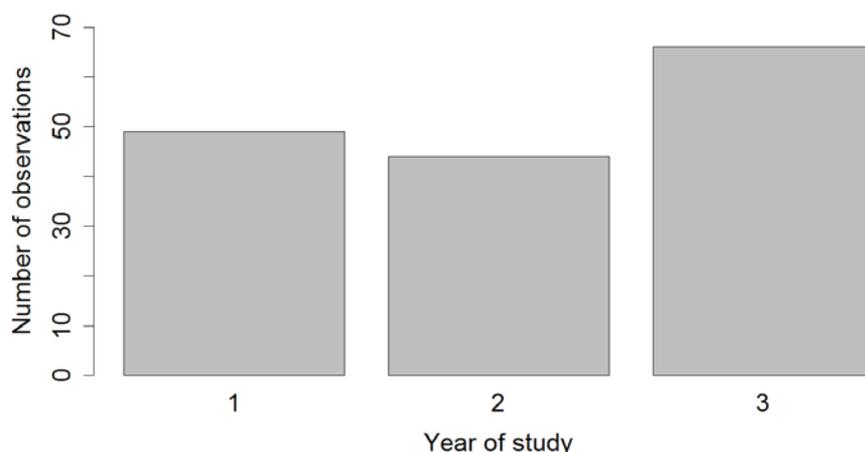


Figure 6.1 Distribution of the number of observations per year of study.

education, convergent validity; for details, see Sorge, Kröger et al., 2019).

The final CK test consisted of 40 core items and an additional 20, 20, and 18 items specialized for the first, second, and third years of study. Two independent raters coded all 98 items based on the kind of knowledge (i.e., declarative vs. procedural–conditional CK). Cohen’s kappa showed good interrater reliability between the two raters ($\kappa = .66$). Both raters reached agreement on differently coded items. Table 6.1 shows the final coding of CK items per year-specific booklet. Figure 6.2 shows two sample multiple-choice items coded as declarative and procedural–conditional CK.

Table 6.1 Number of CK items per year-specific booklet and kind of knowledge.

Kind of Knowledge	Number of CK Items				Sum
	Core	First year of study	Second year of study	Third year of study	
Declarative	25	7	8	10	50
Procedural–conditional	15	13	12	8	48
Sum	40	20	20	18	

6.4.3.2. Cognitive support

Items for cognitive support had been adapted from existing instruments for the evaluation of higher education learning opportunities (Gollwitzer et al., 2006; Marsh, 1982; Rindermann & Amelang, 1994). Our survey featured four Likert-type items and showed good reliability (Cronbach’s $\alpha = .87$). Two items covered individual support (e.g., ‘The lecturers’ explanations were clear.’) and two items focused on support for the entire class (e.g., ‘The learning goals were transparent and clear.’).

- A) Which of the following formulas applies to the magnitude of the gravitational force F between two objects given their masses m_1 and m_2 , and the distance r between them? G represents the gravitational constant.
- $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$
- $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$
- $F = \frac{1}{4\pi G} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$
- $F = \frac{1}{4\pi G} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$
- B) Heisenberg's uncertainty principle is commonly considered for small objects like electrons or protons. Why this principle is not applied to larger objects?
- Measurement uncertainties for large objects can be generally reduced by more sensitive instruments.
- Large objects do have a definite position and momentum which can be both measured accurately.
- For large objects, classical mechanics apply and uncertainty cannot be found in classical mechanics.
- Generally, uncertainty principle can be also found in larger objects, but uncertainties become small enough that they are negligible.**

Figure 6.2 Sample multiple-choice CK items. A) shows a sample declarative CK item, B) shows a sample procedural-conditional CK item.

6.4.4. Data analyses

6.4.4.1. Participants' declarative and procedural–conditional CK

We used the R package *TAM* (Robitzsch et al., 2019) to calibrate the participants' CK test scores according to the Rasch model. We submitted year-specific booklets to a concurrent calibration (von Davier & von Davier, 2011) with a two-dimensional loading structure of items, in order to place declarative and procedural–conditional items on a common scale. After calibration, nine CK items (four declarative items and five procedural-conditional items) showed insufficient infit outside of 0.8 and 1.2 (Bond & Fox, 2007) and were excluded. The remaining declarative and procedural–conditional items showed good EAP reliability (.86 and .85, respectively). There was no significant difference between the item difficulty of declarative and procedural–conditional items ($F(1,94) = 1.52, p = .22$).

6.4.4.2. Longitudinal analyses

We aimed to examine the student teachers' development of declarative and procedural–conditional CK during one year of study. We therefore applied a bivariate cross-lagged model using the R package *lavaan* (Rosseel, 2012). We added the participants' ratings of cognitive support and the number of attended CK learning opportunities as covariates to

the cross-lagged model. In addition, we adjusted for the year of study and student teachers' gender, as literature has reported that male student physics teachers generally have higher CK than females (e.g., Woitkowski, 2020). As maximum likelihood is used as the estimation method, we assessed the multivariate normality of outcome variables using univariate skew, univariate kurtosis, and multivariate kurtosis (Finney & DiStefano, 2006). The univariate skewness as well as the univariate kurtosis of all four outcome variables were considered acceptable (ranging between 0.01 and 1.89, see Finney & DiStefano, 2006). To test multivariate kurtosis, we used Mardia's (1970) test, which did not significantly differ from multivariate normality ($b_{k2} = 24.5$; $p = .72$). Therefore, the outcome variables were within an acceptable range of non-normality.

6.4.4.3. Missing data

For the cross-lagged model, we used the full information maximum likelihood (FIML) estimation implemented in *lavaan* to handle missing data in posttest CK observations and ratings of cognitive support. We included auxiliary variables (participants' self-concept and interest in physics, cognitive ability, last physics school grade, high school GPA, preparation for teaching in the academic track, study satisfaction, and academic self-efficacy) in the FIML procedures as saturated-correlates (Graham, 2003).

6.5. Results

6.5.1. Descriptive results

Table 6.2 presents the descriptive results for the study variables. To examine the relation between cognitive support and CK development, pretest CK should not influence the students' ratings of cognitive support. The data showed that the participants' ratings of cognitive support did not correlate significantly with their pretest declarative CK ($r = -.08$, $p = .37$) or pretest procedural–conditional CK ($r = -.06$, $p = .50$). It can therefore be assumed that the student teachers' ratings of cognitive support were independent of their initial knowledge. Furthermore, the student teachers rated the cognitive support in learning opportunities as moderately high ($M = 2.73$ on a four-point Likert-type scale). Interestingly, cognitive support was significantly correlated with posttest procedural–conditional CK ($r = .27$, $p = .022$). These results could be related to the potential influence of cognitive support on the student teachers' development of procedural–conditional CK.

6.5.2. The development of declarative and procedural–conditional CK

To answer the first research question, we examined the participants' CK development. Figure 6.3 shows the progression of participants' declarative and procedural–conditional CK. For both kinds of knowledge, we observed an overall increase in CK with the year of enrollment (for declarative CK: $F(156,2) = 20.20$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.21$; for procedural–

STUDIE 3

Table 6.2 Descriptive statistics and correlations of study variables.

	<i>M</i>	<i>SD</i>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(1) Pretest declarative CK	- 0.28	0.81	-						
(2) Posttest declarative CK	0.15	0.93	.84 ^{***}	-					
(3) Pretest procedural–conditional CK	- 0.13	0.97	.76 ^{***}	.76 ^{***}	-				
(4) Posttest procedural–conditional CK	0.15	1.16	.74 ^{***}	.73 ^{***}	.85 ^{***}	-			
(5) Year of study	2.11	0.85	.45 ^{***}	.42 ^{***}	.33 ^{***}	.24 [*]	-		
(6) Gender ^a	-	-	.34 ^{***}	.44 ^{***}	.39 ^{***}	.44 ^{***}	-.01 ^{ns}	-	
(7) Quantity	6.56	3.62	.09 ^{ns}	.19 ^{ns}	.10 ^{ns}	.22 ^{ns}	-.14 ^{ns}	-.00 ^{ns}	-
(8) Cognitive support	2.73	0.63	-.08 ^{ns}	.09 ^{ns}	-.06 ^{ns}	.27 [*]	-.11 ^{ns}	-.03 ^{ns}	-.03 ^{ns}

Note. Means and standard deviations of pre and posttest CK are not interpretable because they are located on an arbitrary scale. ^a 0 = female and 1 = male. ^{***} $p < .001$; ^{*} $p < .05$; ^{ns} not statistically significant.

conditional CK: $F(156,2) = 10.03$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.11$). However, this increase in declarative and procedural–conditional CK was not similar. Tukey’s post hoc test detected a significant increase in declarative CK from the first to the second and from the second to the third year of study. The procedural–conditional CK increased only from the second to the third year of study. It can therefore be assumed that student teachers develop declarative CK before acquiring procedural–conditional CK during the second half of their bachelor’s program.

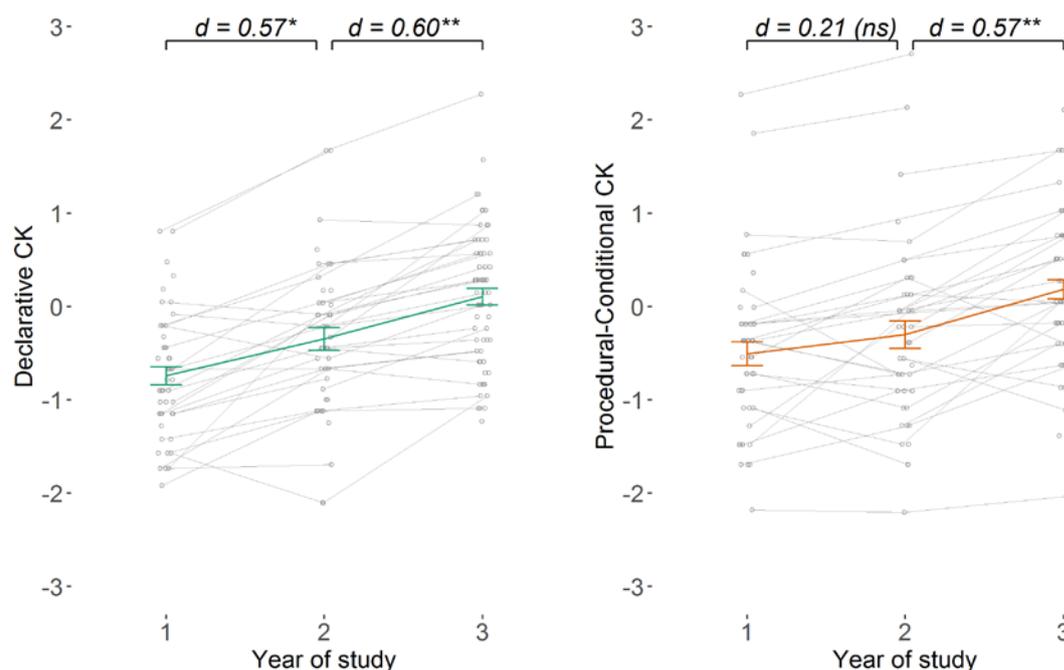


Figure 6.3 Progression of student teachers’ declarative and procedural-conditional CK across their bachelor program. d represents the effect size of progression. Note that the units of CK are on an arbitrary but common scale. ** $p < .01$; * $p < .05$; (ns) not statistically significant.

6.5.3. Promoting the development from declarative to procedural–conditional CK

To answer the second research question, we computed a cross-lagged model that incorporated pre and posttest CK, participants’ year of study, gender, quantity of learning opportunities, and cognitive support in learning opportunities.

The model shown in Figure 6.4 had a good fit ($\chi^2(8) = 8.00$, $p = .434$; CFI = 1.000, RMSEA = .000, SRMR = .034). All standardized regression coefficients are displayed in Appendix 1. The effects of pretest CK were highly predictive of the corresponding posttest CK. Moreover, both cross-lagged effects, from pretest procedural–conditional CK to posttest declarative CK and vice versa, were significant. Interestingly, the quantity of learning opportunities contributed to the development of declarative ($\beta = 0.16$, $p = .014$) and procedural–conditional CK ($\beta = 0.16$, $p = .028$), while cognitive support had a significant impact only on participants’ procedural–conditional CK development ($\beta = 0.20$, $p = .001$). Therefore, it can be assumed that student teachers’ development of procedural–

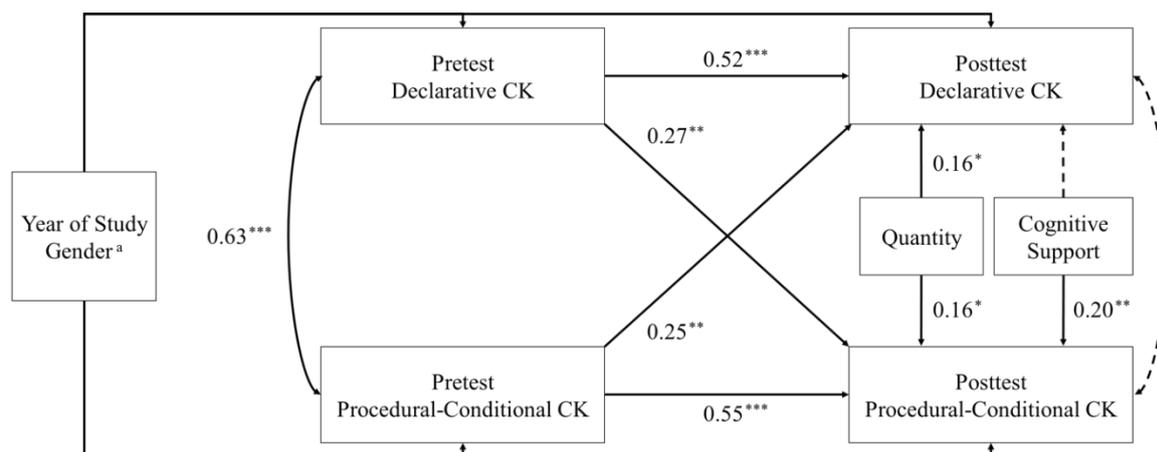


Figure 6.4 Cross-lagged model used to analyze student teachers' development of declarative and procedural-conditional CK. All coefficients are standardized. Dashed lines indicate non-significant path coefficients. Auxiliary variables and correlations are not displayed. ^a 0 = female and 1 = male. *** $p < .001$; ** $p < .01$; * $p < .05$.

conditional CK was promoted, especially through cognitive support in learning opportunities.

6.6. Discussion

In this study, we investigated student physics teachers' progression from novice to expert during higher education teacher training. Our data suggest that the development of procedural–conditional CK mainly occurred during the second year of study. During the first year of study, the participants gained only declarative knowledge, although learning opportunities in higher education teacher training do not exclusively focus on factual knowledge (see KMK, 2019). This result might be related to the essential role of declarative knowledge in student teachers' CK development. As declarative and procedural–conditional CK can be located on a level continuum of proficiency, declarative CK could be considered a prerequisite for the development of procedural–conditional CK. However, during the second half of the bachelor's program, student teachers additionally developed procedural–conditional knowledge. This result is in line with previous studies stressing the influence of higher education teacher training, as they identified years of study as an important predictor of student teachers' CK (e.g., Großschedl et al., 2015; Sorge, Kröger et al., 2019).

Regarding student teachers' progression toward expertise in CK, our cross-lagged model revealed that declarative and procedural–conditional development were intertwined. Because the initial declarative CK affects procedural–conditional CK and vice versa, student teachers' CK progression relied on top-down and bottom-up processes (Sun et al., 2001). Thus, declarative CK impacted the development of applicable knowledge. In turn, the student teachers' procedural–conditional CK might have contributed to making new principles and concepts accessible (see e.g., Sahdra & Thagard, 2003). Taking both top-

down and bottom-up processes into account, Rittle-Johnson et al. (2001, S. 347) argued that '[i]ncreases in one type of knowledge lead to gains in the other type of knowledge, which in turn lead to further increases in the first.' However, it can be assumed that this iterative process needs to rest on a fundament. During their first year of study, student teachers develop this essential set of rules, examples, and principles (i.e., declarative knowledge) that enables them to iteratively develop their CK (see Sun et al., 2001). Overall, we were able to show that this iterative process drives student physics teachers' CK progression.

Our study identified cognitive support in learning opportunities as an auspicious factor of the promotion of this iterative progression. While the quantity of learning opportunities influenced both declarative and procedural–conditional CK development, cognitive support exclusively promoted the development of procedural–conditional CK. This might be explained by the fact that higher education learning opportunities (i.e., quantity) already contribute to student teachers' factual knowledge. However, developing applicable knowledge requires more than numerous learning opportunities. Therefore, our results have important implications for higher education. To provide cognitive support, lecturers need to anticipate difficult topics in advance to offer adequate guidance of student teachers' existing knowledge (i.e., individualized support). In addition, lecturers must promote clarity of learning goals and comprehensibly structure CK learning opportunities (i.e., support for the entire class). Thus, cognitive support can be used to prevent students from falling behind; however, future studies should investigate which aspects of cognitive support are relevant for learning in higher education.

Some limitations also need to be considered with respect to our findings. First, our study was limited to the cognitive characteristics of procedural–conditional knowledge. Hence, it is possible that our findings cannot be generalized to procedural–conditional knowledge understood as performance or skill (see e.g., Blömeke et al., 2015). Second, our analyses did not differentiate between procedural and conditional knowledge. Accordingly, we were not able to examine whether higher education teacher training and cognitive support in particular affect procedural CK, conditional CK, or both. Further studies are required to establish a sharp distinction between both kinds of CK to provide more insight into student teachers' progression. Furthermore, our sample covered different teacher education programs in Germany. While this permitted rather generalizable conclusions for the national context, our findings need to be replicated in additional international studies to account for different higher education teacher training programs. In addition, the student teachers' ratings of cognitive support reflected a global assessment of CK learning attended in the concurrent and preceding semester. We therefore do not have detailed information on the influence of cognitive support in specific learning opportunities. Hence, our results provide initial insights into cognitive support in higher education teacher training but must be interpreted with caution.

6.7. Conclusion

Our study incorporated a new perspective on cognitive support and its impact on student teachers' CK development. We found that higher education teacher training did indeed result in student teachers' declarative and procedural–conditional CK development. Moreover, to promote their progression, learning opportunities need to provide cognitive support by structuring content (e.g., coherent presentation of content used in instructional materials) and promoting clarity (e.g., explaining and highlighting main ideas). In this manner, higher education teacher training and learning opportunities can foster student teachers' progression from novice to expert, consequently improving teachers' future actions in classrooms and, finally, student learning in physics.

STUDIE 4

A Proficiency Model for Pre-Service Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) – What Constitutes High-Level PCK?

Abstract

This study identifies proficiency levels in pre-service physics teachers' pedagogical content knowledge (PCK) and reveals how teacher education can promote transitions into higher levels. Teacher education plays a fundamental role in supporting pre-service teachers' PCK development. In order to evaluate this PCK development, proficiency levels are a powerful source since they characterize what learners are likely to be able to know on a specific level. Previous research has presented a model of proficiency levels in pre-service physics teachers' PCK, however, evidence for its validity is still lacking. Especially, there have been no detailed investigations of how factors provide proficiency in PCK. According to the Refined Consensus Model of PCK, factors like teachers' content knowledge (CK), their teaching experience as well as their beliefs about teaching and learning science mostly provoke PCK development. Thus, understanding how pre-service physics teachers' CK, teaching experience, and beliefs contribute to different proficiency levels can bring insights into how teacher education can promote high-level PCK. To address this issue, data from $N = 427$ pre-service physics teachers was analyzed. Utilizing the scale anchoring procedure, four different proficiency levels in pre-service physics teachers' PCK were identified. Analyzing these proficiency levels showed that lower levels can be characterized as remembering content unspecific knowledge whereas higher levels encompass content-specific strategies to structure and elaborate lessons. Additionally, logistic regression model revealed that pre-service physics teachers' CK is crucial for an increase in PCK proficiency. However, transitions into higher levels of PCK additionally require teaching experience and adequate beliefs about teaching and learning. Thus, our proficiency levels can be used to bring insights into how proficiency in PCK can be supported during teacher education. For example, teacher education has to provide a preparation for practice so that pre-service physics teachers' teaching experience and beliefs can be effective for their PCK development.

Keywords: Teacher Education, Physics, Pedagogical Content Knowledge

Schiering, D., Sorge, S., Keller, M., & Neumann, K. (2021). A Proficiency Model for Pre-Service Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) – What Constitutes High-Level PCK? Manuskript eingereicht zur Publikation.

7.1. Introduction

Research has left no doubt that teachers need a profound pedagogical content knowledge (PCK) in order to effectively plan, teach, and reflect on instruction (e.g., Krepf et al., 2018; Kulgemeyer & Riese, 2018; Rollnick, 2017). Thus, teachers' progression towards a high-level PCK is crucial for their classroom action and subsequently students' learning. However, there is still an ongoing debate about how teachers' PCK development can be characterized (e.g., Abell, 2008; Chan & Hume, 2019; van Driel et al., 2014) and how teacher education can contribute to this development (see e.g., Brouwer & Korthagen, 2005; Darling-Hammond et al., 2005).

In order to analyze teachers' PCK development, Schneider und Plasman (2011) reviewed 91 studies that investigated PCK of science teachers at different stages of their career. From this analysis, the authors delineated a model of teachers' PCK progressions spanning their professional career. These progressions, however, did not describe PCK development within individual stages of teachers' professional career. And since the stage of university teacher education is a crucial stage in teachers' PCK development (e.g., Großschedl et al., 2015; Kleickmann & Anders, 2013; Sorge, Kröger et al., 2019), there is a great interest in delineating *pre-service* science teachers' PCK progression. In order to evaluate pre-service physics teachers' PCK during teacher education in more detail, we were able to formulate four proficiency levels in pre-service physics teachers' PCK in a first small sample study (Schiering et al., 2019); however, evidence for its validity is still lacking. Particularly, we still know very little about which and when factors promote the transition into higher proficiency levels in PCK

Over the years, literature has highlighted several factors affecting pre-service teachers' PCK development. One factor that has been proven many times to impact teachers' PCK is their content knowledge (CK) (e.g., Kaya, 2009; Kind, 2009; Pitjeng-Mosabala & Rollnick, 2018). Moreover, teaching experiences are also expected to influence the development of PCK and, therefore, play a vital role in teacher education (de Jong et al., 2005; Grossman, 1990). However, Brouwer und Korthagen (2005), for example, pointed out that pre-service teachers' teaching experience needs to be coupled with formal teacher education like lectures or seminars in order to be fruitful. Thus, there is evidence that teaching experience *per se* had only limited effects on pre-service teachers' PCK (see also Friedrichsen et al., 2009; Zembal-Saul et al., 2002). In addition, PCK development is assumed to be filtered and amplified by teachers' beliefs about teaching and learning science (Carlson et al., 2019). For instance, Mavhunga und Rollnick (2016) reported that changes in pre-service chemistry teachers' beliefs are associated with PCK: a shift towards student-centered beliefs mostly corresponds with a gain in PCK.

In sum, pre-service teachers' PCK development depends on different factors like CK, teaching experiences, and beliefs. To date, it remains vague how these factors can contribute to different proficiency levels in PCK and how teacher education can promote transitions into higher proficiency levels in PCK. This study, therefore, aims to (1) identify

proficiency levels in pre-service physics teachers' PCK and (2) examine which and when the factors CK, teaching experience, and beliefs about teaching and learning science are associated with the transition into higher proficiency in PCK. To achieve this aim, we first used the scale anchoring procedure (Beaton & Allen, 1992) to delineate proficiency levels in PCK. Then, we examined how different factors promote pre-service physics teachers' progression towards high-level PCK. These findings are finally incorporated into a model that can be used to evaluate pre-service physics teachers' PCK and bring insights into how proficiency in PCK can be promoted during teacher education.

7.2. Theoretical Background

The idea of what constitutes teacher knowledge was prominently addressed by Shulman (1987), who specified categories of knowledge “that underlie the teacher understanding needed to promote comprehension among students” (p. 8). Following Shulman (1987), teacher professional knowledge can be divided into seven categories including CK, PCK, and knowledge of educational ends, purposes and values (Shulman, 1987). Among these different categories of teachers' professional knowledge, PCK is considered of outmost importance for designing high-quality instructions in classrooms (e.g., Keller et al., 2017; Sadler et al., 2013).

7.2.1. Pedagogical Content Knowledge

Following Shulman's (1986, 1987) initial conceptualization, PCK can be understood as an area of knowledge that comprises “ways of representing and formulating the subject that make it comprehensible to others” (Shulman, 1986, S. 9). Several studies observed that teachers' PCK affects teachers' classroom actions and student learning (e.g., Baumert et al., 2010; Childs & McNicholl, 2007; Kunter et al., 2013; Sadler et al., 2013). Keller et al. (2017) found, for example, that physics teachers' PCK predicts aspects of instructional quality like cognitive activation in classroom and subsequently students' achievement. In order to characterize the structure of teachers' PCK, Magnusson et al. (1999) identified five different components of PCK which appear to have been agreed upon by researchers as the core components (see also Park & Oliver, 2008): knowledge and beliefs of (1) students' understanding of science, (2) instructional strategies, (3) curriculum, (4) students' assessment as well as (5) orientations toward science teaching (Magnusson et al., 1999). Chan und Hume (2019) stressed, however, that “a lack of shared terminologies about the PCK components and an inconsistent use of terms were apparent” (p. 45).

In an effort to overcome this divergence and develop a common understanding of science teachers' PCK, Carlson et al. (2019) introduced the Refined Consensus Model (RCM) of PCK which based on the initial 2012 Consensus Model by Gess-Newsome (2015). The RCM identifies different realms of PCK that are represented as concentric circles (Carlson et al., 2019). The outermost circle comprises several broader professional knowledge bases that are essential foundations for teaching such as teachers' CK. The

following circle represents collective PCK (cPCK) which is the public knowledge that is held by a group of science educators or teachers and that can be shared among that community. Personal PCK (pPCK) characterizes teachers' reservoir of knowledge and skill that a teacher can make use of during planning, teaching, and reflecting. Elements of teachers' pPCK that are utilized in the practice of planning, teaching, and reflecting on a specific lesson for specific students are identified as enacted PCK (ePCK). pPCK is connected to the other realms in a way that knowledge exchanges can occur over time (see e.g., Alonzo et al., 2019; Sorge, Stender et al., 2019). These knowledge exchanges are crucial for the development of a well-formed pPCK and can be amplified by factors like teaching experience and teachers' beliefs.

7.2.2. Development of Science Teachers' pPCK

In order to come to a description of science teachers' PCK development, Schneider und Plasman (2011) analyzed 91 articles published between 1986 and 2010 and described teachers' PCK development in each of the five components proposed by Magnusson et al. (1999). As a result, they were able to characterize typical learning progressions in science teachers' PCK along with their professional career (pre-service, new, some experience, much experience, and leader). For instance, teachers' progression in knowledge of strategies for assessing student thinking in science as a category of knowledge of students' assessment (Magnusson et al., 1999) can be characterized as follows:

“Assessments are traditional formats such as test at the end of a unit and assessments in science are the same as other subjects → Assessments include informal questioning to know what students are thinking → Assessments include a variety of strategies such as journal entries, portfolios, presentations (when taught and practiced) → Assessments require planning such as developing criteria and should be matched with specific science ideas” (Schneider & Plasman, 2011, S. 554).

Overall, along teachers' professional career from pre-service to leader, they move along a trajectory toward more sophisticated thinking: “teacher thinking appears to progress first to thinking about learners, then to thinking about teaching, and finally to building a repertoire” (Schneider & Plasman, 2011, S. 555). Overall, teachers' PCK progressions by Schneider und Plasman (2011) propose a useful framework to model patterns in how teachers' PCK develops along their whole professional career. However, their model did not describe teachers' pPCK progression at several points during their pre-service stage (i.e., during their university teacher education) – although this stage is of crucial importance for pPCK development (e.g., Kleickmann et al., 2013). For example, various studies highlighted the number of university-based PCK courses as a significant predictor for pre-service teachers' PCK (Großschedl et al., 2015; Kleickmann et al., 2013; Sorge, Kröger et

al., 2019).

Existing instruments measure pre-service teachers' PCK on a quantitative basis often provide only raw achievement scales (see e.g., Krauss et al., 2013; Jüttner et al., 2013; Sorge, Kröger et al., 2019). These achievement scales can be used to interpret test scores on a group level and offer meaningful group comparisons (see e.g., Lok et al., 2016). However, raw test scores do not feature information about the actual knowledge associated with different scores, thus, provide only limited insight into what pre-service teachers really know. In order to assess and evaluate pre-service teachers' proficiency in a meaningful manner, criteria-based descriptions of these raw scores are required (Hartig et al., 2012). But it is not possible to describe individuals' proficiency at every scale point along the proficiency continuum (Beaton & Allen, 1992). For this purpose, it is useful to divide the continuous proficiency scale into discrete levels of proficiency (OECD, 2017) which separate individuals in a way that a person on a higher level is substantively more proficient than one on a lower (Woitkowski, 2020). These discrete proficiency levels provide then descriptions about the actual knowledge associated with different scale locations (Mullis & Fishbein, 2020) and, thus, allow to interpret an otherwise abstract numerical achievement scale (James & Rossiter, 2018). For pre-service physics teachers' pPCK, we concluded in an initial study (see Schiering et al., 2019) that pre-service physics teachers' pPCK at lower levels can mostly refer to factual knowledge like knowing about possibly misconceptions. Higher levels of pre-service physics teachers' pPCK were associated with reflective skills like evaluating instructional strategies (Schiering et al., 2019). However, this study was based on a sample of only 200 pre-service physics teachers and with limited evidence on the validity of pPCK levels to properly describe proficiency levels. One possible way to gather evidence on the validity of a proficiency model is to investigate the relationship between the pPCK levels and impacting factors identified by the RCM such as pre-service teachers' CK, their teaching experience, and their beliefs about teaching and learning (Carlson et al., 2019).

7.2.2.1. Factors Predicting Science Teachers' pPCK

CK has been identified as a foundational part of teachers' professional knowledge overall (Fischer et al., 2012; Nixon et al., 2017). For instance, Kind (2009) pointed out that teachers with a limited CK demonstrate limited PCK as well as that they "tend to resort more passive and less active instructional strategies and show less understanding of students' learning difficulties related to the science" (Kind, 2009, S. 191). Hence, CK is assumed to determine the capability of adapting content for teaching purposes and thus serves as a baseline for developing PCK (see also Großschedl et al., 2015; Kaya, 2009; Rollnick, 2017).

In addition to the knowledge exchanges with broader professional knowledge bases such as CK, the RCM also highlights the interaction between teachers' ePCK and pPCK through teaching experience. This knowledge exchange "happens primarily through reflection in, or on, a science teaching episode as intuition and experiences become part of

future knowledge” (Alonzo et al., 2019, S. 275). Thus, teaching experience during teacher education is assumed to be a vital learning environment for the PCK development (Grossman, 1990). Lee et al. (2007), for example, highlighted the difference of PCK between beginning and experienced science teachers and concluded that a PCK development may be also a result of teaching experience (see also de Jong et al., 2005). Moreover, Friedrichsen et al. (2009) showed that teaching experience can result in a more complex connection between the different components of PCK (see also Park & Chen, 2012). However, teaching experience alone is not sufficient for a PCK development. For example, van Driel et al. (2002) reported that teachers’ CK may have impacted their PCK development during teaching experience. Also, Zembal-Saul et al. (2002) observed that teaching experience alone may not yield PCK development if teacher education does not feature opportunities for thoughtful reflection (see also Nilsson, 2008; Park & Oliver, 2008; Zeichner & Conklin, 2008). In addition, Friedrichsen et al. (2009) highlighted that the development of PCK during teaching experience is also inflicted by teachers’ beliefs about teaching and learning.

Teachers’ beliefs about teaching and learning science can be characterized as “teachers’ implicit assumptions about students, learning, classrooms, and the subject matter to be taught” (Kagan, 1992, S. 66; see also Pajares, 1992 for a detailed discussion on teachers’ beliefs). Two broad categories for these beliefs about teaching and learning science are often differentiated (Fives et al., 2014; see also Bunting, 1985). At the one end of the spectrum, teachers’ beliefs reflect a rather teacher-centered approach (also called “transmissionist”; Teo et al., 2008). Teachers holding these beliefs value directive teaching as they view teachers as information givers (see Bunting, 1985). At the other end of the spectrum, teachers’ beliefs can be characterized as student-centered (also called “constructivist”; Teo et al., 2008), emphasizing the importance of students’ direct and active involvement in their own learning. Brown et al. (2017) found that pre-service biology teachers entered the teacher education program with robust views of teaching as telling (i.e., teacher-centered beliefs). However, Al-Amoush et al. (2013) showed that even pre-service chemistry teachers can hold student-centered beliefs expressed by high levels of students’ autonomous and self-directed activities. Moreover, a change in their beliefs played a crucial role for pre-service teachers’ PCK development since more student-centered beliefs corresponds to a richer PCK (see also Anderson, 2015; Mavhunga & Rollnick, 2016). Further, Luft (2009) highlighted that teachers with student-centered beliefs showed higher gains in their PCK.

In sum, pre-service physics teachers’ PCK development is influenced by different factors like their CK, teaching experiences, and beliefs about teaching and learning science. To date, however, the mechanisms that underpin how these factors promote transitions into higher proficiency levels in PCK are not fully understood.

7.3. Research Questions

Teachers' PCK is of utmost importance for classroom actions and subsequently student learning (e.g., Baumert et al., 2010; Keller et al., 2017). Thus, providing a basis for its systematic development in pre-service teacher education appears to be particularly relevant. In order to assess and evaluate pre-service physics teachers' PCK progression during teacher education, proficiency levels are one powerful source, as they characterize what learners on a level are likely to be able to know (Beaton & Allen, 1992; Koeppen et al., 2008). As a consequence, such proficiency levels would enable feedback (to the instructors as well as the pre-service teachers themselves) regarding the current knowledge structure and deficits and would allow to understand how different factors can be beneficial for proficiency in pPCK.

The RCM of PCK (Carlson et al., 2019) identified different important factors for an adequate pPCK development: teachers' CK, teaching experience, and beliefs. These factors all have been proven to be vital for PCK development in general (e.g., Rollnick, 2017; de Jong et al., 2005; Brown et al., 2017). Yet, other studies have raised the question of whether, for example, fruitful teaching experience needs a preparation university teacher education must lay in advance (Brouwer & Korthagen, 2005; Zeichner & Conklin, 2008). Thus, it remains unclear if these previously identified factors can be helpful at all times throughout pre-service physics teachers' progression in pPCK. This paper, therefore, investigates the following two research questions:

- (1) Which proficiency levels can be identified in pre-service physics teachers' PCK?
- (2) How are pre-service physics teachers' CK, teaching experience, and their beliefs about teaching and learning science associated with higher proficiency in their PCK?

7.4. Methods

7.4.1. Research Context

To address our research questions, we used data from two consecutive studies. The first study was a cross-sectional study of pre-service teachers' professional knowledge and part of the project "Measuring the professional knowledge of preservice mathematics and science teachers' project" (German acronym: KiL). The second study was part of the project "The Development of Professional Competence in Pre-Service Mathematics and Science Teacher Education" (German acronym: KeiLa) and examined pre-service teachers' professional knowledge development during university teacher education longitudinally.

Pre-service teacher education in Germany takes place in universities and includes typically academic studies of two subjects (e.g., physics), corresponding subject education (e.g., physics education), and general education and psychology (Neumann et al., 2017). In

general, university teacher education is organized in two phases – a three-year Bachelor and a two-year Master of Education program, where pre-service teachers require the necessary CK and PCK to enter the following induction phase.

7.4.2. Sample

Data from the first study comprised of $N = 200$ (41% female) pre-service physics teachers from 12 universities in Germany. The average years of enrollment were 2.85 ($SD = 1.31$). Data from the second study comprised $N = 122$ (44% female) pre-service physics teachers from 20 universities in Germany with 2.81 ($SD = 1.34$) years of enrollment on average. Since data from the second study was derived from a longitudinal study, we treated potentially longitudinal participation as multiple independent measurements. Thus, we utilized $N = 227$ observations of the 122 participants. Both samples did not differ regarding their gender ($F(1,425) = 0.42, p = .52$) nor GPA ($F(1,422) = 1.00, p = .32$). Therefore, we merged both samples. The final data set included data from $N = 427$ (42% female) pre-service physics teachers from 22 different universities (see Figure 7.1).

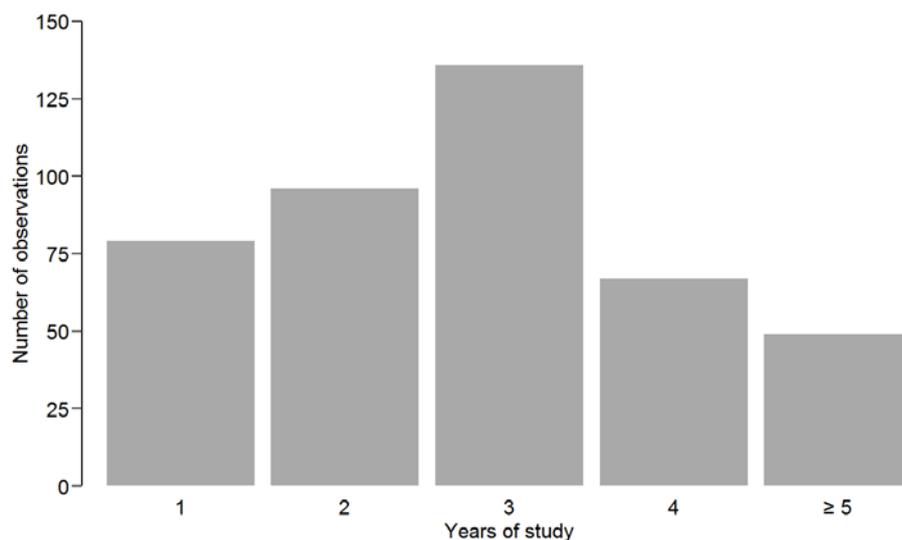


Figure 7.1 Distribution of the final data set. The bar plot shows the number of observations per year of study.

7.4.3. Instruments

The survey comprises a paper–pencil test measuring pre-service physics teachers’ pPCK and CK as well as a questionnaire about their sociodemographic characteristics, teaching experience and beliefs about teaching and learning science.

7.4.3.1. Pre-Service Physics Teachers’ pPCK

Participants’ pPCK was assessed using a paper–pencil test developed and tested in the project KiL. The development of the test instruments included a pilot study, expert reviews, and guided interviews to provide information about substantive validity (for details see Sorge, Kröger et al., 2019). For pre-service physics teachers’ pPCK measurement, 39 items were used covering the core components knowledge of students’ understanding of science,

instructional strategies, curriculum, and students' assessment (Magnusson et al., 1999) in different content areas. The pPCK test comprises 15 multiple-choice items, 18 open-ended items, 3 matching items, 2 true-false-items, and 1 short-answer. Figure 7.2a shows one sample pPCK open-ended item (Appendix 2 features the coding scheme and possible answers of this pPCK item).

7.4.3.2. Pre-Service Physics Teachers' CK

Participants' CK was assessed using a paper–pencil test developed and tested in the project KiL. Similar to the pPCK test mentioned above, prior analyses provided information about the substantive validity of the instrument (e.g. measurement invariance across teacher education, convergent validity; for details, see Sorge, Kröger et al., 2019). For CK measurement, rotated booklets were established with each booklet consisted of 40 anchor items and 18 to 20 additional CK items. All booklets covered the different content areas mechanics, electricity, optics, thermodynamics, solid-state physics, atomic and nuclear physics, relativity, and quantum mechanics. Those different content areas are in line with the standards for teacher education in Germany (KMK, 2019) and the curricula from the different universities. The 40 core items appeared as multiple-choice items (33 items), open-ended items (4 items), matching items (2 items), and true-false-items (1 item). Figure 7.2b shows one sample CK multiple-choice item.

7.4.3.3. Pre-Service Physics Teachers' Teaching Experience and Beliefs

In addition to the assessment instruments for participants' pPCK and CK, we administered a questionnaire to gain more insights into the demographic background of the participants such as gender and their year of study as well their teaching experience and beliefs about teaching and learning. Whether participants have prior teaching experience, the test featured the question “*Have you already had experiences with own teaching (e.g., during internships)?*”, with two possible answers (0: “no”, 1: “yes”).

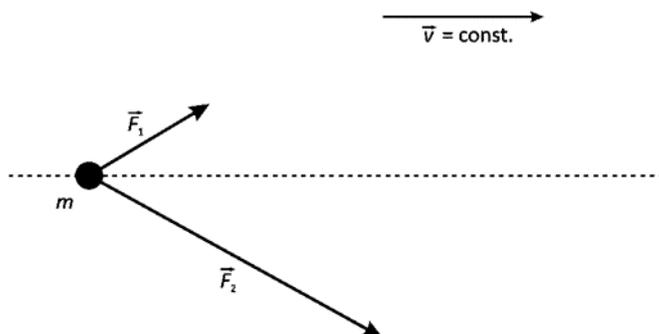
Participants' beliefs about teaching and learning science were assessed using 12 items on a four-point Likert scale (1: “strongly disagree” to 4: “strongly agree”) adapted from “The Questionnaire of Four Teachers' Beliefs” (Q4TB) from Schlichter (2012). 6 items were aligned with student-centered beliefs (sample item: “For me, teaching means to encourage students to solve a problem on their own.”) whereas the remaining 6 items were aligned with teacher-centered beliefs (sample item: “For me, teaching means to give lectures on content so that students are able to learn it”). Cronbach's α indicated acceptable reliabilities for student-centered beliefs ($\alpha = .69$) and teacher-centered beliefs ($\alpha = .73$).

7.4.4. Data Analysis

Our data analysis comprised three steps. First, pPCK and CK achievement scores of the two samples were placed on a common scale using Rasch Analysis. Second, participants' pPCK abilities and pPCK item difficulties (both deriving from the Rasch analysis) were

- A) Students often struggle in correctly applying Newton's laws to solve concrete problems.

Consider the following situation: A small object with mass m moves without friction and constant velocity \vec{v} to the right. There are three forces action on the body, two are shown in the figure below. You ask your students to draw the third force.



What physically incorrect answer would you expect? Draw your answer and briefly describe, based on which (incorrect) conception a student could have come to this answer.

- B) Which of the following formulas applies to the magnitude of the gravitational force F between two objects given their masses m_1 and m_2 , and the distance r between them? G represents the gravitational constant.

$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$

$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$

$F = \frac{1}{4\pi G} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r}$

$F = \frac{1}{4\pi G} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$

Figure 7.2 Sample multiple-choice items. A) shows a sample pPCK item. Appendix 2 features the coding scheme and possible answers of this pPCK item. B) shows a sample CK item.

used to construct proficiency levels in participants' pPCK. Finally, participants' proficiency levels were predicted by using their CK ability, teaching experience and beliefs about teaching and learning.

7.4.4.1. Rasch Analysis of pPCK and CK

To identify proficiency levels in pre-service physics teachers' pPCK, participants' pPCK abilities and pPCK items difficulties are required. Furthermore, since we used rotated booklets for CK measurement, we need to place all items responses on a common scale. Therefore, we calibrated participants' pPCK and CK test scores according to the Rasch model (Rasch, 1960) using the R package *TAM* (Robitzsch et al., 2019). The pPCK and CK

tests were submitted separately to a concurrent calibration (von Davier & von Davier, 2011). For the CK test, 8 items showed insufficient infit outside of 0.8 to 1.2 (Bond & Fox, 2007) and were excluded. The remaining items showed a good EAP reliability of .87. For the pPCK test, no items needed to be excluded due to insufficient infit. The pPCK test showed a good EAP reliability of .72.

7.4.4.2. Construction of Proficiency Levels

The main challenge in the construction of proficiency levels is to divide a continuous scale (i.e., pPCK abilities deriving from the Rasch analysis) into discrete levels. Literature has proposed different ways for transforming continuous scales into discrete levels of proficiency: the bookmark procedure, the regression approach, and the scale anchoring procedure (for an overview see Woitkowski, 2020). Whereas the bookmark procedure requires experts' rating of item difficulties (Mitzel et al., 2001), the regression approach is based on an a priori model of item difficulties (Woitkowski, 2020). However, for PCK, no established theoretical model of which item characteristics create a particular item difficulty exists. Moreover, the bookmark procedure heavily relies on experts' judgments which pose great requirements and can result in a lack of objectivity (Clauser et al., 2017; Karantonis & Sireci, 2006).

The scale anchoring procedure (Beaton & Allen, 1992), used for example for TIMSS (Mullis et al., 2016; Mullis & Fishbein, 2020), can overcome the aforementioned limitations since this procedure only relies on participants' data. In order to define level thresholds, the scale anchoring procedure has four steps (Mullis & Fishbein, 2020): (1) forming groups of participants with comparable abilities, (2) determining the groupwise proportion of participants who answered items correctly, (3) forming sets of items that most participants at a group answered correctly, but a majority of participant at a lower group did not, (4) computing the average item difficulties of each set of items which defines, finally, the level thresholds. In order to interpret these numerical thresholds, items close to thresholds can be used to characterize knowledge that is required for a correct answer (Hartig et al., 2012). In this way, each threshold can be associated with an underlying knowledge.

Forming Groups of Participants. First, participants' pPCK abilities were transformed into a practicable scale reaching from 300 to 700 points ($M = 514.08$, $SD = 75.89$). We defined three ranges (400 – 450, 500 – 550, and 600 – 650) along with this scale corresponding to groups 1, 2, and 3, respectively. These ranges were defined so that the resulting three groups each represent a sizeable subsample, but at the same time are also small enough to ensure a homogeneous (within groups) and distinguishable (across groups) set of abilities (Mullis & Fishbein, 2020).

Determining the Groupwise Proportion of Correct Answers. After defining different groups of participants, we calculated the groupwise percentage of participants that answered each item correctly. For example, the sample pPCK item (see Figure 7.2a) was answered correctly by 48% of participants within group 1, 70% of participants within group 2, and 79% of participants within group 3. For partial-credit items, we calculated percentages of participants who received at least one point, at least two points, and so forth, up to maximum score (Mullis & Fishbein, 2020). In other words: partial-credit items with a maximum score of n were treated as n dichotomous items. Accordingly, in the following, 56 (instead of 39) pPCK items were analyzed.

Forming Sets of Items. Based on the groupwise percentages of correct answers, the items were grouped into different sets. The criteria used to group items according to their percentages of correct answers adapted from Mullis und Fishbein (2020) is:

- An item belongs to set 1 if at least 55% of participants of group 1 answered this item correctly.
- An item belongs to set 2 if at least 55% of participants of group 2 and less than 50% of participants of group 1 answered this item correctly.
- An item belongs to set 3 if at least 55% of participants of group 3 and less than 50% of participants of group 2 answered this item correctly.
- An item belongs to set 3+ if less than 50% of participants of group 3 answered this item correctly.

For example, the sample pPCK item displayed in Figure 7.2a is part of item set 2. Since the last set comprises items that were unlikely to be solved even by the high-ability group 3, we characterized this set of items as 3+ (instead of set 4). In this way, we emphasized that we were not able to differentiate this set of items in more detail.

Computing the Average Item Difficulties and Characterizing Levels. Finally, we computed the average item difficulty of each of the four sets. These average item difficulties then define the thresholds of four corresponding proficiency levels in participants' pPCK (see e.g., Hartig et al., 2012; Woitkowski, 2020). In order to ensure that all level thresholds are sufficiently different, following Woitkowski (2020), we performed two checks. First, we evaluated that all four sets of items are significantly different. Second, we examined whether a person on level i (i.e., a person with ability equal to the threshold of level i) solves a typical item of level $i+1$ (i.e., an item with the difficulty equal to the threshold of level $i+1$) with a probability of no more than 30% (Woitkowski, 2020; see also Beaton & Allen, 1992). After confirming both checks were successful, the content of items close to these thresholds (here defined as within half a standard deviation of the average item difficulty) provide a meaningful description of pre-service physics teachers' proficiency levels (Hartig et al., 2012).

7.4.4.3. Examining Factors Associated with Higher Proficiency Levels

In order to answer our second research question of how pre-service physics teachers' CK, teaching experiences, and beliefs can promote higher proficiency levels, we ran multiple logistic regression models using the *R* package *VGAM* (Yee, 2010). For these analyses, we drew on complete data from $N = 419$ (out of 427) observations due to missing values in participants' responses concerning their beliefs (4 missing values) and teaching experience (4 missing values). We regressed participants' pPCK proficiency level on their CK, teaching experience, and their teacher- as well as student-centered beliefs while adjusted for participants' current year of study. We used the adjacent category logistic model (Agresti, 2013) which predicts the decision between two adjacent proficiency levels i and $i+1$. In other words, the adjacent category logistic model compare participants' probability of being at a certain proficiency level to the probability of being at the next higher level (Bürkner & Vuorre, 2019). Prior to fitting the model, it is important to check whether all regression coefficients are invariant to the outcome level, meaning that the coefficients are the same for each level (proportional odds assumption). For adjacent category logistic models, the test of this assumption can be performed with the likelihood ratio test between a proportional odds model and a non-proportional odds model (Dolgun & Saracbası, 2014). Further, we analyzed the model fit based on McFaddens R^2 (McFadden, 1979) with values between 0.20 to 0.40 "represent an excellent fit" (McFadden, 1979, S. 307).

7.5. Results

In order to answer the first research question, we first calculated level thresholds in pPCK by performing the four steps of the scale anchoring procedure mentioned above (Mullis & Fishbein, 2020). After calculating the level thresholds, we characterized these levels by describing items close to level thresholds. With regard to the second research question, we finally examined how participants' CK, teaching experience and beliefs about teaching and learning are associated with participants' proficiency in pPCK.

7.5.1. Calculating Levels Thresholds in Participants' pPCK

We were able to utilize a sample of 214 pre-service teachers across three groups as a first step in calculating the level thresholds (see Table 7.1). There were significant differences in the pPCK abilities between all three groups of participants ($F(2,211) = 2188, p < .001$). Post-hoc comparisons using the Tukey HSD test further indicated that all groupwise mean scores of participants' abilities differ significantly (see Table 7.1), ensuring that the chosen groups of participants represent different levels of pPCK. After step 2, determining the groupwise proportion of participants who answered items correctly, we formed sets of items based on the criteria presented above (step 3). In total, 14 items correspond to set 1, 10 items correspond to set 2, 7 items correspond to set 3, and 17 items correspond to set 3+. The resulting level thresholds that are the average item difficulty for each of the item sets (step 4) are given in Table 7.2.

Table 7.1 Description of the three groups of participants.

Group	Range of ability	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	Difference and p-value
1	400 – 450	60	431	14.40	94.00, $p < .001$
2	500 – 550	112	525	13.57	
3	600 – 650	42	618.17	15.44	93.17, $p < .001$

Given the thresholds for each item set, it is important to check whether levels significantly differ from each other so that they characterize distinct levels of proficiency (Woitkowski, 2020). First, there were general significant differences between the four sets of items ($F(3,44) = 58.59, p < .001$). Tukey HSD test indicated significant differences between all sets of items (see Table 2). Second, using the Rasch model equation (see e.g., von Davier, 2016), we were able to confirm that a person on level i solves a typical item of level $i+1$ with a probability of no more than 30% (see Table 7.2). Therefore, all sets of items do not overlap and their thresholds are significantly different.

Table 7.2 Description of the four sets of items.

Set of items	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	Difference and p-value	Probability to solve typical item
1	14	-1.32	0.61	0.88, $p = .007$.292
2	10	-0.44	0.20		
3	7	0.45	0.14	1.10, $p = .002$.250
4	17	1.55	0.85		

The right side of Figure 7.3 shows all pPCK items ordered by their difficulty and colored according to their set, the vertical lines represent the level thresholds. Since in the Rasch model item difficulties and person abilities are on a common scale (e.g., Bond & Fox, 2007; Planinic et al., 2019), we were able to transfer level thresholds for items to level thresholds for person abilities. Thus, the left side of Figure 7.3 shows the distribution of participants' pPCK abilities, colored according to the four level thresholds. The majority of participants can be located at level 2 (57%), the percentage of participants on level 1 and 3 are smaller but comparable (Level 1: 19%, Level 3: 22%). A small percentage of participants (0.02%) also had a pPCK lower than level 1 (Level <1) and no participant had a pPCK higher than level 3.

7.5.2. Characterizing Proficiency Levels in Participants' pPCK

To provide a description of pre-service physics teachers' proficiency levels in pPCK, we analyzed the content of items that are within half of the standard deviation of a level threshold. Table 7.3 features an overview of the characterization of pre-service physics

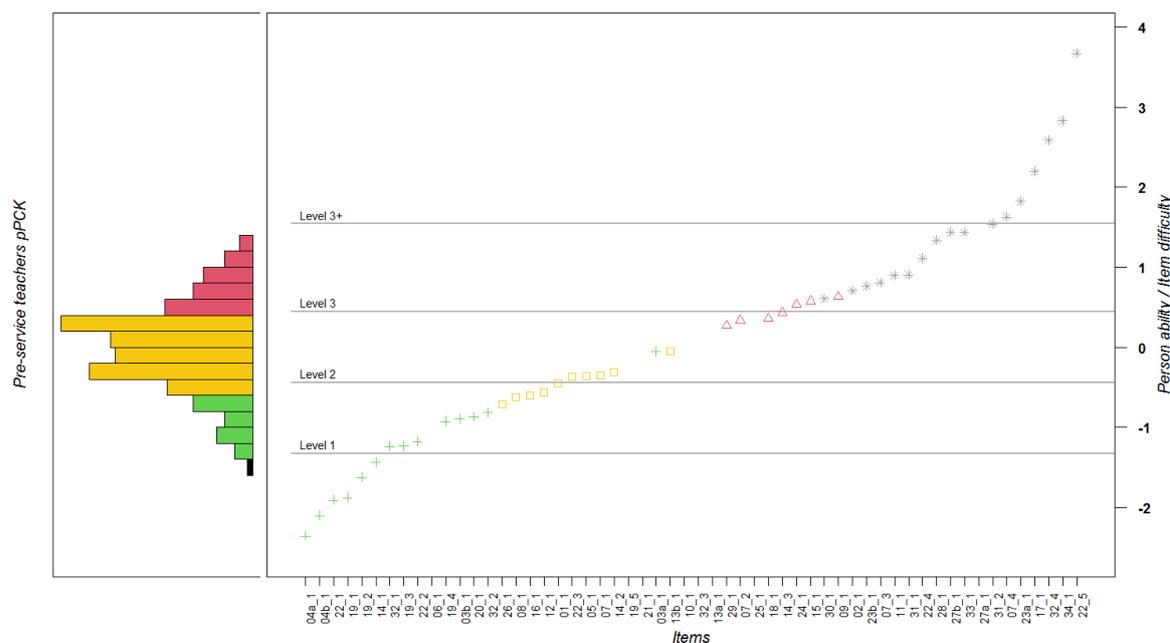


Figure 7.3 Wright-Map for pPCK with level limits. The colors green (cross), yellow (square), red (triangle) and grey (star) represent the level thresholds 1, 2, 3 and 3+. The black colored pre-service teachers are below level 1

teachers' proficiency levels. Concerning the different components of PCK (Magnusson et al., 1999), participants' knowledge of students' understanding, instructional strategies, and curriculum was part of almost all levels, whereas the knowledge of students' assessment is characteristic only for higher proficiency levels (i.e., level 3 and 3+). More specifically, on level 1, pre-service physics teachers' pPCK was rather content unspecific. For example, their knowledge comprised characteristics of inquiry-based teaching or scientific models. On level 2, participants were able to plan specific experiments as well as know common misconceptions about electricity. On level 3, pre-service physics teachers' pPCK comprised knowledge of planning specific units according to the spiral approach. In addition, participants were able to evaluate specific multiple-choice tasks measuring students' knowledge. Finally, having level 3+ enabled pre-service teachers to identify sources of misconceptions and to plan instructions for conceptual change. Furthermore, pre-service physics teachers were able to justify extra-curricular activities and evaluate the validity of class tests. Overall, lower proficiency levels can be characterized as rather content unspecific and containing factual knowledge, whereas higher proficiency levels encompassed more content-specific strategies to plan and evaluate lessons.

7.5.3. Factors Associated with Higher Levels in pPCK

Table 7.4 presents the correlations of the study variables. The majority of participants (81%) already had teaching experience during their university teacher education. Furthermore, participants rated items concerning student-centered beliefs relatively high ($M = 3.29$ on a four-point Likert-type scale), whereas items concerning teacher-centered beliefs were rated slightly lower ($M = 2.85$). Student-centered beliefs did not correlate

Table 7.3 Characterization of pre-service physics teachers' proficiency levels.

Level	Knowledge of students' understanding of science
1	Pre-service teachers differ in their characterization of scientific models from students' common understanding as they characterize a scientific model not as right or wrong but as suitable for a phenomenon's explanation. (Item 32_1)
	Knowledge of instructional strategies
	Pre-service teachers know typical characteristics of inquiry-based teaching. (Item 14_1)
	Knowledge of curriculum
	Pre-service teachers can value the role of history of science for physics classes. (Items 19_2, 19_3)
	Pre-service teachers are able to differentiate between two of the three achievement levels for task (reproducing, applying, transferring). (Item 22_2)
Level	Knowledge of students' understanding of science
2	Pre-service teachers know typical and atypical students' misconceptions in electromagnetism. (Item 01_1)
	Pre-service teachers are able to plan simple experiments to demonstrate that human skin does not measure temperature. (Item 05_1)
	Pre-service teachers are able to foster students' understanding of scientific methods through experiments. (Item 07_1)
	Knowledge of curriculum
	Pre-service teachers are able to differentiate between all three achievement levels for task (reproducing, applying, transferring). (Item 22_3)
Level	Knowledge of instructional strategies
3	Pre-service teachers know typical characteristics of different teaching methods (e.g., inquiry-based, context-based). (Item 14_3)
	Knowledge of curriculum
	Pre-service teachers are able to arrange topics (e.g., of electricity) according to the spiral approach. (Item 18_1)
	Knowledge of students' assessment
	Pre-service teachers are able to evaluate multiple-choice task with regard to the stem and distractors. (Item 24_1)
Level	Knowledge of students' understanding of science
3+	Pre-service teachers are able to identify possible sources of misconceptions deriving from scientific figures. (Item 31_1)
	Pre-service teachers can promote students' ideas about scientific experiments (e.g., gaining an understanding about nature of science) through experiments. (Item 07_4)
	Knowledge of instructional strategies
	Pre-service teachers are able to design instructions, based on students'

understanding, that help them to change their scientific concept. (Item 33_1)

Knowledge of curriculum

Pre-service teachers are able to justify extra-curricular activities in the light of students' learning. (Item 23a_1)

Knowledge of students' assessment

Pre-service teachers are able to define validity with regard to a physics test (Item 27b_1)

Pre-service teachers are able to identify aspects of students' competence that can be assessed through tasks (Item 28_1).

significantly with participants' level in pPCK ($r = .07, p = .17$), whereas all other study variables did. Furthermore, participants' pPCK level was significantly correlated with their year of study ($r = .32, p < .001$). Additionally, participants' year of study was significantly correlated with all other explanatory variables; the highest correlation could be found with participants' CK ($r = .47, p < .001$). Since the rule of thumb is that correlations greater than .8 can be problematic with regard to multicollinearity (Midi et al., 2010), it can be assumed that multicollinearity is neglectable.

Table 7.4 Descriptive statistics and correlations of study variables.

	<i>M</i>	<i>SD</i>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) Level in pPCK	1.99	0.70	—				
(2) Year of Study	2.83	1.33	.32***	—			
(3) CK	0.64	0.80	.51***	.47***	—		
(4) Teaching experience ^a	0.81	—	.28***	.38***	.26***	—	
(5) Teacher-centred beliefs	2.85	0.45	-.24***	-.17***	-.16***	-.11*	—
(6) Student-centred beliefs	3.29	0.42	.07	.10*	.01	.08	-.16**

Note. The mean and standard deviation of CK is not interpretable because it is located on an arbitrary scale.

^a Classroom experience is a dichotomous variable (0 = no and 1 = yes), therefore, *M* represents the percentage of participants with teaching experience. *** $p < .001$; ** $p < .01$; * $p < .05$

To analyze how participants' CK, teaching experience, and teacher- as well as student-centered beliefs are associated with higher levels in pPCK, we ran adjacent category logit models. A significant likelihood ratio test provided evidence that the proportional odds assumption is violated ($\chi^2(10) = 19.04, p = .040$). Thus, we computed a non-proportional odds model with varying coefficients (see Table 7.5). For that model, McFaddens R^2 was 0.19 which can be interpreted as at least sufficient.

Participants' CK was a substantial predictor of all transitions into the next higher proficiency level in pPCK. For example, adjusting on all other predictors, the estimated odds of being at level 2 instead of being at level 1 were $e^{1.08} \approx 3$ times higher for participants with a high (i.e., at one standard deviation above the mean) CK than with an average CK. Moreover, the impact of participants' CK on their pPCK level decreased for higher

transitions. The calculated chi-squared test statistics showed that the effect of CK on the first transition was significantly higher than for the last transition ($\chi^2(1, N = 419) = 5.80, p = .016$).

Teaching experience showed significant effects only for transitions between level 1 and 2 as well as level 2 and level 3 in pPCK. For example, the estimated odds of being at level 2 versus of being at level 1 were about twice (i.e., $e^{0.73}$) as high for participants who already had experiences with own teaching as for those who had not. Likewise, participants' teacher-centered beliefs were negatively associated only with the transition into the highest level of pPCK ($b = -0.37, p = .009$). In contrast, our model did not detect a positive relationship between participants' student-centered beliefs and their transition into higher levels in pPCK.

Table 7.5 Results of the non-proportional adjacent category model to predict pre-service physics teachers' pPCK level.

	Probability of					
	Level 1 vs. Level <1		Level 2 vs. Level 1		Level 3 vs. Level 2	
	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>b</i>	<i>p</i>
Intercept	6.94	.000***	1.15	.005**	-2.87	.000***
Year of study	-0.36	.427	-0.05	.731	0.18	.125
CK ^a	2.83	.002**	1.08	.000***	0.63	.000***
Teaching experience ^b	-0.47	.585	0.73	.024*	1.18	.037*
Teacher-centered beliefs ^a	-0.35	.386	-0.23	.122	-0.37	.009**
Student-centered beliefs ^a	-0.61	.188	0.25	.077	-0.16	.252
McFaddens R^2	0.19					

Note: Displayed are logits. ^a Values are standardized. ^b Teaching experience is a dichotomous variable (0 = no and 1 = yes). *** $p < .001$; ** $p < .01$; * $p < .05$

7.6. Discussion

Understanding pre-service physics teachers' progression in developing PCK is a key requirement to design teacher education programs that meet pre-service physics teachers' needs (Abell, 2008; Kind, 2009). Thus, there is a great demand not only in assessing pre-service teachers' PCK but also in qualitatively characterizing their actual proficiency in pPCK. For this purpose, proficiency levels are suited (Beaton & Allen, 1992; Lok et al., 2016). In this study, we were able to confirm the results of the initial study of Schiering et al. (2019) by more than double the number of pre-service teachers that serve as the foundation of the proficiency levels. Analyzing the items close to the level thresholds revealed that knowledge at lower proficiency levels can be characterized as remembering content unspecific and factual knowledge (e.g., knowing typically characteristics of

inquiry-based teaching), whereas pPCK at higher proficiency levels encompass more content-specific strategies to structure and elaborate lessons (e.g., being able to justify extra-curricular activities in the light of students' learning). Thus, our proficiency levels in pre-service teachers' pPCK are in line with the cognitive processes of memorizing, transforming, and elaborating that have been described in research of cognitive psychology (e.g., Gagné & White, 1978; Weinstein & Mayer, 1986; see also Bransford et al., 2000). As a consequence, our proficiency levels can delineate the pPCK by characterizing cognitive processes and give insights into pre-service physics teachers' progression toward expertise (see e.g., Bransford et al., 2000).

Moreover, elaborating skills in pre-service teachers' knowledge of curriculum and assessment such as justifying extra-curricular activities seems to require a comparatively high pPCK. Hence, it can be assumed that pre-service physics teachers are less familiar with the curriculum and assessment of student learning which is in line with the results reported by Schneider and Plasman (2011) for in-service teachers. The absence of knowledge about the assessment of students' learning on lower proficiency levels, thus, offers a perspective for additional learning opportunities in teacher education. In addition, participants' pPCK level was significantly correlated with their year of study ($r = .32$, $p < .001$), thus, it can be assumed that our characterization of levels in pPCK represents pre-service physics teachers' progression in pPCK during teacher education in a sufficient and robust way.

With regard to the transition into higher pPCK proficiency levels, our results showed that pre-service physics teachers' CK is fundamental. Every transition in pre-service physics teachers' proficiency level required a strong CK base. To that end our results are in line with those of previous studies which pinpointed the foundational role of CK in pre-service teachers' PCK development (e.g., Großschedl et al., 2015; Kaya, 2009; Rollnick, 2017; see also van Driel et al., 2014). Interestingly, our results suggest that the impact of CK decrease with higher levels meaning that transitions into higher levels of pPCK require additional factors such as teaching experience.

We were able to confirm the substantial influence of teaching experience on pre-service physics teachers' level in pPCK: participants who already had teaching experience were more likely to have higher levels in pPCK (e.g., Carlson et al., 2019; de Jong et al., 2005; Großschedl et al., 2015). This result is again in line with previous research that emphasized the importance of teaching experience for the PCK development in general (e.g., de Jong et al., 2005; Schneider & Plasman, 2011). However, literature has also highlighted that teaching experience needs especially thoughtful reflection to be effective (Nilsson, 2008). With these thoughtful reflection, pre-service teachers' teaching experience can contribute to their pPCK development. Our proficiency levels were able to detect these changes in pre-service teachers' PCK and, thus, allows us to evaluate how phases of reflection on instructional practice facilitates the growth of pPCK. Moreover, pre-service physics teachers with higher teacher-centered beliefs are less likely to have a high-level

pPCK. On the one hand, this result is in line with, for example, Brown et al. (2017) who showed that pre-service biology teachers' beliefs about teaching and learning take up a decisive position in their PCK development. On the other hand, we were not able to detect a connection between pPCK and student-centered beliefs, as reported by Mavhunga and Rollnick (2016) for instance. One possible explanation for this result may be the fact that student-centered beliefs are relatively high in our sample ($M = 3.29$, $SD = 0.42$ on a four-point Likert-scale). Rienties et al. (2013), for example, detected similar high student-centered beliefs for in-service science teachers joining their online training program which might be the result of a ceiling effect (see also Maass & Engeln, 2018). Another possible explanation for the missing effect of student-centered beliefs might be the test instrument used in our study. Since teachers' beliefs are a manifold construct that cannot be represented as a single entity (Friedrichsen & Dana, 2005), we only assessed specific aspects of beliefs about teaching and learning science. Our results, therefore, need to be replicated by other studies using alternative data collection techniques. For example, studies like these of Brown et al. (2017), Luft (2009), and Mavhunga and Rollnick (2016) used interviews in order to capture teachers' individual beliefs in-depth. In this way, future research can determine the role of student-centered beliefs for proficiency in pPCK in more detail.

The result that teaching experience and (adequate) beliefs about teaching and learning are only significant for high-level transitions may be due to the importance of a fundamental knowledge: both, teaching experience and pre-service teachers' beliefs, need an adequate preparation of participants (i.e., in terms of their CK and pPCK) in order to be effective for pre-service teachers' knowledge development. Concerning this preparation, Brouwer and Korthagen (2005) discussed different approaches of teacher education programs: practice-to-theory vs. theory-to-practice. The practice-to-theory approach relies on the idea of having teaching experience in advance and theorizing their experiences afterward. In turn, in the theory-to-practice approach teacher education provide formal learning opportunities in advance to prepare pre-service teachers for their teaching experiences (Brouwer & Korthagen, 2005). Based on our results, teacher education should feature the theory-to-practice approach to ensure the fruitfulness of teaching experiences (cf. Korthagen, 2010). Thus, the significant influence of teaching experience and teacher-centered beliefs in our results go beyond existing research since we were able to reveal how these factors influence pre-service teachers' pPCK development during teacher education.

7.6.1. Limitations

Some limitations need to be considered with regard to our findings. First, the scale anchoring procedure requires to form different groups of participants in the sample. The definition of these groups and their range of abilities was somewhat arbitrary since there is no one-fits-all solution. However, we were able to identify groups of participants that on the one hand provide an adequate sample size and on the other hand are small enough to be

homogeneous and distinguishable concerning their pPCK. Both are the basis for a reliable scale anchoring procedure (see e.g., Beaton & Allen, 1992; Woitkowski, 2020). Second, the same limitation applies to our definition of items that are *close to* a level threshold as being within half a standard deviation of the threshold, for which there is also no established rule in the literature. Third, it is important to bear in mind that the level characterization of each PCK component was based on a rather small set of items. This is due to the fact that only a limited number of items per PCK component were within a half of standard deviation of the average item difficulty. It is likely that our level characterization covers only a part of the actual proficiency in PCK components. Thus, our proficiency levels should be understood as an excerpt from a (more comprehensive) characterization of pre-service physics teachers' proficiency in pPCK. To develop a full picture of pre-service teachers' proficiency in their pPCK components, studies need to utilize more items for specific PCK components. Third, 65 of the 427 participants attended more than one measurement of their CK, pPCK, teaching experience, and beliefs. However, we treated these longitudinal participations as independent observations. Logistic regression with a dataset that contains only one (random) measurement per participant showed that the direction of effects remains similar. Only the significance of effects decreases due to the smaller sample size. Hence, the potential bias of dependent observation seems to be negligible. Lastly, it is important to keep in mind that we did not measure the actual extent or quality of teaching experience but asked participants only to indicate whether they have had ever experiences with own teaching. Thus, we likely underestimated the impact of teaching experience and future research could also determine how much teaching experience is necessary to promote transitions into high-level pPCK.

7.7. Conclusions

Our study provides a new insights into proficiency levels in pre-service physics teachers' progression developing PCK. The proficiency levels we identified allow an assessment and interpretation of knowledge and, therefore, go beyond qualitative descriptions of pre-service teachers' pPCK. These results offer a framework for the development of pre-service teachers' PCK during teacher education. In addition, our study identified key factors for pre-service physics teachers' pPCK proficiency. On the one hand, these results can be interpreted as validity evidence for our proficiency levels. Since pre-service teachers' CK, teaching experience, and beliefs about teaching and learning science were related to their level in pPCK, our proficiency levels are in line with the RCM of PCK (Carlson et al., 2019). On the other hand, these results stress that teacher education must be perceived in its entirety. Since pre-service teachers develop pPCK through their own experiences (i.e., are not knowledge receivers but knowledge producers; Park & Oliver, 2008), it is not enough to solely provide PCK courses in teacher education. Especially the reduction of pre-service teachers' teacher-centered views requires special learning opportunities as teacher education can generally be perceived as a "weak intervention" (Richardson, 1996,

STUDIE 4

p. 113; see also Koballa et al., 2005; Lemberger et al., 1999). Therefore, teacher education needs to support pre-service teachers in their development of various individual characteristics like their beliefs and the exchange between ePCK and pPCK (Nordine et al., 2021). For example, Brouwer and Korthagen (2005) suggested “that moving back and forth between action and reflection collaboratively enabled them [pre-service teachers] to achieve mounting levels of competence” (p. 214). In this manner, teacher education should foster pre-service teachers’ transition into higher pPCK and, consequently, improving teachers’ future actions in classrooms and, finally, student learning.

GESAMTDISKUSSION UND IMPLIKATIONEN

8.1. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Learning to teach science is not about acquiring a bag of tricks based on a set of general pedagogical strategies, it is about developing a complex and contextualised set of knowledge to apply to specific problems of practice. (Abell, 2008, S. 1414)

Dieses Zitat von Abell (2008) in ihrem Artikel *Twenty Years Later: Does Pedagogical Content Knowledge Remain a Useful Idea?* charakterisiert zutreffend die Herausforderungen, denen sich angehende Physiklehrkräfte in ihrer Ausbildung stellen müssen. Da Lehrkräfte im Rahmen ihrer Tätigkeiten mit komplexen Anforderungen konfrontiert sind (siehe z.B. Herzog & Makarova, 2014), müssen angehende Lehrkräfte eine elaborierte und strukturierte professionelle Kompetenz entwickeln, um diesen Anforderungen erfolgreich begegnen zu können (Baumert & Kunter, 2006). Den Kern dieser professionellen Kompetenz stellt das Professionswissen dar, welches sich in die beiden fachspezifischen Wissensbereiche Fachwissen (CK) und fachdidaktisches Wissen (PCK) unterscheiden lässt (z.B. Riese et al., 2015). Hinsichtlich beider Wissensbereiche kann die Forschung auf umfangreiche Evidenzen zurückblicken, die einerseits den Einfluss von CK und PCK auf den Prozess der Planung und Reflexion von Unterricht belegen (z.B. Krepf et al., 2018; Kulgemeyer & Riese, 2018; Rollnick, 2017) und zum anderen zeigen, dass CK und PCK für Unterrichtsqualität und Lernen der Schüler*innen bedeutsam sind (z.B. Baumert et al., 2010; Keller et al., 2017; Sadler et al., 2013). Gegeben dieser Wichtigkeit beider Wissensbereiche ist die Entwicklung von CK und PCK zentrales Anliegen der universitären Lehramtsausbildung, der eine zentrale Rolle in der Ausbildung professioneller Kompetenz zugeschrieben wird (z.B. Riese et al., 2017; Kleickmann et al., 2013; siehe auch Grossman, 1990). Zur optimalen Gestaltung der universitären Lehramtsausbildung ist es daher notwendig, relevante Determinanten der Entwicklung des Professionswissens angehender Lehrkräfte zu identifizieren (van Driel et al., 2014). Ziel dieser Arbeit war es aus diesem Grund, Aufschluss über die Entwicklung des CK und PCK angehender Physiklehrkräfte im Verlauf ihrer universitären Lehramtsausbildung zu geben sowie Determinanten dieser Entwicklung zu ermitteln.

Um sich der Entwicklung des CK und PCK angehender Physiklehrkräfte zu nähern, wurden zunächst die in Deutschland vorherrschenden Studienstrukturen innerhalb der universitären Physik-Lehramtsausbildung analysiert (Studie 1). Dabei konnte gezeigt werden, dass die Physik-Lehramtsausbildung in Deutschland durch eine große Heterogenität gekennzeichnet ist, was die Ergebnisse von Bauer et al. (2012) und Keuffer (2010) bestätigt. Während sich bei der Mehrheit der untersuchten Studiengänge zeigte, dass die fachliche

Ausbildung umfangreich und weitestgehend einheitlich verläuft, unterliegt die fachdidaktische Ausbildung in der ersten Hälfte der universitären Lehramtsausbildung einer hohen Variation. Tatsächlich wiesen einige Studiengänge keinerlei fachdidaktische Veranstaltungen innerhalb der ersten sechs Semester auf, was hinsichtlich der PCK Entwicklung angehende Physiklehrkräfte als problematisch gewertet werden kann. So konnten beispielsweise Tröbst et al. (2018) in einer experimentellen Studie mit angehenden Grundschulmathematiklehrkräften zeigen, dass fachliche Lerngelegenheiten (auch in Kombination mit pädagogischen Lerngelegenheiten) alleine ineffektiv sind, um das PCK zu fördern. Einzig explizite fachdidaktische Lerngelegenheiten stellten sich als Möglichkeit heraus, die Entwicklung des PCK der angehenden Lehrkräfte zu fördern (Tröbst et al., 2018). Jedoch merkten Großschedl et al. (2015) an, dass angehende Lehrkräfte Defizite in der fachdidaktischen Ausbildung zumindest teilweise durch ihr CK kompensieren können (siehe auch Tröbst et al., 2018). Dies konnte mit der Studie 1 insoweit bestätigt werden, als dass das PCK von angehenden Physiklehrkräften in Studiengängen mit wenig fachdidaktischen Lerngelegenheiten signifikant stärker von ihrem CK abhängt als das PCK von Studierenden anderer Studiengänge. Diese determinierende Rolle des CK für die Entwicklung eines adäquaten PCK (van Driel et al., 1998) wurde in Studie 4 genauer untersucht.

Um die Entwicklung eines adäquaten PCK kriterienorientiert einschätzen zu können, wurde zunächst ein Niveaumodell im pPCK angehender Physiklehrkräfte konstruiert. Hierbei zeigte sich, dass das reine Reproduzieren von Inhalten eher niedrigere Niveaustufen charakterisiert, während über reflexive Fähigkeiten eher Studierende in höheren Niveaus verfügen. Somit scheint das konstruierte Niveaumodell im pPCK in der Lage zu sein, die Entwicklung angehender Physiklehrkräfte hin zu einer Expertise im pPCK abzubilden (siehe Bransford et al., 2000). Zudem ließ sich mit Hilfe des Niveaumodells erkennen, dass Wissen über das Curriculum oder Assessment von Schüler*innen erst auf höheren Niveaus vorhanden ist, während angehende Physiklehrkräfte schon auf niedrigen pPCK Niveaus über Wissen von Vorstellungen der Schüler*innen und Instruktionsstrategien verfügen (siehe hierzu auch Schiering et al., 2019). Da sich eben diese beiden Facetten des PCK als besonders abhängig von dem CK der angehenden Lehrkräfte zeigten (Riese & Reinhold, 2010; van Driel et al., 2002), lässt dieses Ergebnis auf eine umfangreiche Ausbildung des CK während der universitären Lehramtsausbildung schließen, was ebenfalls die Ergebnisse aus der Studie 1 bestätigt. Übergänge in nächsthöhere Niveaus im pPCK werden dabei signifikant vom CK der angehenden Physiklehrkräfte beeinflusst. Interessanterweise verringert sich jedoch die Stärke dieses Einflusses mit wachsendem Niveau, sodass Übergänge innerhalb niedriger Niveaus stärker auf dem CK der Studierenden beruhen als Übergänge innerhalb der hohen Niveaus.

Zunächst scheint dieses Ergebnis dem Befund von Sorge, Kröger et al. (2019) zu widersprechen, der zeigte, dass sich der Zusammenhang von CK und PCK über die universitäre Lehramtsausbildung hinweg verstärkt. Jedoch lassen die hier vorgestellten Ergebnisse darauf schließen, dass angehende Lehrkräfte auf hohen Niveaus im pPCK bereits eine enge

Verbindung beider Wissensbereiche aufweisen, wodurch das CK die *Entwicklung* des PCK weniger stark limitiert. Hinzu kommt, dass sich für eben diese Übergänge in hohe Niveaus weitere Faktoren als prädiktiv herausstellten. Beispielsweise zeigten sich geringe transmissive Überzeugungen zum Lehren und Lernen besonders für den Übergang in ein hohes PCK als förderlich, was mit bisherigen Forschungsergebnissen übereinstimmt. So stellte zum Beispiel Brown et al. (2017) fest, dass das Überwinden transmissiver Überzeugungen (zugunsten konstruktivistischer Überzeugungen) Voraussetzung für die Entwicklung hin zu einem adäquaten PCK ist. Ähnlich den Überzeugungen zum Lehren und Lehren zeigten die Ergebnisse der Studie 4 auch, dass Schulpraktika lediglich den Übergang in hohe Niveaus im pPCK beeinflussen. Dieses Ergebnis legt somit insbesondere nahe, dass Schulpraktika nicht grundsätzlich einen Einfluss auf die Entwicklung eines pPCK haben müssen.

Auf diese eingeschränkte Wirkung von Schulpraktika wiesen bereits vorangegangene Studien hin (siehe z.B. Friedrichsen et al., 2009; Loughran, 2002; Zembal-Saul et al., 2002) und spiegelt auch Befunde wider, die eine eingeschränkte Wirkung der Berufserfahrung nahelegen (siehe z.B. Brunner et al., 2006; Kleickmann et al., 2013; für die eingeschränkte Wirkung der Berufserfahrung auf das CK siehe z.B. Nixon et al., 2017). Pitjeng-Mosabala und Rollnick (2018) führten beispielsweise eine geringe PCK Entwicklung nach Praxiserfahrungen auf fehlende Reflexion in Form von Feedback zurück. Auch Nilsson (2008) betonte, dass der Einfluss von Praxiserfahrung auf das PCK angehender Lehrkräfte maßgeblich von ihrer Reflexionsfähigkeit abhängt: „embedded learning through experiences of teaching is essential; however, reflection on such experiences is crucial“ (Nilsson, 2008, S. 1297). Diese Reflexionsfähigkeit wird unter anderem durch das sogenannte *pedagogical reasoning* (Shulman, 1987) näher charakterisiert. In diesem Zusammenhang wird *pedagogical reasoning* als Prozess verstanden, implizite Entscheidungen in unterrichtlichen Handlungen zu explizieren und so die Entwicklung professioneller Kompetenz (d.h. Professionswissen sowie professionelles Verhalten) zu fördern (Loughran, 2019; Nilsson, 2009). Auch das RCM of PCK betont die Relevanz des *pedagogical reasoning* für den wechselseitigen Austausch zwischen pPCK und ePCK und damit für die Entwicklung eines adäquaten PCK (Alonzo et al., 2019; Carlson et al., 2019). Damit jedoch (angehende) Lehrkräfte ihr eigenes Handeln reflektieren und so ihr Reservoir an Wissen erweitern oder ändern (d.h. ihr pPCK entwickeln) können, bedarf es eine Wissensbasis, anhand derer sie ihre Praxiserfahrung reflektieren können (Park & Oliver, 2008). Die Ergebnisse von Studie 4 zeigen somit, dass angehende Physiklehrkräfte zunächst eine ausreichende Wissensbasis im CK und pPCK benötigen, um auf Grundlage von Praxiserfahrungen (also dem wechselseitigen Austausch mit ePCK) ihr pPCK weiterentwickeln zu können (Alonzo et al., 2019). Auf diese Weise liefern die hier dargestellten Ergebnisse wichtige Erkenntnisse bezüglich Determinanten universitärer Lehramtsausbildung und tragen dazu bei, Wirkungsmechanismen in der komplexen Entwicklung des Professionswissens aufzudecken (van Driel et al., 2014). Für eine adäquate Entwicklung des Professionswissens ist es jedoch nicht nur wichtig zu wissen, welche Lerngelegenheiten der universitären Lehramtsausbildung wirksam

sind. Vielmehr ist es relevant, Unterstützungsmaßnahmen innerhalb der Lehrveranstaltungen zu identifizieren, die die Nutzung der universitären Lehramtsausbildung durch angehende Lehrkräfte stärken. Dies trifft insbesondere für fachliche Lerngelegenheiten zu, da diese eine fundamentale Rolle in der PCK Entwicklung angehender Lehrkräfte spielen (Studie 1 und 4). Zudem wird Physik als Domäne generell als hoch formalisiert, hierarchisch und, in Konsequenz, stark herausfordernd wahrgenommen (Angell et al., 2004). Dies stärkt den Wunsch, Determinanten in der Nutzung fachlicher Lerngelegenheiten zu identifizieren, um diese zur Förderung angehender Physiklehrkräfte einzusetzen.

Um die Nutzung fachlicher Lerngelegenheiten durch angehende Physiklehrkräfte zu untersuchen, fokussierten Studie 2 und 3 die wahrgenommene Qualität fachlicher Lerngelegenheiten in der universitären Lehramtsausbildung. Hierbei ließ sich zunächst feststellen, dass die etablierten Qualitätsdimensionen aus der Schulforschung, *cognitive activation*, *cognitive support*, *emotional support* und *classroom management* (Kleickmann et al., 2020; Praetorius et al., 2018), ebenso von Studierenden wahrgenommen werden (Studie 2). Dies lässt vermuten, dass universitäre Lerngelegenheiten vergleichbaren Qualitätsmerkmalen unterliegen wie Lerngelegenheiten in der Primar- und Sekundarstufe. So bewerteten beispielsweise Schmidt und Tippelt (2005) die Relevanz der Studieninhalte, Anknüpfungspunkte zum Vorwissen der Studierenden sowie die Unterstützung ihrer Lernprozesse als mögliche Qualitätsmerkmale von Lerngelegenheiten in der Hochschule, die sich in vergleichbarer Form auch in den Qualitätsdimensionen der Schulforschung wiederfinden lassen. Ferner legt dieses Ergebnis nahe, dass Modelle zur Unterrichtsqualität aus der Schulforschung ihre Gültigkeit ebenso für die universitäre Ausbildung von angehenden Lehrkräften haben. Für die valide Erfassung von Qualität in der universitären Lehramtsausbildung kann also, neben Evaluationen der Lehrveranstaltungen, insbesondere auf theoretisch fundierte und etablierte Modelle zur Unterrichtsqualität zurückgegriffen werden. Dies ist besonders relevant, da die bisher vorherrschende Evaluationsforschung zwar praxisorientiert, aber dadurch beschränkt auf die jeweilige Domäne ist. So führte Rindermann (2003) aus, dass sich Forscher*innen aus dem Bereich der Evaluationsforschung sowie Dozierende zum großen Teil an Traditionen ihrer eigenen Domäne orientieren – „[u]m im eigenen Feld zu reüssieren, um publizieren zu können und um gelesen zu werden, werden die fachspezifischen Grenzen nicht überschritten“ (Rindermann, 2003, S. 245). Dementgegen ermöglichen generische Qualitätsmerkmale, Evidenzen zur Qualität von Lerngelegenheiten unabhängig der Domäne zu gewinnen, was bisherige Schwächen der Evaluationsforschung kompensieren kann.

Hinsichtlich der Wirkung von Qualitätsmerkmalen auf die Entwicklung des CK angehender Physiklehrkräfte zeigte sich lediglich der *cognitive support* als prädiktiv für die CK Entwicklung. Dies deckt sich zum einen mit Ergebnissen aus der qualitativen Forschung, die unter anderem die strukturelle Unterstützung von Studierenden als Qualitätsmerkmal für fachliche Lerngelegenheiten herausstellten (siehe Mäntylä & Nousiainen, 2014). Zum anderen lassen sich Aspekte des *cognitive supports* in der Meta-Analyse von Feldmann

(2007) wiedererkennen, die insbesondere die inhaltliche Organisation der Lerngelegenheit sowie die Klarheit und Verständlichkeit der Dozierenden als die beiden bedeutendsten Prädiktoren für die Leistungen der Studierenden hervorhob. Daraus lässt sich ableiten, dass Dozierende (der universitären Lehramtsausbildung) über spezielles Wissen verfügen sollten, um Studierende (d.h. angehende Lehrkräfte) adäquat ausbilden zu können. So liegt es nahe, dass Dozierende neben ihrem eigenen Fachwissen auch spezielles Wissen über das Lehren und Lernen benötigen, um beispielsweise einen angemessenen *cognitive support* anbieten zu können (Bradbury et al., 2018). Beispielsweise sprachen Berry und van Driel (2013) von „pedagogy of science teacher education that [...] can become part of their common expertise“ (S. 125). *Cognitive support* könnte also ein Merkmal dieser *pedagogy of science teacher education* sein und somit als Potential von Dozierenden und ihren Lerngelegenheiten gelten. Dieser *cognitive support* wirkt sich insbesondere auf die handlungsnahen Wissensbereiche des CK, also dem prozedural-schematischen CK aus (Studie 3). Dieses prozedural-schematische Wissen wird von Blömeke et al. (2015) als wesentlicher Vermittler zwischen Disposition und Performanz angesehen, also dem erfolgreichen Handeln in Anwendungssituation. Auf diese Weise kann *cognitive support* eine zentrale Voraussetzung für Performanz schaffen und so begünstigen, dass angehende Physiklehrkräfte in physikalischen Anwendungssituationen wie zum Beispiel dem Experimentieren erfolgreich Handeln. Somit legen die Ergebnisse der Studien 2 und 3 nahe, dass es für die Entwicklung eines angemessenen CK unzureichend ist, lediglich die Anzahl an fachlichen Lehrveranstaltungen zu erhöhen (Darling-Hammond, 2016; McDermott et al., 2000). Vielmehr scheinen angehende Physiklehrkräfte vergleichbare Unterstützungsmaßnahmen zu benötigen wie Schüler*innen, um fachliche Inhalte erfolgreich zu lernen (Aiello-Nicosia & Sperandio-Mineo, 2000). Hierzu pointierten McDermott et al. (2000): „Many university faculty seem to believe that the effectiveness of a high school teacher depends on the number and rigour of courses taken in the discipline“ (S. 412) und führen fort: „Teachers need the time and guidance to learn basic physics in depth, beyond what is possible in standard courses“ (S. 412). Die hier vorgestellten Studien weisen somit auf effektive Möglichkeiten hin, angehende Physiklehrkräfte in ihrer CK Entwicklung zu unterstützen, um dadurch den Grundstein für erfolgreiche Lehrkräfte zu schaffen (Kind, 2009).

8.2. Limitationen

Hinsichtlich der Ergebnisse dieser Arbeit sind einige Einschränkungen zu beachten. Zunächst beruhen die berichteten Ergebnisse aller vier Studien auf den kognitiven Anteilen des CK und PCK. Aussagen über das professionelle Verhalten (d.h. ePCK) kann somit auf Grundlage der hier vorgestellten Studien nicht getätigt werden. So wurde in Studie 4 der Beitrag des ePCK zum pPCK lediglich durch die Teilnahme an Schulpraktika approximiert. Auch das in Studie 3 untersuchte handlungsnahen CK ist auf dem Kontinuum von Disposition und Performanz (Blömeke et al., 2015) nahe der Dispositionen verortet.

Hinsichtlich der Übertagung der Ergebnisse aus Studie 1 auf die aktuelle Studiensituation angehender Physiklehrkräfte ist zu beachten, dass sich die Untersuchung der in Deutschland vorliegenden Studienstrukturen auf Dokumente und Modulpläne des Jahres 2014 bzw. 2015 stützten. Außerdem beschränkte sich die Menge der untersuchten Studiengänge auf jene Hochschulen, deren Studierende an der Erhebung teilgenommen haben. Des Weiteren sind die Analysen der Studie 1 und 4 querschnittliche Analysen, sodass keine sicheren Aussagen über eine Entwicklung des CK und PCK in Folge der universitären Lerngelegenheiten getroffen werden können. Durch ihr quasi-längsschnittliches Design können die Ergebnisse beider Studien jedoch als erste Hinweise gewertet werden, die auf eine tatsächliche längsschnittliche Entwicklung hindeuten. Zukünftige Forschungsvorhaben sollten deshalb vermehrt längsschnittliche Perspektiven in der Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte einnehmen (siehe hierzu auch van Driel et al., 2014; Wilson et al., 2019).

Hinsichtlich des Einflusses von Qualitätsdimensionen auf die CK Entwicklung (Studie 2 und 3) muss beachtet werden, dass die verschiedenen Qualitätsdimensionen auf Grund der Testökonomie mit nur jeweils vier Fragen erfasst wurden. Dies ermöglichte zwar eine erste Einsicht in das Potential verschiedener Dimensionen, wie die verschiedenen Qualitätsdimensionen im Rahmen des Physik-Lehramtsstudiums detailliert charakterisiert werden können, bleibt an dieser Stelle aber unklar. In der Zukunft sollten daher die verschiedenen Qualitätsdimensionen, insbesondere der *cognitive support*, theoretisch wie auch empirisch genauer konzeptualisiert werden. So wäre es möglich, gemeinsame und spezifische Wirkungsmechanismen der Qualitätsdimensionen im Lernen der angehenden Physiklehrkräfte herauszuarbeiten

Trotz der Einschränkungen dieser Arbeit liefern die Ergebnisse der vier Studien wichtige Erkenntnisse zu den Determinanten in der Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte innerhalb ihrer universitären Lehramtsausbildung, die relevante Implikationen für Forschung und Praxis zur Folge haben.

8.3. Implikationen für die Forschung

Die hier vorgestellten Studien geben im Rahmen des Modelles zur Entwicklung professioneller Kompetenz angehender Lehrkräfte (Carlson et al., 2019; Kunter, Kleickmann et al., 2011) Einblicke in das komplexe Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren wie den Lerngelegenheiten während der universitären Lehramtsausbildung (Studie 1 und 4), ihre Nutzung durch die angehenden Physiklehrkräfte (Studie 2 und 3) sowie ihren Einfluss auf das Professionswissen (Studie 1 – 4). Dennoch wird im verwendeten Modell deutlich, dass Erkenntnisse zum professionellen Verhalten angehender Lehrkräfte (d.h. zu ihrem ePCK) fehlen. Da der Übergang von der universitären Ausbildung in das Referendariat verschiedene Herausforderungen an die angehenden Lehrkräfte stellt (siehe KMK, 2012; Reintjes et al., 2021), ist es von besonderem Interesse, zukünftig den Übergang von Wissen (d.h., CK, cPCK und pPCK) zum Handeln (d.h. ePCK) genauer aufzuschlüsseln. Hierfür ist es

nötig, das ePCK der angehenden Lehrkräfte zu erfassen, was durchaus mit methodischen Schwierigkeiten verknüpft ist (Alonzo et al., 2019). Jedoch scheinen sich sogenannte Performanztests als valide Möglichkeit herausgestellt zu haben, das ePCK approximativ zu erfassen (z.B. Kulgemeyer et al., 2020; Schröder et al., 2020). Des Weiteren bietet die Verwendung von Handlungsskripten (sogenannten *teaching scripts*; Stender et al., 2017) eine weitere Möglichkeit, das ePCK von Lehrkräften zu messen (z.B. Sorge, Stender et al., 2019). Mit Hilfe dieser Instrumente könnte somit zukünftig untersucht werden, welche Lerngelegenheiten angehende Physiklehrkräfte benötigen, um im tatsächlichen Handlungsmoment ihr CK und pPCK effektiv in ePCK umzusetzen. Zwar gibt es bereits einzelne Ergebnisse dazu, wie angehende Lehrkräfte ihr Professionswissen im Handlungsmoment einsetzen (siehe z.B. Kulgemeyer et al., 2020; Schröder et al., 2020), jedoch ist bislang unklar, wie die universitäre Lehramtsausbildung diesen Übergang beeinflusst und zukünftig optimieren kann. Hierbei könnte insbesondere die Förderung des *pedagogical reasoning* von angehenden Lehrkräften hilfreich sein, da dies die Wirksamkeit von Schulpraktika entscheidend beeinflusst (Nilsson, 2009). Zukünftig sollte aus diesem Grund untersucht werden, auf welche Weise das *pedagogical reasoning* den wechselseitigen Austausch zwischen pPCK und ePCK fördert, um hieraus Erkenntnisse für die Unterstützung von angehenden Lehrkräften im Rahmen ihrer universitären Lehramtsausbildung zu erlangen.

Hinsichtlich dieser Unterstützung scheint der *cognitive support* ein vielversprechender Faktor zu sein (Studie 2 und 3), wobei die Ergebnisse dieser Arbeit lediglich erste aber wichtige Einblicke in die Wirksamkeit dieser Unterstützung geben. Zukünftig ist es deshalb nötig, genauer zu untersuchen, aus welchen Aspekten sich *cognitive support* im Detail zusammensetzt und welcher dieser Aspekte eine effektive Unterstützung angehender Physiklehrkräfte sicherstellt. Dabei kann *cognitive support* in eine generelle und individuelle Komponente unterschieden werden (Kleickmann et al., 2020). Genereller *cognitive support* beabsichtigt eine Unterstützung auf Kurs- oder Klassenebene, wie beispielsweise die Förderung von Klarheit der Lernziele oder von Kohärenz zwischen Unterrichtsstunden. Individueller *cognitive support* beinhaltet Unterstützungsmaßnahmen für einzelne Lernende, wie zum Beispiel alternative Erklärungen und Analogien sowie Feedback zu Lernprozessen. Diese bisher eher theoretische Trennung des *cognitive supports* muss jedoch noch empirisch nachgewiesen werden. Zudem muss untersucht werden, ob differenzielle Effekte in der Wirkungsweise des *cognitive supports* vorliegen. So berichteten beispielsweise Muijs et al. (2005) für das Lernen innerhalb der Primar- und Sekundarstufe, dass leistungsschwache Schüler*innen generell mehr von einer hohen Unterrichtsqualität profitieren als leistungsstarke Schüler*innen. Es bleibt somit zu klären, inwieweit diese differenziellen Effekte des *cognitive supports* auch auf das Lernen angehender Lehrkräfte in der Universität zutreffen, um zukünftig das Lernangebot für Studierenden auf ihre Bedürfnisse hin weiter anzupassen. Zudem ist offen, ob die Relevanz des *cognitive supports* für die Entwicklung des CK ein Spezifikum des Lernens von physikalischen Inhalten darstellt. Bisherige Ergebnisse zur Wirkung des *cognitive supports* aus dem Bereich der Sekundarstufe von

Kleickmann et al. (2020) beruhen ebenfalls auf Lernen physikalischer Inhalte, sodass andere naturwissenschaftlich-mathematische Domänen zukünftig in den Blick genommen werden sollten. Dies kann einerseits Aufschluss über die Wirkungsweise des *cognitive supports* geben und zum anderen dazu beitragen, ein vollständiges Bild über die effektive Unterstützung angehender Lehrkräfte zu gewinnen.

Darüber hinaus sollte zudem die Perspektive der Dozierenden in den Blick genommen werden. So bleibt es auf Grundlage der hier vorgestellten Ergebnisse unklar, wie Dozierende einen Bedarf an *cognitive support* bei ihren Studierenden diagnostizieren und darauf aufbauend ihrer Lehre adaptieren. Die Perspektive der Dozierenden ist dabei von besonderer Wichtigkeit, „[i]m Wesentlichen sind es nämlich die Dozierenden der Lehrerbildung, die das Angebot gestalten. Ihre Kompetenzen, Werte und Haltungen bestimmen die Qualität der Ausbildung genuin mit“; Hascher, 2014, S. 560; siehe auch Donche & van Petegem, 2011; Watson et al., 2018). Darauf aufbauend könnte man sich der Perspektive der Dozierenden zunächst in Form von Interviews nähern und darauf aufbauend erste Programme konzipieren, die Dozierende in der Umsetzung des *cognitive supports* unterstützen.

8.4. Implikationen für die Praxis

Hinsichtlich der Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte innerhalb ihrer universitären Lehramtsausbildung lassen sich auf Grundlage der hier vorgestellten Studien auch einige Implikationen für die Praxis ableiten. Zunächst sollte bei der Gestaltung von Lehramtsstudiengängen versucht werden, fachdidaktische Inhalte mehr in den Fokus der universitären Ausbildung zu rücken (Studie 1). Da in Deutschland mehrheitlich integrative Studiengänge (also Studiengänge mit einer lehramtsspezifischen Ausbildung als Teil des Bachelor-Studiums) vorliegen, wäre es wünschenswert, den fachdidaktischen Inhalten gemäß KMK (2019) einen angemessenen Raum innerhalb der ersten Studienhälfte zu bieten. Darüber hinaus sollte die universitäre Lehramtsausbildung eine fachliche sowie fachdidaktische Vorbereitung für Schulpraktika sicherstellen, damit angehende Lehrkräfte ihre ersten Unterrichtserfahrungen optimal zur Weiterentwicklung ihres PCK nutzen können (Studie 4). Bisherige theoretische Überlegungen zumindest attestieren der universitären Lehramtsausbildung ein großes Potential, angehende Lehrkräfte beim Übergang in praktische Unterrichtserfahrungen zu unterstützen (siehe Nordine et al., 2021). Zur angemessenen Vorbereitung dieser praktischen Unterrichtserfahrungen im Rahmen der Schulpraktika können hierbei insbesondere jene Instrumente hilfreich sein, die angehende Lehrkräfte in der Planung und Reflexion von Physikunterricht unterstützen (Luft, 2009; Nordine et al., 2021). Hilfreich haben sich hierfür in der Forschung Instrumente wie die *Content Representations* (CoRe) (Hume & Berry, 2011) oder das *Storyline Planning Tool* (Nordine et al., 2019) gezeigt, da sie die Planungs- und Reflexionsfähigkeit fördern und so den wechselseitigen Austausch zwischen pPCK und ePCK unterstützen können (Kind, 2009). So zeigte sich beispielsweise bei angehenden Chemielehrkräften, dass CoRes als Vorbereitung für Schulpraktika in der Entwicklung aller Facetten im PCK münden kann (Ekiz-Kiran et

al., 2021). Auf diese Weise kann eine angemessene Vorbereitung von Schulpraktika dazu führen, dass selbst schwierig empfundene Facetten des PCK wie das Wissen über das Curriculum (Studie 4) von Unterrichtserfahrungen profitieren. Beide Instrumente können somit angehende Lehrkräfte darin unterstützen, während Schulpraktika reflektiertes professionelles Verhalten (d.h. ePCK) aufzubauen, das im wechselseitigen Austausch mit ihrer theoretischen und persönlichen Wissensbasis (d.h. CK, cPCK und pPCK) steht (Moore, 2003; Pitjeng-Mosabala & Rollnick, 2018).

Das alleinige Angebot solcher Veranstaltungen hat jedoch nur zu einem kleinen Teil einen Einfluss auf die Entwicklung der angehenden Lehrkräfte. Folglich sollten insbesondere fachliche Lerngelegenheiten in der universitären Lehramtsausbildung so konzipiert werden, dass sie hinsichtlich ihrer Qualität Maßstäbe setzen, an denen sich angehende Lehrkräfte für ihren zukünftigen Unterricht orientieren können (Studie 2 und 3). So können wesentliche Änderungen im unterrichtlichen Handeln der angehenden Lehrkräfte schon dadurch unterstützt werden, dass sie in ihrer universitären Ausbildung vergleichbare Lernumgebungen erleben, die sie später für ihre Schüler*innen schaffen sollen (Aiello-Nicosia & Sperandeo-Mineo, 2000): „teachers teach as they were taught, not as they were taught to teach“ (Altman, 1983, S. 24). Dies bedeutet insbesondere, dass Dozierende vielfältige Unterstützungsmaßnahmen bereitstellen sollten. So müssen sowohl individuell angepasste Unterstützungen (wie zusätzliche Erklärungen, Analogien oder Feedback zu Lerntrajektorien) wie auch generelle Unterstützungen (wie Klarheit der Lernziele oder die explizite inhaltliche Strukturierung) expliziter Teil von Lehrveranstaltungen werden (siehe z.B. Kleickmann et al., 2020; Puntambekar & Hübscher, 2005; Seidel et al., 2005).

In Summe stellt die Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte eine große Herausforderung für die universitäre Lehramtsausbildung dar. Neben den formalen Lerngelegenheiten wie Vorlesungen oder Seminare (Studie 1 und 4) können auch die nonformalen Lerngelegenheiten wie eigene Unterrichtserfahrungen im Rahmen von Schulpraktika (Studie 4) einen großen Anteil an der Professionalisierung zukünftiger Lehrkräfte leisten. Dieser Anteil wird umso größer, wenn neben den individuellen Faktoren wie die Überzeugungen der angehenden Lehrkräfte (Studie 4) auch die Struktur (Studie 1) und Qualität (Studie 2 und 3) der Lehramtsausbildung berücksichtigt wird. Auf diese Weise kann die universitäre Lehramtsausbildung ihre Bedeutung für die Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte weiter optimieren und so den Grundstein für erfolgreichen Unterricht in den nächsten Generationen legen.

LITERATUR

- Abell, S. (2007). Research on Science Teacher Knowledge. In S. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 1105–1149). Erlbaum.
- Abell, S. (2008). Twenty Years Later: Does Pedagogical Content Knowledge Remain a Useful Idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405–1416. <https://doi.org/10.1080/09500690802187041>
- Agresti, A. (2013). *Categorical Data Analysis* (3. Aufl.). Wiley.
- Aiello-Nicosia, M. L., & Sperandio-Mineo, R. M. (2000). Educational Reconstruction of Physics Content to be Taught and of Pre-Service Teacher Training: A case study. *International Journal of Science Education*, 22(10), 1085–1097. <https://doi.org/10.1080/095006900429457>
- Al-Amoush, S., Usak, M., Erdogan, M., Markic, S., & Eilks, I. (2013). Pre-service and In-service Teachers' Beliefs about Teaching and Learning Chemistry in Turkey. *European Journal of Teacher Education*, 36(4), 464–479. <https://doi.org/10.1080/02619768.2013.807793>
- Alonzo, A. C., Berry, A., & Nilsson, P. (2019). Unpacking the Complexity of Science Teachers' PCK in Action: Enacted and Personal PCK. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 271–286). Springer Singapore.
- Alonzo, A. C., Kobarg, M., & Seidel, T. (2012). Pedagogical Content Knowledge as Reflected in Teacher–Student Interactions: Analysis of Two Video Cases. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(10), 1211–1239. <https://doi.org/10.1002/tea.21055>
- Altman, H. B. (1983). Training Foreign Language Teachers for Learner-Centered Instruction: Deep Structures, Surface Structures, and Transformations. In J. E. Alatis, H. H. Stern, & P. Stevens (Hrsg.), *Applied Linguistics and the Preparation of Second Language Teachers: Toward a Rationale* (S. 19–25). Georgetown University Press.
- Anderson, D. (2015). The Nature and Influence of Teacher Beliefs and Knowledge on the Science Teaching Practice of Three Generalist New Zealand Primary Teachers. *Research in Science Education*, 45(3), 395–423. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9428-8>
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of Cognitive Skill. *Psychological Review*, 89(4), 369–406.
- Angell, C., Guttersrud, O., Henriksen, E. K., & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, But Fun: Pupils' and Teachers' Views of Physics and Physics Teaching. *Science Education*, 88(5), 683–706. <https://doi.org/10.1002/sce.10141>

- 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>
- Bauer, J., Diercks, U., Retelsdorf, J., Kauper, T., Zimmermann, F., Köller, O., Möller, J., & Prenzel, M. (2011). Spannungsfeld Polyvalenz in der Lehrerbildung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 14(4), 629–649. <https://doi.org/10.1007/s11618-011-0239-7>
- Bauer, J., Diercks, U., Rösler, L., Möller, J., & Prenzel, M. (2012). Lehramtsstudium in Deutschland: Wie groß ist die strukturelle Vielfalt? *Unterrichtswissenschaft*, 40(2), 101–120.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2011). Das Kompetenzmodell von COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 29–53). 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>
- Baumert, J., Kunter, M., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S., & Neubrand, M. (2011). Professionelle Kompetenz von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Unterricht und die mathematische Kompetenz von Schülerinnen und Schülern (COACTIV): Ein Forschungsprogramm. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 7–25). Waxmann.
- Baxter, J. A., & Lederman, N. G. (1999). Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Hrsg.), *Science & Technology Education Library: Vol. 6. Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education* (S. 147–161). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-47217-1_6
- Beaton, A. E., & Allen, N. L. (1992). Interpreting Scales Through Scale Anchoring. *Journal of Educational Statistics*, 17(2), 191–204. <https://doi.org/10.2307/1165169>
- Benton, S. L., & Cashin, W. E. (2011). Student Ratings of Teaching: A Summary of Research and Literature. *The IDEA Center*. https://www.ideaedu.org/idea_papers/student-ratings-of-teaching-a-summary-of-research-and-literature/
- Berry, A., Depaepe, F., & van Driel, J. (2016). Pedagogical Content Knowledge in Teacher Education. In J. Loughran & M. L. Hamilton (Hrsg.), *International Handbook of Teacher Education* (S. 347–386). Springer Singapore.

- Berry, A., & van Driel, J. H. (2013). Teaching About Teaching Science. *Journal of Teacher Education*, 64(2), 117–128. <https://doi.org/10.1177/0022487112466266>
- Blömeke, S. (2005). Das Lehrerbild in Printmedien: Inhaltsanalyse von „Spiegel“- und „Focus“-Berichten seit 1990. *Die Deutsche Schule*, 97(1), 24–39.
- Blömeke, S., Buchholtz, N., Suhl, U., & Kaiser, G. (2014). Resolving the Chicken-Or-Egg Causality Dilemma: The Longitudinal Interplay of Teacher Knowledge and Teacher Beliefs. *Teaching and Teacher Education*, 37, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.10.007>
- 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>
- Bond, T. G., & Fox, C. M. (2007). *Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the Human Sciences* (2. Aufl.). Lawrence Erlbaum.
- 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, 341–349.
- Boyd, D. J., Grossman, P. L., Lankford, H., Loeb, S., & Wyckoff, J. (2009). Teacher Preparation and Student Achievement. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 31(4), 416–440. <https://doi.org/10.3102/0162373709353129>
- Bradbury, L. U., Wilson, R. E., & Brookshire, L. E. (2018). Developing Elementary Science PCK for Teacher Education: Lessons Learned from a Second Grade Partnership. *Research in Science Education*, 48(6), 1387–1408. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9607-x>
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*. National Academies Press.
- Bransford, J. D., Darling-Hammond, L., & LePage, P. (2005). Introduction. In L. Darling-Hammond & J. D. Bransford (Hrsg.), *Preparing Teachers for a Changing World: What Teachers Should Learn and Be Able to Do* (S. 1–39). Jossey-Bass.
- Bromme, R. (1997). Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers. In F. E. Weiner (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Vol. 3. Psychologie des Unterrichts und der Schule* (S. 177–212). Hofgrefe.
- Bromme, R., & Haag, L. (2004). Forschung zur Lehrerpersönlichkeit. In W. Helsper & J. Böhme (Hrsg.), *Handbuch der Schulforschung* (S. 777–793). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Brouwer, N., & Korthagen, F. (2005). Can Teacher Education Make a Difference? *American Educational Research Journal*, 42(1), 153–224. <https://doi.org/10.3102/00028312042001153>

- Brown, P. L., Friedrichsen, P. J., & Abell, S. (2017). The Development of Prospective Secondary Biology Teachers PCK. *Journal of Science Teacher Education*, 24(1), 133–155. <https://doi.org/10.1007/s10972-012-9312-1>
- Brownell, S. E., & Kloser, M. J. (2015). Toward a Conceptual Framework for Measuring the Effectiveness of Course-based Undergraduate Research Experiences in Undergraduate Biology. *Studies in Higher Education*, 40(3), 525–544. <https://doi.org/10.1080/03075079.2015.1004234>
- Brunner, M., Kunter, M., Krauss, S., Baumert, J., Blum, W., Dubberke, T., Jordan, A., Klusmann, U., Tsai, Y.-M., & Neubrand, M. (2006). Welche Zusammenhänge bestehen zwischen dem fachspezifischen Professionswissen von Mathematiklehrkräften und ihrer Ausbildung sowie beruflichen Fortbildung? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 521–544. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0166-1>
- Bunting, C. E. (1985). Dimensionality of Teacher Educational Beliefs. *The Journal of Experimental Education*, 53(4), 188–192. <https://doi.org/10.1080/00220973.1985.10806380>
- Bürkner, P.-C., & Vuorre, M. (2019). Ordinal Regression Models in Psychology: A Tutorial. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 2(1), 77–101. <https://doi.org/10.1177/2515245918823199>
- Caena, F. (2014). *Initial Teacher Education in Europe: An Overview of Policy Issues*. https://ec.europa.eu/assets/eac/education/experts-groups/2014-2015/school/initial-teacher-education_en.pdf
- Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., Carpendale, J., Chan, K. K. H., Cooper, R., Friedrichsen, P. J., 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. 77–92). Springer Singapore.
- Cauet, E. (2016). *Testen wir relevantes Wissen? Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften und gutem und erfolgreichem Unterrichten. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 204*. Berlin. Logos Verlag.
- Chan, K. K. H., & Hume, A. (2019). Towards a Consensus Model: Literature Review of How Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Is Investigated in Empirical Studies. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 3–76). Springer Singapore.
- Chan, K. K. H., & Yung, B. H. W. (2015). On-Site Pedagogical Content Knowledge Development. *International Journal of Science Education*, 37(8), 1246–1278. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1033777>

- Childs, A., & McNicholl, J. (2007). Science Teachers Teaching Outside of Subject Specialism: Challenges, Strategies Adopted and Implications for Initial Teacher Education. *Teacher Development*, *11*(1), 1–20.
<https://doi.org/10.1080/13664530701194538>
- Clauser, B. E., Baldwin, P., Margolis, M. J., Mee, J., & Winard, M. (2017). An Experimental Study of the Internal Consistency of Judgments Made in Bookmark Standard Setting. *Journal of Educational Measurement*, *54*(4), 481–497.
<https://doi.org/10.1111/jedm.12157>
- Cochran-Smith, M., Cannady, M., McEachern, K. P., Viesca, K., & Piazza, P. (2012). Teachers' Education and Outcomes: Mapping the Research Terrain. *Teachers College Record*, *114*, 1–49.
- Coe, R., Aloisi, C., Higgins, S., & Major, L. E. (2014). *What Makes Great Teaching? Review of the Underpinning Research*. Project Report. Sutton Trust.
<http://dro.dur.ac.uk/13747/1/13747.pdf>
- Cohen, P. (1981). Student Ratings of Instruction and Student Achievement: A Meta-Analysis of Multisection Validity Studies. *Review of Educational Research*, *51*(3), 281–309.
- Collins, L. M., Schafer, J. L., & Kam, C.-M. (2001). A Comparison of Inclusive and Restrictive Strategies in Modern Missing Data Procedures. *Psychological Methods*, *6*(4), 330–351. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.6.4.330>
- Darling-Hammond, L. (1999). The Case for University-based Teacher Education. In R. A. Roth (Hrsg.), *The Role of the University in the Preparation of Teachers* (S. 12–29). Falmer Press.
- Darling-Hammond, L. (2006). Constructing 21st-Century Teacher Education. *Journal of Teacher Education*, *57*(3), 300–314. <https://doi.org/10.1177/0022487105285962>
- Darling-Hammond, L. (2016). How Teacher Education Matters. *Journal of Teacher Education*, *51*(3), 166–173. <https://doi.org/10.1177/0022487100051003002>
- Darling-Hammond, L. (2017). Teacher Education Around the World: What Can We Learn from International Practice? *European Journal of Teacher Education*, *40*(3), 291–309. <https://doi.org/10.1080/02619768.2017.1315399>
- Darling-Hammond, L., Chung, R., & Frelow, F. (2016). Variation in Teacher Preparation. *Journal of Teacher Education*, *53*(4), 286–302.
<https://doi.org/10.1177/0022487102053004002>
- Darling-Hammond, L., Hammerness, K., Grossman, P. L., Rust, F., & Shulman, L. S. (2005). The Design of Teacher Education Programs. In L. Darling-Hammond & J. D. Bransford (Hrsg.), *Preparing Teachers for a Changing World: What Teachers Should Learn and Be Able to Do* (S. 390–441). Jossey-Bass.

- De Jong, O., & van Driel, J. (2004). Exploring the Development of Student Teachers' PCK of the Multiple Meanings of Chemistry Topics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(4), 477–491. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-4197-x>
- De Jong, O., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2005). Preservice Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Using Particle Models in Teaching Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(8), 947–964. <https://doi.org/10.1002/tea.20078>
- De Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996). Types and Qualities of Knowledge. *Educational Psychologist*, 31(2), 105–113. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3102_2
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) (2014). *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik*. Deutsche Physikalische Gesellschaft.
- Didiş, N., Eryılmaz, A., & Erkoç, Ş. (2010). Pre-service Physics Teachers' Comprehension of Quantum Mechanical Concepts. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(4), 227–235. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75243>
- Dolgun, A., & Saracbası, O. (2014). Assessing Proportionality Assumption in the Adjacent Category Logistic Regression Model. *Statistics and Its Interface*, 7(2), 275–295. <https://doi.org/10.4310/SII.2014.v7.n2.a12>
- Donche, V., & van Petegem, P. (2011). Teacher Educators' Conceptions of Learning to Teach and Related Reaching Strategies. *Research Papers in Education*, 26(2), 207–222. <https://doi.org/10.1080/02671522.2011.561979>
- Ekiz-Kiran, B., Boz, Y., & Oztay, E. S. (2021). Development of Pre-Service Teachers' Pedagogical Content Knowledge Through a PCK-Based School Experience Course. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(2), 415–430. <https://doi.org/10.1039/D0RP00225A>
- Enders, C. K. (2008). A Note on the Use of Missing Auxiliary Variables in Full Information Maximum Likelihood-Based Structural Equation Models. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 15(3), 434–448. <https://doi.org/10.1080/10705510802154307>
- Ergönenc, J., Neumann, K., & Fischer, H. E. (2014). The Impact of Pedagogical Content Knowledge on Cognitive Activation and Student Learning. In H. E. Fischer, P. Labudde, K. Neumann, & J. Viiri (Hrsg.), *Quality of Instruction in Physics: Comparing Finland, Switzerland and Germany* (1. Aufl., S. 145–159). Waxmann Verlag.
- Eurydice (2010). *Fokus auf die Hochschulbildung in Europa 2010: Die Auswirkungen des Bologna-Prozesses*. Education Audiovisual and Culture Executive Agency P9 Eurydice.
- Feldmann, K. A. (1989). The Association Between Student Ratings of Specific Instructional Dimensions and Student Achievement: Refining and Extending the Synthesis

- of Data from Multisection Validity Studies. *Research in Higher Education*, 30(6), 583–645.
- Feldmann, K. A. (2007). Identifying Exemplary Teachers and Teaching: Evidence from Student Ratings. In R. P. Perry & J. C. Smart (Hrsg.), *The Scholarship of Teaching and Learning in Higher Education: An Evidence-Based Perspective* (S. 93–129). Springer.
- Fenstermacher, G. D. (1986). Philosophy of Research on Teaching: Three Aspects. In M. C. Wittrock (Hrsg.), *Handbook of Research on Teaching: A Project of the American Educational Research Association* (3. Aufl., S. 37–49). Macmillan.
- Fenstermacher, G. D. (1994). The Knower and the Known: The Nature of Knowledge in Research on Teaching. *Review of Research in Education*, 20(1), 3–56.
<https://doi.org/10.3102/0091732X020001003>
- Ferguson-Hessler, M. G. M., & de Jong, T. (1990). Studying Physics Texts: Differences in Study Processes between Good and Poor Performers. *Cognition and Instruction*, 7(1), 41–54.
- Finney, S. J., & DiStefano, C. (2006). Non-normal and Categorical Data in Structural Equation Modeling. In G. R. Hancock & R. O. Mueller (Hrsg.), *Quantitative Methods in Education and the Behavioral Sciences. Structural Equation Modeling: A Second Course* (S. 269–314). IAP Information Age Publishing.
- Fischer, H. E., Borowski, A., & Tepner, O. (2012). Professional Knowledge of Science Teachers. In B. J. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Hrsg.), *Springer International Handbooks of Education: Vol. 24. Second International Handbook of Science Education* (S. 435–448). Springer Science+Business Media B.V.
- Fischer, H. E., Labudde, P., Neumann, K., & Viiri, J. (Hrsg.) (2014). *Quality of Instruction in Physics: Comparing Finland, Switzerland and Germany* (1. Aufl.). Waxmann Verlag. http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783830980551
- Fives, H., Lacatena, N., & Gerard, L. (2014). Teachers' Beliefs about Teaching (and Learning). In H. Fives & M. G. Gill (Hrsg.), *International Handbook of Research on Teachers' Beliefs* (1. Aufl., S. 249–265). Routledge.
- Flores, M. A. (2019). The Complex Interplay of Variables in Studying Teacher Education. *European Journal of Teacher Education*, 42(2), 131–134.
<https://doi.org/10.1080/02619768.2019.1575092>
- Friedrichsen, P. J., Abell, S., Pareja, E. M., Brown, P. L., Lankford, D. M., & Volkmann, M. J. (2009). Does Teaching Experience Matter? Examining Biology Teachers' Prior Knowledge for Teaching in an Alternative Certification Program. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(4), 357–383. <https://doi.org/10.1002/tea.20283>
- Garet, M. S., Porter, A. C., Desimone, L., Birman, B. F., & Yoon, K. S. (2001). What Makes Professional Development Effective? Results from a National Sample of Teachers. *American Educational Research Journal*, 38(4), 915–945.

- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical Content Knowledge: An Introduction and Orientation. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Hrsg.), *Science & Technology Education Library: Vol. 6. Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education* (S. 3–17). Kluwer Academic Publishers.
- Gess-Newsome, J. (2015). A Model of Teacher Professional Knowledge and Skill Including PCK: Results of the Thinking from the PCK Summit. In A. Berry, P. J. Friedrichsen, & J. Loughran (Hrsg.), *Teaching and Learning in Science Series. Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (1. Aufl., S. 28–42). Routledge.
- Gess-Newsome, J., & Lederman, N. G. (Hrsg.) (1999). *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education. Science & Technology Education Library: Band 6*. Kluwer Academic Publishers.
- Gollwitzer, M., Kranz, D., & Vogel, E. (2006). Die Validität studentischer Lehrveranstaltungsevaluationen und ihre Nützlichkeit für die Verbesserung der Hochschullehre: Neuere Befunde zu den Gütekriterien des Trierer Inventars zur Lehrevaluation (TRIL). In G. Krampen & H. Zayer (Hrsg.), *Didaktik und Evaluation in der Psychologie* (S. 90–104). Hogrefe.
- Graham, J. W. (2003). Adding Missing-Data-Relevant Variables to FIML-based Structural Equation Models. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 10(1), 80–100. https://doi.org/10.1207/S15328007SEM1001_4
- Gramzow, Y., Riese, J., & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 7–30.
- Grossman, P. L. (1990). *The Making of a Teacher: Teacher Knowledge and Teacher Education. Professional Development and Practice Series*. New York. Teachers College Press.
- Grossman, P. L., Schoenfeld, A., & Lee, C. (2005). Teaching Subject Matter. In L. Darling-Hammond & J. D. Bransford (Hrsg.), *Preparing Teachers for a Changing World: What Teachers Should Learn and Be Able to Do* (S. 201–231). Jossey-Bass.
- Großschedl, J., Harms, U., Kleickmann, T., & Glowinski, I. (2015). Preservice Biology Teachers' Professional Knowledge: Structure and Learning Opportunities. *Journal of Science Teacher Education*, 26(3), 291–318. <https://doi.org/10.1007/s10972-015-9423-6>
- Halim, L., & Meerah, S. M. M. (2002). Science Trainee Teachers' Pedagogical Content Knowledge and its Influence on Physics Teaching. *Research in Science & Technological Education*, 20(2), 215–225. <https://doi.org/10.1080/0263514022000030462>

- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics* (10. Aufl.). Wiley.
- Hansel, T. (Hrsg.) (2003). *Pisa - und die Folgen? Die Wirkung von Leistungsvergleichsstudien in der Schule*. Centaurus-Verlag.
- Hanson, B. A., & Béguin, A. A. (2002). Obtaining a Common Scale for Item Response Theory Item Parameters Using Separate Versus Concurrent Estimation in the Common-Item Equating Design. *Applied Psychological Measurement*, 26(1), 3–24. <https://doi.org/10.1177/0146621602026001001>
- Hartig, J., Frey, A., Nold, G., & Klieme, E. (2012). An Application of Explanatory Item Response Modeling for Model-Based Proficiency Scaling. *Educational and Psychological Measurement*, 72(4), 665–686. <https://doi.org/10.1177/0013164411430707>
- 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* (1. Aufl., S. 27–44). VS. https://doi.org/10.1007/978-3-531-90502-0_3
- Hartigan, J. A., & Wong, M. A. (1979). Algorithm AS 136: A k-Means Clustering Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28(1), 100–108.
- Harvey, L., & Green, D. (1993). Defining Quality. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 18(1), 9–34. <https://doi.org/10.1080/0260293930180102>
- Hascher, T. (2014). Forschung zur Wirksamkeit der Lehrerbildung. In E. Terhart, H. Bennewitz, & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (2. Aufl., S. 542–571). Waxmann.
- Hashweh, M. Z. (1987). Effects of Subject-Matter Knowledge in the Teaching of Biology and Physics. *Teaching and Teacher Education*, 3(2), 109–120. [https://doi.org/10.1016/0742-051X\(87\)90012-6](https://doi.org/10.1016/0742-051X(87)90012-6)
- Hattie, J. A. C. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
- Heckmann, C. (04.12.2001). Schlechte Schüler wegen schlecht gebildeter Lehrer? *Der Spiegel*. <https://www.spiegel.de/lebenundlernen/uni/bildung-schlechte-schueler-wegen-schlecht-gebildeter-lehrer-a-171003.html>
- Helaakoski, J., & Viiri, J. (2014). Content and Content Structure of Physics Lessons and Students' Learning Gains: Comparing Finland, Germany and Switzerland. In H. E. Fischer, P. Labudde, K. Neumann, & J. Viiri (Hrsg.), *Quality of Instruction in Physics: Comparing Finland, Switzerland and Germany* (1. Aufl., S. 93–110). Waxmann Verlag.
- Helmke, A. (2017). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (7. Aufl.). Klett; Kallmeyer.

- Henze, I., & Barendsen, E. (2019). Unravelling Student Science Teachers' pPCK Development and the Influence of Personal Factors Using Authentic Data Sources. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 201–221). Springer Singapore.
- Herzog, W., & Makarova, E. (2014). Anforderungen an und Leitbilder für den Lehrerberuf. In E. Terhart, H. Bennewitz, & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (2. Aufl., S. 83–102). Waxmann.
- Hill, H. C., Rowan, B., & Ball, D. L. (2005). Effects of Teachers' Mathematical Knowledge for Teaching on Student Achievement. *American Educational Research Journal*, 42(2), 371–406. <https://doi.org/10.3102/00028312042002371>
- Holzberger, D., Praetorius, A.-K., Seidel, T., & Kunter, M. (2019). Identifying Effective Teachers: The Relation Between Teaching Profiles and Students' Development in Achievement and Enjoyment. *European Journal of Psychology of Education*, 34(4), 801–823. <https://doi.org/10.1007/s10212-018-00410-8>
- Hu, L., & Bentler, P. M. (1998). Fit Indices in Covariance Structure Modeling: Sensitivity to Underparameterized Model Misspecification. *Psychological Methods*, 3(4), 424–453. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.3.4.424>
- Hu, L., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff Criteria for Fit Indexes in Covariance Structure Analysis: Conventional Criteria Versus New Alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1–55. <https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Hume, A., & Berry, A. (2011). Constructing CoRes – a Strategy for Building PCK in Pre-service Science Teacher Education. *Research in Science Education*, 41(3), 341–355. <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9168-3>
- James, Z., & Rossiter, J. (2018). *Using Scale-Anchoring to Interpret the Young Lives 2016–17 Achievement Scale*. Young Lives. Retrieved from Young Lives website: www.younglives.org.uk
- Jorgensen, T. D., Pornprasertmanit, S., Schoemann, A. M., & Rosseel, Y. (2020). *semTools: Useful Tools for Structural Equation Modeling. R package version 0.5-3*. <https://CRAN.R-project.org/package=semTools>
- Jüttner, M., Boone, W., Park, S., & Neuhaus, B. J. (2013). Development and Use of a Test Instrument to Measure Biology Teachers' Content Knowledge (CK) and Pedagogical Content Knowledge (PCK). *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 25(1), 45–67. <https://doi.org/10.1007/s11092-013-9157-y>
- Kagan, D. M. (1990). Ways of Evaluating Teacher Cognition: Inferences Concerning the Goldilocks Principle. *Review of Educational Research*, 60(3), 419–469. <https://doi.org/10.3102/00346543060003419>
- Kagan, D. M. (1992). Implication of Research on Teacher Belief. *Educational Psychologist*, 27(1), 65–90. https://doi.org/10.1207/s15326985ep2701_6

- Käpylä, M., Heikkinen, J.-P., & Asunta, T. (2009). Influence of Content Knowledge on Pedagogical Content Knowledge: The case of teaching photosynthesis and plant growth. *International Journal of Science Education*, *31*(10), 1395–1415.
<https://doi.org/10.1080/09500690802082168>
- Karantonis, A., & Sireci, S. G. (2006). The Bookmark Standard-Setting Method: A Literature Review. *Educational Measurement: Issues and Practice*, *25*(1), 4–12.
- Kassambara, A. (2017). *Practical Guide To Cluster Analysis in R: Unsupervised Machine Learning* (1. Aufl.). STHDA.
- Kassambara, A., & Mundt, F. (2017). *factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses: R package version 1.0.5*. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (1990). *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Wiley.
- Kaya, O. N. (2009). The Nature of Relationships among the Components of Pedagogical Content Knowledge of Preservice Science Teachers: ‘Ozone layer depletion’ as an example. *International Journal of Science Education*, *31*(2), 961–988.
<https://doi.org/10.1080/09500690801911326>
- Keller, A. (2010). Gleichermaßen hochwertig und einheitlich lang: Gewerkschaftliche Anforderungen an die Reform der Lehrerbildung im Bologna-Prozess. *Erziehungswissenschaft*, *21*(40), 99–107.
- Keller, M. M., Neumann, K., & Fischer, H. E. (2017). The Impact of Physics Teachers’ Pedagogical Content Knowledge and Motivation on Students’ Achievement and Interest. *Journal of Research in Science Teaching*, *54*(5), 586–614.
<https://doi.org/10.1002/tea.21378>
- Kennedy, M. M., Ahn, S., & Choi, J. (2008). The Value Added by Teacher Education. In M. Cochran-Smith, S. Feiman-Nemser, D. J. McIntyre, & K. E. Demers (Hrsg.), *Handbook of Research on Teacher Education: Enduring Issues in Changing Contexts* (3. Aufl., S. 1247–1271). Routledge.
- Keuffer, J. (2010). Reform der Lehrerbildung und kein Ende? Eine Standortbestimmung. *Erziehungswissenschaft*, *21*(40), 51–67.
- Kim, E., & Corcoran, R. P. (2018). Factors that Influence Pre-Service Teachers' Persistence. *Teaching and Teacher Education*, *70*(6), 204–214.
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.11.015>
- Kind, V. (2009). Pedagogical Content Knowledge in Science Education: Perspectives and Potential for Progress. *Studies in Science Education*, *45*(2), 169–204.
<https://doi.org/10.1080/03057260903142285>
- Kind, V., & Chan, K. K. H. (2019). Resolving the Amalgam: Connecting Pedagogical Content Knowledge, Content Knowledge and Pedagogical Knowledge. *International Journal of Science Education*, 1–15.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1584931>

- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-based, Experiential, and Inquiry-based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Kirschner, S. (2013). *Modellierung und Analyse des Professionswissens von Physiklehrkräften. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 161*. Berlin. Logos Verlag.
- Kirschner, S., Borowski, A., Fischer, H. E., Gess-Newsome, J., & von Aufschnaiter, C. (2016). Developing and Evaluating a Paper-and-Pencil Test to Assess Components of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *International Journal of Science Education*, 38(8), 1343–1372.
- Kirschner, S., Sczudlek, M., Tepner, O., Borowski, A., Fischer, H. E., Lenske, G., Leutner, D., Neuhaus, B. J., Sumfleth, E., Thillmann, H., & Wirth, J. (2017). Professionswissen in den Naturwissenschaften (ProwiN). In C. Gräsel & K. Trempler (Hrsg.), *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals: Interdisziplinäre Betrachtungen, Befunde und Perspektiven* (S. 113–130). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-07274-2_7
- Kleickmann, T., & Anders, Y. (2011). Lernen an der Universität. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 305–315). Waxmann.
- Kleickmann, T., & Anders, Y. (2013). Learning at University. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Mathematics Teacher Education: Vol. 8. Cognitive Activation in the Mathematics Classroom and Professional Competence of Teachers: Results from the COACTIV Project* (S. 321–332). Springer.
- Kleickmann, T., Großschedl, J., Harms, U., Heinze, A., Herzog, S., Hohenstein, F., Köller, O., Kröger, J., Lindmeier, A., Loch, C., Mahler, D., Möller, J., Neumann, K., Parchmann, I., Steffensky, M., Taskin, V., & Zimmermann, F. (2014). Professionswissen von Lehramtsstudierenden der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer: Testentwicklung im Rahmen des Projekts KiL. *Unterrichtswissenschaft*, 42(3), 280–288.
- Kleickmann, T., Richter, D., Kunter, M., Elsner, J., Besser, M., Krauss, S., & Baumert, J. (2013). Teachers' Content Knowledge and Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Teacher Education*, 64(1), 90–106. <https://doi.org/10.1177/0022487112460398>
- Kleickmann, T., Steffensky, M., & Praetorius, A.-K. (2020). Quality of Teaching in Science Education: More Than Three Basic Dimensions? In A.-K. Praetorius, J. Grünkorn, & E. Klieme (Hrsg.), *Zeitschrift für Pädagogik. 66. Beiheft. Empirische Forschung zu Unterrichtsqualität: Theoretische Grundfragen und quantitative Modellierungen* (S. 37–53). Beltz Juventa.

- Klieme, E., Pauli, C., & Reusser, K. (2009). The Pythagoras Study: Investigating Effects of Teaching and Learning in Swiss and German Mathematics Classrooms. In T. Janík & T. Seidel (Hrsg.), *The Power of Video Studies in Investigating Teaching and Learning in the Classroom* (1. Aufl., S. 137–160). Waxmann.
- Klusmann, U. (2011). Individuelle Voraussetzungen von Lehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 297–304). Waxmann.
- Klusmann, U. (2013). Individual Characteristics of Prospective Teachers. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Mathematics Teacher Education: Vol. 8. Cognitive Activation in the Mathematics Classroom and Professional Competence of Teachers: Results from the COACTIV Project* (S. 311–319). Springer.
- Koepfen, K., Hartig, J., Klieme, E., & Leutner, D. (2008). Current Issues in Competence Modeling and Assessment. *Zeitschrift für Psychologie*, 216(2), 61–73.
<https://doi.org/10.1027/0044-3409.216.2.61>
- König, J., & Pflanzl, B. (2016). Is Teacher Knowledge Associated With Performance? On the Relationship Between Teachers' General Pedagogical Knowledge and Instructional Quality. *European Journal of Teacher Education*, 39(4), 419–436.
<https://doi.org/10.1080/02619768.2016.1214128>
- Koponen, I. T., & Pehkonen, M. (2010). Coherent Knowledge Structures of Physics Represented as Concept Networks in Teacher Education. *Science & Education*, 19(3), 259–282. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9200-z>
- Korneck, F., Krüger, M., & Szogs, M. (2017). Professionswissen, Lehrerüberzeugungen und Unterrichtsqualität angehender Physiklehrkräfte unterschiedlicher Schulformen. In E. Sumfleth & H. Fischler (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen: Vol. 200. Professionelle Kompetenzen von Lehrkräften der Chemie und Physik* (Vol. 200, S. 113–133). Logos Verlag.
- Krauss, S., Blum, W., Brunner, M., Neubrand, M., Baumert, J., Kunter, M., Besser, M., & Elsner, J. (2013). Mathematics Teachers' Domain-Specific Professional Knowledge: Conceptualization and Test Construction in COACTIV. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Mathematics Teacher Education: Vol. 8. Cognitive Activation in the Mathematics Classroom and Professional Competence of Teachers: Results from the COACTIV Project* (S. 147–174). Springer.
- Krauss, S., & Bruckmaier, G. (2014). Das Experten-Paradigma in der Forschung zum Lehrerberuf. In E. Terhart, H. Bennewitz, & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (2. Aufl., S. 241–261). Waxmann.
- Krauss, S., Brunner, M., Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., & Jordan, A. (2008). Pedagogical Content Knowledge and Content Knowledge of Secondary

- Mathematics Teachers. *Journal of Educational Psychology*, 100(3), 716–725.
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.100.3.716>
- Krepf, M., Plöger, W., Scholl, D., & Seifert, A. (2018). Pedagogical Content Knowledge of Experts and Novices: What Knowledge Do They Activate When Analyzing Science Lessons? *Journal of Research in Science Teaching*, 55(1), 44–67.
<https://doi.org/10.1002/tea.21410>
- Kröger, J. (2019). *Struktur und Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte* (Dissertation). Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel.
<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:8-diss-251193>
- Kulgemeyer, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H., Schröder, J., & Vogelsang, C. (2020). Professional Knowledge Affects Action-related Skills: The Development of Preservice Physics Teachers' Explaining Skills During a Field Experience. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(10), 1554–1582. <https://doi.org/10.1002/tea.21632>
- 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*, 55(10), 1393–1418.
<https://doi.org/10.1002/tea.21457>
- Kulik, J. A., & McKeachie, W. J. (1975). The Evaluation of Teachers in Higher Education. *Review of Research in Education*, 3(1), 210–240.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2004). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004)*. KMK.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2005). *Eckpunkte für die gegenseitige Anerkennung von Bachelor- und Masterabschlüssen in Studiengängen, mit denen die Bildungsvoraussetzungen für ein Lehramt vermittelt werden*. KMK.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2012). *Ländergemeinsame Anforderungen für die Ausgestaltung des Vorbereitungsdienstes und die abschließende Staatsprüfung (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 06.12.2012)*. KMK.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2019). *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)*. KMK.
- Kunina-Habenicht, O., Schulze-Stocker, F., Kunter, M., Baumert, J., Leutner, D., Förster, D., Lohse-Bossenz, H., & Terhart, E. (2013). Die Bedeutung der Lerngelegenheiten im Lehramtsstudium und deren individuelle Nutzung für den Aufbau des bildungswissenschaftlichen Wissens. *Zeitschrift für Pädagogik*, 59(1), 1–23.
<https://doi.org/10.7767/boehlau.9783205789703.7>
- Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S., & Neubrand, M. (Hrsg.) (2011). *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Waxmann.

- Kunter, M., Kleickmann, T., Klusmann, U., & Richter, D. (2011). Die Entwicklung professioneller Kompetenz von Lehrkräften. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 55–68). Waxmann.
- Kunter, M., Klusmann, U., Baumert, J., Richter, D., Voss, T., & Hachfeld, A. (2013). Professional Competence of Teachers: Effects on Instructional Quality and Student Development. *Journal of Educational Psychology, 105*(3), 805–820.
<https://doi.org/10.1037/a0032583>
- Larcher, S., & Oelkers, J. (2004). Deutsche Lehrerbildung im internationalen Vergleich. In S. Blömeke, P. Reinhold, G. Tulodziecki, & J. Wildt (Hrsg.), *Handbuch Lehrerbildung* (S. 128–150). Klinkhardt und Westermann.
- Lee, E., Brown, M. N., Luft, J. A., & Roehrig, G. H. (2007). Assessing Beginning Secondary Science Teachers' PCK: Pilot Year Results. *School Science and Mathematics, 107*(2), 52–60.
- Lee, O. (1995). Subject Matter Knowledge, Classroom Management, and Instructional Practices in Middle School Science Classrooms. *Journal of Research in Science Teaching, 32*(4), 423–440.
- Lemberger, J., Hewson, P. W., & Park, H.-J. (1999). Relationships Between Prospective Secondary Teachers' Classroom Practice and Their Conceptions of Biology and of Teaching Science. *Science Education, 83*(3), 347–371.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199905\)83:3<347::AID-SCE5>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199905)83:3<347::AID-SCE5>3.0.CO;2-Y)
- Liepert, S., & Borowski, A. (2018). Testing the Consensus Model: relationships among physics teachers' professional knowledge, interconnectedness of content structure and student achievement. *International Journal of Science Education, 37*(3), 1–21. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1478165>
- Lipowsky, F. (2006). Auf den Lehrer kommt es an: Empirische Evidenzen für Zusammenhänge zwischen Lehrerkompetenzen, Lehrerhandeln und dem Lernen der Schüler. In C. Allemann-Ghionda & E. Terhart (Hrsg.), *Zeitschrift für Pädagogik. 51. Beiheft. Kompetenzen und Kompetenzentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern* (S. 47–70). Beltz.
- Livingston, K., & Flores, M. A. (2017). Trends in Teacher Education: A Review of Papers Published in the European Journal of Teacher Education Over 40 Years. *European Journal of Teacher Education, 40*(5), 551–560.
<https://doi.org/10.1080/02619768.2017.1387970>
- Lok, B., McNaught, C., & Young, K. (2016). Criterion-Referenced and Norm-Referenced Assessments: Compatibility and Complementarity. *Assessment & Evaluation in Higher Education, 41*(3), 450–465.
<https://doi.org/10.1080/02602938.2015.1022136>

- Loughran, J. (2002). Effective Reflective Practice: In Search of Meaning in Learning About Teaching. *Journal of Teacher Education*, 53(1), 33–43. <https://doi.org/10.1177/0022487102053001004>
- Loughran, J. (2019). Pedagogical Reasoning: The Foundation of the Professional Knowledge of Teaching. *Teachers and Teaching*, 25(5), 523–535. <https://doi.org/10.1080/13540602.2019.1633294>
- Lüders, M., Eisenacher, S., & Pleßmann, S. (2006). Der Umgang mit Studienzeit: Eine empirische Untersuchung bei Studierenden der Lehramter und im Diplom-Studiengang Erziehungswissenschaft. In C. Allemann-Ghionda & E. Terhart (Hrsg.), *Zeitschrift für Pädagogik. 51. Beiheft. Kompetenzen und Kompetenzentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern* (S. 116–129). Beltz.
- Lüdtke, O., & Robitzsch, A. (2020). Commentary Regarding the Section “Modelling the Effectiveness of Teaching Quality”. In A.-K. Praetorius, J. Grünkorn, & E. Klieme (Hrsg.), *Zeitschrift für Pädagogik. 66. Beiheft. Empirische Forschung zu Unterrichtsqualität: Theoretische Grundfragen und quantitative Modellierungen* (S. 210–222). Beltz Juventa.
- Luft, J. A. (2009). Beginning Secondary Science Teachers in Different Induction Programmes: The First Year of Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2355–2384. <https://doi.org/10.1080/09500690802369367>
- MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In L. M. Le Cam & J. Neyman (Hrsg.), *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* (Vol. 1, S. 281–297). University of California Press.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, Sources and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Hrsg.), *Science & Technology Education Library: Vol. 6. Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education* (S. 95–132). Kluwer Academic Publishers.
- Mäntylä, T., & Nousiainen, M. (2014). Consolidating Pre-service Physics Teachers’ Subject Matter Knowledge Using Didactical Reconstructions. *Science & Education*, 23(8), 1583–1604. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9657-7>
- Mardia, K. V. (1970). Measures of Multivariate Skewness and Kurtosis with Applications. *Biometrika*, 57(3), 519. <https://doi.org/10.2307/2334770>
- Markic, S., & Eilks, I. (2008). A Case Study on German First Year Chemistry Student Teachers' Beliefs About Chemistry Teaching, and Their Comparison With Student Teachers From Other Science Teaching Domains. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(1), 25–34. <https://doi.org/10.1039/B801288C>
- Marsh, H. W. (1982). SEEQ: A Reliable, Valid, and Useful Instrument for Collecting Students’ Evaluations of University Teaching. *British Journal of Educational Psychology*, 52(1), 77–95. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1982.tb02505.x>

- Mavhunga, E., & Rollnick, M. (2016). Teacher- or Learner-Centred? Teacher- or Learner-Centred? Science Teacher Beliefs Related to Topic Specific Pedagogical Content Knowledge. *Research in Science Education*, 46(6), 831–855.
<https://doi.org/10.1007/s11165-015-9483-9>
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S., & Constantinou, C. P. (2000). Preparing Teachers to Teach Physics and Physical Science by Inquiry. *Physics Education*, 35(6), 411–416.
- McFadden, D. L. (1979). Quantitative Methods for Analysing Travel Behavior of Individuals: Some Recent Developments. In D. A. Hensher & P. R. Stopher (Hrsg.), *Behavioural Travel Modelling* (S. 279–318). Croom Helm.
- McKeachie, W. J. (1969). Student Ratings of Faculty. *AAUP Bulletin*, 55(4), 439–444.
<https://doi.org/10.2307/40223857>
- Mitzel, H. C., Lewis, D. M., Patz, R. J., & Green, D. R. (2001). The Bookmark Procedure: Psychological Perspectives. In G. J. Cizek (Hrsg.), *Setting Performance Standards: Concepts, Methods, and Perspectives* (S. 249–281). Erlbaum.
- Moore, R. (2003). Reexamining the Field Experiences of Preservice Teachers. *Journal of Teacher Education*, 54(1), 31–42. <https://doi.org/10.1177/0022487102238656>
- Muijs, D., Campbell, J., Kyriakides, L., & Robinson, W. (2005). Making the Case for Differentiated Teacher Effectiveness: An Overview of Research in Four Key Areas. *School Effectiveness and School Improvement*, 16(1), 51–70.
<https://doi.org/10.1080/09243450500113985>
- Mulhall, P., & Gunstone, R. (2017). Views About Learning Physics Held by Physics Teachers with Differing Approaches to Teaching Physics. *Journal of Science Teacher Education*, 23, 429–449. <https://doi.org/10.1007/s10972-012-9291-2>
- Mullis, I. V. S., Cotter, K. E., Centurino, V. A. S., Fishbein, B. G., & Liu, J. (2016). Using Scale Anchoring to Interpret the TIMSS 2015 Achievement Scales. In M. O. Martin, I. V. S. Mullis, & M. Hooper (Hrsg.), *Methods and Procedures in TIMSS 2015* (14.1-14.47). Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center.
<http://timssandpirls.bc.edu>
- Mullis, I. V. S., & Fishbein, B. G. (2020). Using Scale Anchoring to Interpret the TIMSS 2019 Achievement Scales. In M. O. Martin, M. von Davier, & I. V. S. Mullis (Hrsg.), *Methods and Procedures: TIMSS 2019 Technical Report* (15.1–15.60). Boston College, TIMSS & PIRLS International Study Center. <http://timssandpirls.bc.edu>
- Neuhaus, B. (2007). Unterrichtsqualität als Forschungsfeld für empirische biologiedidaktische Studien. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 243–254). Springer.

- Neumann, K., Härtig, H., Harms, U., & Parchmann, I. (2017). Science Teacher Preparation in Germany. In J. E. Pedersen, T. Isozaki, & T. Hirano (Hrsg.), *Model Science Teacher Preparation Programs: An International Comparison of What Works* (S. 29–52). IAP Information Age Publishing.
- Neumann, K., Kind, V., & Harms, U. (2019). Probing the Amalgam: The Relationship Between Science Teachers' Content, Pedagogical and Pedagogical Content Knowledge. *International Journal of Science Education*, *41*(7), 847–861. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1497217>
- Nilsson, P. (2008). Teaching for Understanding: The Complex Nature of Pedagogical Content Knowledge in Pre-Service Education. *International Journal of Science Education*, *30*(10), 1281–1299. <https://doi.org/10.1080/09500690802186993>
- Nilsson, P. (2009). From Lesson Plan to New Comprehension: Exploring Student Teachers' Pedagogical Reasoning in Learning about Teaching. *European Journal of Teacher Education*, *32*(3), 239–258. <https://doi.org/10.1080/02619760802553048>
- Nilsson, P., & Vikström, A. (2015). Making PCK Explicit: Capturing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) in the Science Classroom. *International Journal of Science Education*, *37*(17), 2836–2857. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1106614>
- Nixon, R. S., Hill, K. M., & Luft, J. A. (2017). Secondary Science Teachers' Subject Matter Knowledge Development Across the First 5 Years. *Journal of Science Teacher Education*, *28*(7), 574–589. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2017.1388086>
- Nixon, R. S., Toerien, R., & Luft, J. A. (2019). Knowing More Than Their Students: Characterizing Secondary Science Teachers' Subject Matter Knowledge. *School Science and Mathematics*, *119*(3), 150–160. <https://doi.org/10.1111/ssm.12323>
- Nordine, J., Krajcik, J., Fortus, D., & Neumann, K. (2019). Using Storylines to Support Three-Dimensional Learning in Project-Based Science. *Science Scope*, *42*(0). https://doi.org/10.2505/4/ss19_042_06_86
- Nordine, J., Sorge, S., Delen, I., Evans, R., Juuti, K., Lavonen, J., Nilsson, P., Ropohl, M., & Stadler, M. (2021). Promoting Coherent Science Instruction through Coherent Science Teacher Education: A Model Framework for Program Design. *Journal of Science Teacher Education*, *32*(8), 911–933. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.1902631>
- OECD (2017). Proficiency Scale Construction. In *PISA 2015 Technical Report* (S. 275–287): OECD. https://www.oecd.org/pisa/data/2015-technical-report/PISA2015_TechRep_Final.pdf
- Olson, J. K., Tippett, C. D., Milford, T. M., Ohana, C., & Clough, M. P. (2017). Science Teacher Preparation in a North American Context. *Journal of Science Teacher Education*, *26*(1), 7–28. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9417-9>

- Olszewski, J. (2010). *The Impact of Physics Teachers' Pedagogical Content Knowledge on Teacher Actions and Student Outcomes. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 109*. Berlin. Logos Verlag.
- Pajares, M. F. (1992). Teachers' Beliefs and Educational Research: Cleaning Up a Messy Construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307–332.
<https://doi.org/10.3102/00346543062003307>
- Park, S., & Chen, Y.-C. (2012). Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK): Examples from high school biology classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 922–941.
- Park, S., Jang, J.-Y., Chen, Y.-C., & Jung, J. (2011). Is Pedagogical Content Knowledge (PCK) Necessary for Reformed Science Teaching? Evidence from an Empirical Study. *Research in Science Education*, 41(2), 245–260.
<https://doi.org/10.1007/s11165-009-9163-8>
- 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>
- Pianta, R. C., & Hamre, B. K. (2009). Conceptualization, Measurement, and Improvement of Classroom Processes: Standardized Observation Can Leverage Capacity. *Educational Researcher*, 38(2), 109–119.
<https://doi.org/10.3102/0013189X09332374>
- Pitjeng-Mosabala, P., & Rollnick, M. (2018). Exploring the Development of Novice Unqualified Graduate Teachers' Topic-Specific PCK in Teaching the Particulate Nature of Matter in South Africa's Classrooms. *International Journal of Science Education*, 40(7), 742–770. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1446569>
- Planinic, M., Boone, W. J., Susac, A., & Ivanjek, L. (2019). Rasch Analysis in Physics Education Research: Why Measurement Matters. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 1–14. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEdu-Res.15.020111>
- Praetorius, A.-K., Klieme, E., Herbert, B., & Pinger, P. (2018). Generic Dimensions of Teaching Quality: The German Framework of Three Basic Dimensions. *ZDM Mathematics Education*, 50, 407–426. <https://doi.org/10.1007/s11858-018-0918-4>
- Puntambekar, S., & Hübscher, R. (2005). Tools for Scaffolding Students in a Complex Learning Environment: What Have We Gained and What Have We Missed? *Educational Psychologist*, 40(1), 1–12. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4001_1
- R Core Team (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. The R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

- Radhoff, M., & Ruberg, C. (2016). Die Lehramtsausbildung. In H.-C. Koller, H. Faulstich-Wieland, H. Weishaupt, & I. Züchner (Hrsg.), *Schriften der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft (DGfE). Datenreport Erziehungswissenschaft 2016* (S. 41–69). Budrich Barbara.
- Raftery, A. E. (1995). Bayesian Model Selection in Social Research. *Sociological Methodology*, 25, 111. <https://doi.org/10.2307/271063>
- Rasch, G. (1960). *Probabilistic Models for some Intelligence and Attainment Tests*. Danish Institute for Educational Research.
- Reintjes, C., Bellenberg, G., & Labott, D. (2021). Erwartungen an Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst: Eine Bestandsaufnahme. In J. Peitz & M. Harring (Hrsg.), *Das Referendariat: Ein systematischer Blick auf den schulpraktischen Vorbereitungsdienst* (S. 119–129). Waxmann.
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 97*. Berlin. Logos Verlag.
- Riese, J., Gramzow, Y., & Reinhold, P. (2017). Die Messung fachdidaktischen Wissens bei Anfängern und Fortgeschrittenen im Lehramtsstudiengang Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 99–112. <https://doi.org/10.1007/s40573-017-0059-2>
- 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. In S. Blömeke & O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), *Zeitschrift für Pädagogik. 61. Beiheft. Kompetenzen von Studierenden* (S. 55–79). Beltz.
- Riese, J., & Reinhold, P. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Struktur professioneller Handlungskompetenz von angehenden Physiklehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 167–187.
- Riese, J., & Reinhold, P. (2012). Die professionelle Kompetenz angehender Physiklehrkräfte in verschiedenen Ausbildungsformen: Empirische Hinweise für eine Verbesserung des Lehramtsstudiums. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15(1), 111–143. <https://doi.org/10.1007/s11618-012-0259-y>
- Rindermann, H. (2003). Lehrevaluation an Hochschulen: Schlussfolgerungen aus Forschung und Anwendung für Hochschulunterricht und seine Evaluation. *Zeitschrift für Evaluation*, 2, 233–256.
- Rindermann, H., & Amelang, M. (1994). *Das Heidelberger Inventar zur Lehrveranstaltungs-Evaluation*. Asanger.
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R. S., & Alibali, M. W. (2001). Developing Conceptual Understanding and Procedural Skill in Mathematics: An Iterative Process. *Journal of Educational Psychology*, 93(2). <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.2.346>

- Robitzsch, A., Kiefer, T., & Wu, M. (2019). *TAM: Test Analysis Modules. R package version 3.2-24*. <https://CRAN.R-project.org/package=TAM>
- Rollnick, M. (2017). Learning About Semi Conductors for Teaching—the Role Played by Content Knowledge in Pedagogical Content Knowledge (PCK) Development. *Research in Science Education*, *47*(4), 833–868. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9530-1>
- Rollnick, M., Bennett, J., Rhemtula, M., Dharsey, N., & Ndlovu, T. (2008). The Place of Subject Matter Knowledge in Pedagogical Content Knowledge: A Case Study of South African Teachers Teaching the Amount of Substance and Chemical Equilibrium. *International Journal of Science Education*, *30*(10), 1365–1387. <https://doi.org/10.1080/09500690802187025>
- Roloff Henoch, J., Klusmann, U., Lüdtke, O., & Trautwein, U. (2015). Who Becomes a Teacher? Challenging the “Negative Selection” Hypothesis. *Learning and Instruction*, *36*, 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.11.005>
- Rosseel, Y. (2012). lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software*, *48*(2), 1–36. <http://www.jstatsoft.org/v48/i02/>
- Rousseuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, *20*, 53–65.
- Ryle, G. (1949). *The Concept of Mind*. Hutchinson.
- 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>
- Sahdra, B., & Thagard, P. (2003). Procedural Knowledge in Molecular Biology. *Philosophical Psychology*, *16*(4), 477–498. <https://doi.org/10.1080/0951508032000121788>
- Şahin, E., & Yağbasan, R. (2012). Determining Which Introductory Physics Topics Pre-Service Physics Teachers Have Difficulty Understanding and What Accounts for these Difficulties. *European Journal of Physics*, *33*(2), 315–325.
- Schiering, D., Sorge, S., Petersen, S., & Neumann, K. (2019). Konstruktion eines qualitativen Niveaumodells im fachdidaktischen Wissen von angehenden Physiklehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *25*(1), 211–229. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00100-y>
- Schiering, D., Sorge, S., Tröbst, S., & Neumann, K. (2021). *Course Quality in Higher Education Teacher Training: What Matters for Pre-Service Physics Teachers’ Content Knowledge Development?* [Manuscript submitted for publication].
- Schlichter, N. (2012). *Lehrerüberzeugungen zum Lehren und Lernen* (Dissertation). Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.

- Schmidt, B. (2008). Qualität der Lehre an Hochschulen. In E. Klieme & R. Tippelt (Hrsg.), *Zeitschrift für Pädagogik*. 53. Beiheft. *Qualitätssicherung im Bildungswesen* (S. 156–170). Beltz.
- Schmidt, B., & Tippelt, R. (2005). Besser Lehren: Neues von der Hochschuldidaktik? In U. Teichler & R. Tippelt (Hrsg.), *Zeitschrift für Pädagogik*. 50. Beiheft. *Hochschullandschaft im Wandel* (S. 103–114). Beltz.
- Schmidt, W. H., Tatto, M. T., Bankov, K., Blömeke, S., Cedillo, T., Cogan, L., . . . Schwille, J. (2007). *The Preparation Gap: Teacher Education for Middle School Mathematics in Six Countries*. MT21 Report.
- Schneider, M., & Preckel, F. (2017). Variables Associated With Achievement in Higher Education: A Systematic Review of Meta-Analyses. *Psychological Bulletin*, 143(6), 565–600. <https://doi.org/10.1037/bul0000098>
- Schneider, R. M., & Plasman, K. (2011). Science Teacher Learning Progressions: A Review of Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Development. *Review of Educational Research*, 81(4), 530–565. <https://doi.org/10.3102/0034654311423382>
- Schödl, A. (2017). *FALKO-Physik - Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Fach Physik: Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zur Erfassung des fachspezifischen Professionswissens von Physiklehrkräften*. Dissertation. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 236*.
- Schoenfeld, A. (1998). Toward a Theory of Teaching-In-Context. *Issues in Education*, 4(1), 1–94. [https://doi.org/10.1016/S1080-9724\(99\)80076-7](https://doi.org/10.1016/S1080-9724(99)80076-7)
- Schröder, J., Riese, J., Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Kulgemeyer, C., Reinhold, P., & Schecker, H. (2020). Die Messung der Fähigkeit zur Unterrichtsplanung im Fach Physik mit Hilfe eines standardisierten Performanztests. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00115-w>
- Schwab, J. J. (1978). *Science, Curriculum, and Liberal Education: Selected Essays*. University of Chicago Press.
- Seidel, T., Rimmele, R., & Prenzel, M. (2005). Clarity and Coherence of Lesson Goals as a Scaffold for Student Learning. *Learning and Instruction*, 15(6), 539–556. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2005.08.004>
- Sharafi, A. (2013). *Knowledge Discovery in Databases: Eine Analyse des Änderungsmanagements in der Produktentwicklung*. Springer Fachmedien.
- Shavelson, R. J., Ruiz-Primo, M. A., & Wiley, E. W. (2005). Windows into the Mind. *Higher Education*, 49, 413–430. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-9448-9>
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(4), 4–14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.

- Shulman, L. S. (2015). PCK: Its Genesis and Exodus. In A. Berry, P. J. Friedrichsen, & J. Loughran (Hrsg.), *Teaching and Learning in Science Series. Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (1. Aufl., S. 3–13). Routledge.
- Smith, P. S., & Banilower, E. R. (2015). Assessing PCK: A New Application of the Uncertainty Principle. In A. Berry, P. J. Friedrichsen, & J. Loughran (Hrsg.), *Teaching and Learning in Science Series. Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (1. Aufl., S. 88–103). Routledge.
- Sorge, S., Kröger, J., Petersen, S., & Neumann, K. (2019). Structure and Development of Pre-Service Physics Teachers' Professional Knowledge. *International Journal of Science Education*, *41*(7), 862–889.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1346326>
- Sorge, S., Stender, A., & Neumann, K. (2019). The Development of Science Teachers' Professional Competence. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 149–164). Springer Singapore.
- Stender, A., Brückmann, M., & Neumann, K. (2017). Transformation of Topic-Specific Professional Knowledge into Personal Pedagogical Content Knowledge Through Lesson Planning. *International Journal of Science Education*, *39*(12), 1690–1714.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1351645>
- Straube, P. (2016). *Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik*. Dissertation. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 209*. Berlin. Logos Verlag.
- Sun, R., Merrill, E., & Peterson, T. (2001). From Implicit Skills to Explicit Knowledge: A Bottom-up Model of Skill Learning. *Cognitive Science*, *25*, 204–244.
https://doi.org/10.1207/s15516709cog2502_2
- Tachtsoglou, S., & König, J. (2017). Der Einfluss universitärer Lerngelegenheiten auf das pädagogische Wissen von Lehramtsstudierenden. *Zeitschrift für Bildungsforschung*, *7*(3), 291–310. <https://doi.org/10.1007/s35834-017-0199-y>
- Taconis, R., Ferguson-Hessler, M. G. M., & Broekkamp, H. (2001). Teaching Science Problem Solving: An Overview of Experimental Work. *Journal of Research in Science Teaching*, *38*(4), 442–468. <https://doi.org/10.1002/tea.1013>
- Tatto, M. T. (2021). Professionalism in Teaching and the Role of Teacher Education. *European Journal of Teacher Education*, *44*(1), 20–44.
<https://doi.org/10.1080/02619768.2020.1849130>
- Teo, T., Chai, C. S., Hung, D., & Lee, C. B. (2008). Beliefs About Teaching and Uses of Technology Among Pre-Service Teachers. *Asia-Pacific Journal of Teacher Education*, *36*(2), 163–174. <https://doi.org/10.1080/13598660801971641>
- Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Fischer, H. E., Jüttner, M., Kirschner, S., Leutner, D., Neuhaus, B. J., Sandmann, A., Sumfleth, E., Thillmann, H., & Wirth, J.

- (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19(1), 7–28.
- Tepner, O., & Sumfleth, E. (2019). Postscript. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 315–329). Springer Singapore.
- Terhart, E. (2007). Standards in der Lehrerbildung - eine Einführung. *Unterrichtswissenschaft*, 35(1), 2–14.
- Terhart, E. (2008). Die Lehrerbildung. In K. S. Cortina, J. Baumert, A. Leschinsky, K. U. Mayer, & L. Trommer (Hrsg.), *Das Bildungswesen in der Bundesrepublik Deutschland. Strukturen und Entwicklungen im Überblick: der neue Bericht des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung* (S. 745–772). Rowohlt Taschenbuch.
- Terhart, E. (2012). Wie wirkt Lehrerbildung? Forschungsprobleme und Gestaltungsfragen. *Zeitschrift für Bildungsforschung*, 2(1), 3–21. <https://doi.org/10.1007/s35834-012-0027-3>
- Trendtel, M., Pham, G., & Yanagida, T. (2016). Skalierung und Linking. In S. Breit & C. Schreiner (Hrsg.), *Large-Scale Assessment mit R: Methodische Grundlagen der österreichischen Bildungsstandardüberprüfung* (S. 185–224). facultas.
- Tröbst, S., Kleickmann, T., Heinze, A., Bernholt, A., Rink, R., & Kunter, M. (2018). Teacher Knowledge Experiment: Testing Mechanisms Underlying the Formation of Preservice Elementary School Teachers' Pedagogical Content Knowledge Concerning Fractions and Fractional Arithmetic. *Journal of Educational Psychology*, 110(8), 1049–1065. <https://doi.org/10.1037/edu0000260>
- Tynjälä, P. (2008). Perspectives Into Learning at the Workplace. *Educational Research Review*, 3(2), 130–154. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2007.12.001>
- Van Driel, J. H., Berry, A., & Meirink, J. (2014). Research on Science Teacher Knowledge. In N. G. Lederman & S. Abell (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (1. Aufl., S. 848–870). Routledge.
- Van Driel, J. H., de Jong, O., & Verloop, N. (2002). The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Science Education*, 86(4), 572–590. <https://doi.org/10.1002/sce.10010>
- Van Driel, J. H., Verloop, N., & Vos, W. de (1998). Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673–695. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199808\)35:6<673::AID-TEA5>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199808)35:6<673::AID-TEA5>3.0.CO;2-J)
- Vogelsang, C., Borowski, A., Kulgemeyer, C., Riese, J., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Reinhold, P., Schecker, H., & Schröder, J. (2020). Development of Prospective Physics Teachers' Professional Knowledge and Skills during a One-Semester School Internship. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, H. A. Pant, M. Toep-

- per, & C. Lautenbach (Hrsg.), *Student Learning in German Higher Education: Innovative Measurement Approaches and Research Results* (S. 105–123). Springer VS.
- Vogelsang, C., & Cauet, E. (2017). Wie valide sind Professionswissenstests? Zum Zusammenhang von erfasstem Wissen, Unterrichtshandeln und Unterrichtserfolg. In E. Sumfleth & H. Fischler (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen: Vol. 200. Professionelle Kompetenzen von Lehrkräften der Chemie und Physik* (S. 77–96). Logos Verlag.
- Von Davier, M. (2016). Rasch Model. In W. J. van der Linden (Hrsg.), *Handbook of Item Response Theory, Three Volume Set* (S. 31–48). Chapman and Hall/CRC.
- Von Davier, M., & von Davier, A. A. (2011). A General Model for IRT Scale Linking and Scale Transformations. In A. A. von Davier (Hrsg.), *Statistics for Social and Behavioral Sciences. Statistical Models for Test Equating, Scaling, and Linking* (S. 225–242). Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-98138-3_14
- Watson, C., Seifert, A., & Schaper, N. (2018). Die Nutzung institutioneller Lerngelegenheiten und die Entwicklung bildungswissenschaftlichen Wissens angehender Lehrkräfte. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 21(3), 565–588. <https://doi.org/10.1007/s11618-017-0794-7>
- Weiler, H. N. (2007). Neue Wege in der Lehrerbildung: Staatliche und universitäre Verantwortlichkeiten. In D. Lemmermöhle, M. Rothgangel, S. Bögeholz, M. Haselhorn, & R. Watermann (Hrsg.), *Professionell lehren, erfolgreich lernen* (S. 23–50). Waxmann.
- Weinert, F. E. (2001). Concept of Competence: A Conceptual Clarification. In D. S. Rychen & L. H. Salganik (Hrsg.), *Defining and Selecting Key Competencies* (S. 45–65). Hogrefe & Huber.
- Weinert, F. E., Schrader, F.-W., & Helmke, A. (1990). Educational Expertise: Closing the Gap between Educational Research and Classroom Practice. *School Psychology International*, 11(3), 163–180. <https://doi.org/10.1177/0143034390113002>
- Willems, A. S. (2016). Unterrichtsqualität und professionelles Lehrerhandeln: Prozesse und Wirkungen guten Unterrichts aus dem Blickwinkel der empirischen Schul- und Unterrichtsforschung. In R. Porsch (Hrsg.), *Einführung in die Allgemeine Didaktik: Ein Lehr- und Arbeitsbuch für Lehramtsstudierende* (289–338). Waxmann.
- Wilson, C. D., Borowski, A., & van Driel, J. (2019). Perspectives on the Future of PCK Research in Science Education and Beyond. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 289–300). Springer Singapore.
- Windschitl, M. (2002). Framing Constructivism in Practice as the Negotiation of Dilemmas: An Analysis of the Conceptual, Pedagogical, Cultural, and Political Challenges Facing Teachers. *Review of Educational Research*, 72(2), 131–175. <https://doi.org/10.3102/00346543072002131>

- Woitkowski, D. (2020). Tracing Physics Content Knowledge Gains Using Content Complexity Levels. *International Journal of Science Education*, 17(2), 1–24. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1772520>
- Yee, T. W. (2010). The VGAM Package for Categorical Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 32(10), 1–34. <https://doi.org/10.18637/jss.v032.i10>
- Zeichner, K., & Conklin, H. G. (2008). Teacher Education Programs as Sites for Teacher Preparation. In M. Cochran-Smith, S. Feiman-Nemser, D. J. McIntyre, & K. E. Demers (Hrsg.), *Handbook of Research on Teacher Education: Enduring Issues in Changing Contexts* (3. Aufl., S. 269–289). Routledge.
- Zemal-Saul, C., Krajcik, J., & Blumenfeld, P. (2002). Elementary Student Teachers' Science Content Representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 443–463. <https://doi.org/10.1002/tea.10032>
- Zlatkin-Troitschanskaia, O., Pant, H. A., Lautenbach, C., Molerov, D., Toepper, M., & Brückner, S. (2017). Competency Orientation in Higher Education. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, H. A. Pant, C. Lautenbach, D. Molerov, M. Toepper, & S. Brückner (Hrsg.), *Modeling and Measuring Competencies in Higher Education: Approaches to Challenges in Higher Education Policy and Practice* (S. 1–5). Springer VS.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1 Modell zur Entwicklung einer professionellen Kompetenz von angehenden Lehrkräften im Rahmen ihrer universitären Lehramtsausbildung. In Anlehnung an Carlson et al. (2019) und Kunter, Kleickmann et al. (2011). 13

Abbildung 3.1 Überblick über die vier Studien im Modell zur Entwicklung einer professionellen Kompetenz von angehenden Lehrkräften nach Carlson et al. (2019) und Kunter et al. (2011). A) Verortung der Studie 1. B) Verortung der Studien 2 und 3. C) Verortung der Studie 4..... 18

Abbildung 4.1 Verteilung der Datenpunkte über die Studienjahre.30

Abbildung 4.2 Boxplot der aufsummierten Semesterwochenstunden (SWS) in den 25 Studiengängen bis zum Ende des sechsten Semesters. Links (grün) sind die SWS im Fach, rechts (orange) die SWS in der Fachdidaktik dargestellt. Die Box spannt sich jeweils vom 25%-Quantil bis zum 75%-Quantil auf, der Balken in der Mitte der Box kennzeichnet den jeweiligen Median.....34

Abbildung 4.3 Mittlere SWS (bis zum Ende des sechsten Semesters) über alle 25 Studiengänge entlang der Themenbereiche (dargestellt sind die Themenbereiche Experimentalphysik (Inhalte 1–5, grün), theoretische Physik und Physikdidaktik (Inhalte 7–13, orange). \bar{M} gibt den durchschnittlichen Umfang in SWS an, SD die Standardabweichung. Min bzw. Max stellt die kleinste bzw. größte SWS-Anzahl über alle 25 Studiengänge dar. Start repräsentiert den Median der Semester, in dem der Inhalt das erste Mal in einer Veranstaltung fokussiert wird. NA gibt an, wie viele Studiengänge den Inhalt bis zum Ende des sechsten Semesters nicht adressieren....35

Abbildung 4.4 Ergebnis der k-mean Clustering mit $k = 4$ Cluster gemäß ihrer Semesterwochenstunden (SWS) in Fach und Fachdidaktik bis zum Ende des sechsten Semesters. Die großen Symbole repräsentieren den jeweiligen Centroid des Clusters. Die x- und y-Achse sind z-standardisiert.....36

Figure 5.1 Dimensions of instructional quality suggested by different authors. Dimensions in the column heads represent dimensions examined in this study.49

Figure 5.2 Study design.52

Figure 5.3 Distribution of the number of pretest observations per year of study.52

Figure 5.4 Sample CK item in solid-state physics.53

Figure 6.1 Distribution of the number of observations per year of study..... 67

Figure 6.2 Sample multiple-choice CK items. A) shows a sample declarative CK item, B) shows a sample procedural-conditional CK item.68

Figure 6.3 Progression of student teachers’ declarative and procedural-conditional CK across their bachelor program. d represents the effect size of progression. Note that the units of CK are on an arbitrary but common scale. ** $p < .01$; * $p < .05$; (ns) not statistically significant. 71

Figure 6.4 Cross-lagged model used to analyze student teachers’ development of declarative and procedural-conditional CK. All coefficients are standardized. Dashed lines indicate non-significant path coefficients. Auxiliary variables and correlations are not displayed. ^a0 = female and 1 = male. *** $p < .001$; ** $p < .01$; * $p < .05$72

Figure 7.1 Distribution of the final data set. The bar plot shows the number of observations per year of study.82

Figure 7.2 Sample multiple-choice items. A) shows a sample pPCK item. Appendix 2 features the coding scheme and possible answers of this pPCK item. B) shows a sample CK item.....84

Figure 7.3 Wright-Map for pPCK with level limits. The colors green (cross), yellow (square), red (triangle) and grey (star) represent the level thresholds 1, 2, 3 and 3+. The black colored pre-service teachers are below level 189

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4.1 Centroide der vier Cluster.	37
Tabelle 4.2 Korrelationsmatrix und deskriptive Angaben der verwendeten Variablen.	38
Tabelle 4.3 Regressionsmodelle zur Erklärung des Fachwissens angehender Physiklehrkräfte.	38
Tabelle 4.4 Regressionsmodelle zur Erklärung des fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte.	39
Table 5.1 Descriptive statistics and correlations for ratings of course quality.	55
Table 5.2 Model fit indices for CFA.	56
Table 5.3 Results of path models to predict pre-service teachers' posttest CK.	57
Table 6.1 Number of CK items per year-specific booklet and kind of knowledge.	67
Table 6.2 Descriptive statistics and correlations of study variables.	70
Table 7.1 Description of the three groups of participants.	88
Table 7.2 Description of the four sets of items.	88
Table 7.3 Characterization of pre-service physics teachers' proficiency levels.	90
Table 7.4 Descriptive statistics and correlations of study variables.	91
Table 7.5 Results of the non-proportional adjacent category model to predict pre-service physics teachers' pPCK level.	92

ANHANG

Appendix 1 Regression coefficients of the cross-lagged model.

Variable	β	p
<i>Pretest declarative CK</i>		
Year of study	0.46	.000
Gender ^a	0.35	.000
<i>Pretest procedural–conditional CK</i>		
Year of study	0.33	.000
Gender ^a	0.39	.000
<i>Posttest declarative CK</i>		
Pretest declarative CK	0.52	.000
Pretest procedural–conditional CK	0.25	.002
Quantity	0.16	.014
Cognitive support	0.02	.673
Year of study	0.15	.030
Gender ^a	0.17	.004
<i>Posttest procedural–conditional CK</i>		
Pretest declarative CK	0.27	.006
Pretest procedural–conditional CK	0.55	.000
Quantity	0.16	.028
Cognitive support	0.20	.001
Year of study	–0.23	.758
Gender ^a	0.13	.039

Note. All values are standardized. ^a 0 = female and 1 = male.

Appendix 2 Coding scheme and possible answers of the pPCK item displayed in Figure 7.2a.

Scoring Rubric		Sample answers
Full Credit (1)	One of the following two solutions or a similar solution is provided: i) Force vector in the direction of movement; there needs to be a force 'responsible' for the movement, ii) Force vector in the direction of the resultant force; instinctive drawing of a parallelogram of forces.	<ul style="list-style-type: none"> - [Force vector to the right] There must be a force acting to the right, in order to make m move to the right. - [Force vector in the direction of the resultant force] Since \vec{F}_2 is larger than \vec{F}_1, m will fly into this direction. - [Force vector upwards] The vector sum of all forces must point in the direction of movement.
No Credit (0)	No solution or a solution other than the above solution or a similar solution is provided	<ul style="list-style-type: none"> - [Force vector pointing left] Resistance of the air. Students think in two dimensions. - [No force vector] m is moving into the direction of \vec{F}_2 since \vec{F}_2 is larger (longer vector). - [Force vector to the right] m is moving to the right. The direction of movement of \vec{v}.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Dissertation – abgesehen von der Beratung durch meine Betreuer*innen – nach Inhalt und Form meine eigene Arbeit ist und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt wurden. Die vorliegende Dissertation wurde weder ganz noch zum Teil einer anderen Stelle im Rahmen eines Prüfungsverfahrens vorgelegt, veröffentlicht oder zur Veröffentlichung eingereicht. Teile dieser Arbeit wurden bereits in Form von Zeitschriftenartikeln publiziert bzw. sind zur Publikation eingereicht. Die vorliegende Arbeit ist unter Einhaltung der Regeln guter wissenschaftlicher Praxis der Deutschen Forschungsgemeinschaft entstanden. Ich erkläre ferner, dass mir kein akademischer Grad entzogen wurde.

Kiel, den

Dustin Schiering