



Der Zusammenhang zwischen der Qualität von Experimentalpraktika und der Entwicklung der professionellen Kompetenz angehender Physiklehrkräfte

Stefan Sorge¹ · Christian Hansen¹ · Jasmin Andersen^{1,2} · Dustin Schiering¹ · Knut Neumann¹

Eingegangen: 6. April 2022 / Angenommen: 17. Oktober 2023 / Online publiziert: 4. Dezember 2023
© The Author(s) 2023

Zusammenfassung

In dieser Studie analysieren wir den Beitrag von Experimentalpraktika zur Entwicklung der professionellen Kompetenz angehender Lehrkräfte des Faches Physik. Experimentalpraktika verfolgen verschiedene Ziele, die sowohl das fachliche Lernen als auch die Entwicklung positiver motivationaler Orientierungen adressieren. Beide Aspekte sind zentrale Facetten der professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften. Während in einzelnen Laborstudien die Wirksamkeit von lehramtsspezifischen Praktika gezeigt werden konnte, ist der Beitrag dieses Lehrveranstaltungsformat für die Entwicklung der angehenden Lehrkräfte im Feld noch weitgehend unklar. Zur Untersuchung der Qualität von Experimentalpraktika wurden daher $N=105$ Qualitätseinschätzungen Physiklehramtsstudierenden analysiert und gleichsam deren Bedeutung für die Entwicklung im Fachwissen, Interesse und Selbstwirksamkeitserwartungen im Laufe eines Studienjahres untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Lehramtsstudierende der Physik die Qualität von Experimentalpraktika als relativ hoch bewerten. Mit Hilfe von linearen Regressionsgleichungen konnte zudem gezeigt werden, dass ein Zuwachs im Bereich der Selbstwirksamkeitserwartungen beim Planen und Durchführen von Experimenten für den Physikunterricht nach Besuch eines qualitativ hochwertigen Experimentalpraktikums erfolgt. Demgegenüber konnte kein signifikanter Einfluss auf den Fachwissenserwerb und die Interessensentwicklung gefunden werden.

Schlüsselwörter Experimentalpraktika · Selbstwirksamkeitserwartung · Physiklehramtsstudierende · Professionelle Handlungskompetenz

✉ Stefan Sorge
sorge@leibniz-ipn.de

¹ Didaktik der Physik, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Olshausenstr. 62, 24118 Kiel, Deutschland

² Atom- und Plasmaphysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Leibnizstr. 15, 24118 Kiel, Deutschland

The Relationship Between the Quality in Laboratory Courses During Physics Teacher Education and Pre-Service Physics Teachers' Professional Competence

Abstract

In this study, we analyze the contribution of laboratory courses on the development of pre-service physics teachers' professional competence. Laboratory courses in physics teacher education pursue different goals that address both subject-specific learning and the development of positive motivational orientations. Both aspects are central facets of teachers' professional competence. While individual intervention studies have demonstrated the effectiveness of teaching-specific laboratory courses, the contribution of this course format to pre-service teachers' development in the field is still largely unclear. Therefore, to investigate the quality of laboratory courses, $N=105$ quality assessments of pre-service physics teachers were analyzed and their impact for the development of content knowledge, interest, and self-efficacy beliefs over the course of an academic year were examined. The results show that pre-service physics teachers rate the quality of laboratory courses as relatively high. Using linear regression equations, it could also be shown that an increase in self-efficacy beliefs for planning and conducting experiments in physics classes occurs after attending a high-quality laboratory course. In contrast, no significant influence on content knowledge acquisition and interest development could be found.

Keywords Laboratory courses · Self-efficacy beliefs · Pre-service physics teachers · Professional competence

Einleitung

Als wesentliches Element naturwissenschaftlichen Arbeitens spielen Experimente eine zentrale Rolle im Physikunterricht (Kultusministerkonferenz [KMK] 2004; Schecker et al. 2016). Darüber hinaus können Experimente das Lernen von Physik unterstützen, da sie ein Bindeglied zwischen konkreten Erfahrungen und abstrakten Konzepten und Interpretationen darstellen (z. B. Welzel et al. 1998). Experimente werden zudem mit einer hohen motivationalen Wirkung in Verbindung gebracht (Tesch und Duit 2004). Die positive Wirkung von Experimenten auf die Motivation von Schüler*innen hängt jedoch von der tatsächlichen Einbettung der Experimente in den Unterrichtsgang ab (Tesch und Duit 2004; siehe auch Harlen 1999). Um Experimente lernförderlich und motivierend gestalten zu können, benötigen Lehrkräfte entsprechende professionelle Handlungskompetenz (Baumert und Kunter 2006; Korneck et al. 2017; Kulgemeyer et al. 2020).

Das Lehramtsstudium spielt bei der Entwicklung professioneller Handlungskompetenz eine wesentliche Rolle. Neben Vorlesungen, Übungen und Seminaren sind es speziell Experimentalpraktika in denen angehende Lehrkräfte professionelle Handlungskompetenz erwerben sollen (Deutsche Physikalische Gesellschaft [DPG] 2014). Somit setzen sich die angehenden Lehrkräfte ähnlich wie Schüler*innen mit dem Experimentieren auseinander. In Ergänzung zur zuvor beschriebenen Rolle von Experimenten im Physikunterricht (KMK 2004), verfolgen Experimentalpraktika dabei nach Neumann (2004) unter anderem das Ziel, die Fähigkeiten und Fertigkeiten in der Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten zu stärken, das Fachwissen zu vertiefen sowie das Interesse an Physik und die Motivation für die weitere Ausbildung zu stärken. Damit kann davon

ausgegangen werden, dass Experimentalpraktika einen Beitrag zur Entwicklung entsprechender Facetten professioneller Handlungskompetenz von Lehrkräften wie dem Professionswissen, der Motivation und selbstregulativer Fähigkeiten leisten (Baumert und Kunter 2006) und damit noch einmal zusätzliche Aspekte im Vergleich zu Experimenten im Physikunterricht adressieren. Andersen (2020) konnte dazu bereits zeigen, dass ein speziell für Lehrkräfte konzipiertes Experimentalpraktikum positive Effekte auf die wahrgenommene Relevanz durch die Lehramtsstudierenden hat. Das zentrale Qualitätsmerkmal der wahrgenommenen Relevanz wiederum wirkte sich positiv auf Fachwissen, Interesse und den Selbstwirksamkeitserwartungen bezogen auf das Planen und Durchführen von Experimenten für den Unterricht bei den angehenden Physiklehrkräften aus (Andersen 2020). Eine breitere Erfassung von Qualitätsmerkmalen von Experimentalpraktika bietet das sogenannte 3L-Modell von Rehfeldt (2017). Dieses verknüpft die Gestaltung der Praktika (Lernumgebung) sowie die Betreuung in den Praktika (Lehrkompetenz) mit dem Kompetenzzuwachs auf Seiten der angehenden Physiklehrkräfte (Lernzuwachs) zur umfassenden Bestimmung der Qualität von Experimentalpraktika. Noch offen ist aber, inwieweit die Qualität von Experimentalpraktika im Feld die Entwicklung der professionellen Handlungskompetenz der angehenden Physiklehrkräfte tatsächlich beeinflusst.

Ziel dieser Studie ist es daher, dem Zusammenhang zwischen der Qualität der Experimentalpraktika und dem Erwerb professioneller Handlungskompetenz nachzugehen. Es wird insbesondere untersucht, welcher Zusammenhang zwischen der Teilnahme an Experimentalpraktika unterschiedlicher Qualität und der Änderung des Fachwissens, des Interesses sowie der Selbstwirksamkeitserwartungen beim Umgang mit Experimenten bestehen. Diese werden

gleichsam als zentrale Komponenten des erwarteten Ertrags von Experimentalpraktika (Neumann 2004) und der professionellen Handlungskompetenz (Baumert und Kunter 2006) eingeschätzt. Damit wird ein Einblick in den Beitrag von Experimentalpraktika für den Kompetenzaufbau angehender Physiklehrkräfte ermöglicht und somit eine Grundlage für die Weiterentwicklung dieser zentralen Lerngelegenheit geschaffen.

Theoretischer Hintergrund

Bei Experimentalpraktika handelt es sich um komplexe Lernumgebungen, die fester Bestandteil des Lehramtsstudiums Physik sind. Eine Möglichkeit Experimentalpraktika genauer zu charakterisieren, bietet das bereits zuvor genannte 3L-Modell von Rehfeldt (2017), welches Überlegungen und Modelle zur Praktikumsqualität (u.a. von Fraser und McRobbie 1995; Kreiten 2012; Lagowski 2002; Psillos und Niedderer 2002; Tiberghien et al. 1998) zusammenführt und erweitert. Das 3L-Modell (Rehfeldt 2017) beschreibt dabei drei Hauptdimensionen der Praktikumsqualität: die Lernumgebung, die Lehrkompetenz und den Lernzuwachs.

Lernumgebung und Lehrkompetenz als Merkmale von Experimentalpraktika

Die Dimension *Lernumgebung* umfasst verschiedene Merkmale der Ausgestaltung von Experimentalpraktika innerhalb des Lehramtsstudiums der angehenden Physiklehrkräfte. So lassen sich Experimentalpraktika grundsätzlich durch die Ausstattung der Labore in Form von Räumlichkeiten und Experimentiermaterialien charakterisieren (Rehfeldt 2017). Hierbei kann zwischen einer grundlegenden Ausstattung mit genügend und funktionalen Materialien auf der einen Seite und einer lehramtsspezifischen Auswahl der Experimentalmaterialien auf der anderen Seite (z.B. Theyßen 2000) unterschieden werden. So könnte es motivationsförderlich sein, wenn angehende Lehrkräfte mit Experimentiermaterialien arbeiten, die so später auch in der Schule vorzufinden sind (Andersen 2020). Analog lassen sich auch für die zur Verfügung gestellten Skripte allgemeine und lehramtsspezifische Gestaltungskriterien formulieren. Allgemein gelten für Skripte zunächst Qualitätskriterien zur Gestaltung von Texten wie z.B. eine sinnvolle Strukturierung und eine klare Formulierung von Lernzielen (Rehfeldt 2017). Zudem wurden zuletzt verstärkt adaptive Skripte entwickelt, die eine an das Vorwissen angepasste Vorbereitung der Versuche ermöglichen sollen (z.B. Fricke et al. 2011; Nagel 2009; Mühlenbruch et al. 2014). Schließlich könnten aus lehramtsspezifischer Perspektive zusätzliche Bezüge zum Berufsalltag wie zum

Beispiel durch fachdidaktische Reflexionsfragen eine mögliche motivationssteigernde Ergänzung liefern (Andersen 2020).

Neben der materiellen Ausstattung der Lernumgebung ist auch eine organisatorische und inhaltliche Bezugnahme auf weitere Lehrveranstaltungen und auf vorangegangene Experimentalpraktika ein wichtiges Gestaltungskriterium von Experimentalpraktika (z. B. Fraser und McRobbie 1995). Während die Inhalte der Fachvorlesung in einem Lehramtsstudium Physik weitgehend kanonisch verlaufen (Schiering et al. 2021a), ist über die inhaltliche Ausgestaltung der Experimentalpraktika relativ wenig bekannt. Wünschenswert wären im Sinne einer engen organisatorischen und inhaltlichen Verzahnung somit, dass Inhalte aus den Vorlesungen in den Experimentalpraktika wieder aufgegriffen und sukzessive vertieft werden. Insgesamt ist eine qualitativ hochwertige Lernumgebung somit dadurch gekennzeichnet, dass sie adäquate Experimentiermaterialien und Skripte bietet, relevante Inhalte für Lehramtsstudierende berücksichtigt und eine inhaltliche Verzahnung mit anderen Lehrveranstaltungen herstellt.

In der Dimension *Lehrkompetenz* stehen Merkmale der Praktikumsleitung und Betreuenden im Vordergrund (Rehfeldt 2017). Die Lehrenden überprüfen die Vorbereitung und den Lernzuwachs der Studierenden, vertiefen Lerninhalte und unterstützen bei der praktischen Durchführung der Experimente. Um diesen Aufgaben optimal nachzukommen, müssen die Lehrenden in den Experimentalpraktika über entsprechende Lehrkompetenz verfügen. Dabei umfasst die Lehrkompetenz verschiedene Aspekte wie die Fähigkeit, Inhalte verständlich zu erklären, inhaltliche Verknüpfung zwischen Experimenten aufzuzeigen, sowie lernförderliches konstruktives Feedback zu geben (Hucke 1999; Rehfeldt 2017). Zudem können sie dazu beitragen, die Relevanz der durchgeführten Versuche zu stärken (siehe z.B. Andersen 2020).

Lernzuwachs durch Experimentalpraktika

Der *Lernzuwachs* stellt die dritte Dimension des 3L Modells von Rehfeldt (2017) dar. In welchen Aspekten ein tatsächlicher Lernzuwachs erwartet werden kann, hängt jedoch von den entsprechenden Zielen der Experimentalpraktika ab. Zu den Zielen von Experimentalpraktika liegen bereits verschiedene Empfehlungen vor (siehe z.B. American Association of Physics Teachers 1998; Boud et al. 1980; Nagel et al. 2018). Einen möglichen Konsens bezüglich der Ziele naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika präsentieren Welzel et al. (1998). Neumann (2004) bestätigt die dort formulierten Zieldimensionen für physikalische Experimentalpraktika durch eine Expertenbefragung. Als zentrale Zieldimensionen ergeben sich dabei vor allem Kompetenzen in der Planung, Durchführung und Auswertung

von Experimenten, welche häufig als experimentelle Kompetenz zusammengefasst werden (siehe z. B. Nawrath et al. 2011). Eine weitere Zieldimension stellt die Vertiefung des Fachwissens der angehenden Physiklehrkräfte dar (Welzel et al. 1998). Ergänzend zu diesen fachlichen Zieldimensionen, die auch Rehfeldt (2017) im 3L-Modell explizit benennt, sollen Experimentalpraktika Studierende auch für Physik begeistern (Neumann 2004; Welzel et al. 1998). Die Motivation von Studierenden ist damit eine weitere Zieldimension von Experimentalpraktika. Insgesamt sollen Experimentalpraktika in der Physik somit das Fachwissen vertiefen sowie die Motivation der Studierenden steigern.

Die fachlichen und motivationalen Ziele von Experimentalpraktika lassen sich ebenfalls im Modell der professionellen Handlungskompetenz von Lehrkräften verorten (Baumert und Kunter 2006; Riese 2009). Baumert und Kunter (2006) subsummieren unter der professionellen Handlungskompetenz vier verschiedene Bereiche: das Professionswissen, motivationale Orientierungen und selbstregulative Fähigkeiten sowie Überzeugungen zum Lehren und Lernen. Die Bereiche der professionellen Handlungskompetenz stellen dabei nach Blömeke et al. (2015) die dispositionalen Grundlagen für erfolgreiches Handeln im Unterricht dar. Eine zentrale Facette des fachspezifischen Professionswissen ist neben dem fachdidaktischen Wissen das Fachwissen von Lehrkräften (z. B. Fischer et al. 2012). Zu den zentralen motivationalen Orientierungen von Lehrkräften gehören sowohl das Interesse am Fach selbst als auch das Interesse am Unterrichten dieses Fachs (z. B. Schiefele et al. 2013). Als Bindeglied zwischen den motivationalen Orientierungen und den selbstregulativen Fähigkeiten werden die Selbstwirksamkeitserwartungen von Lehrkräften verstanden (Baumert und Kunter 2006; Eccles und Wigfield 2002). Somit lässt sich insgesamt festhalten, dass auf der einen Seite Experimentalpraktika die Förderung der experimentellen Kompetenz, des Fachwissens und der Motivations als zentrale Ziele aufweisen und auf der anderen Seite das Fachwissen, das Fachinteresse sowie spezifische Selbstwirksamkeitserwartungen Kernaspekte der professionellen Handlungskompetenz darstellen. Im Folgenden sollen daher diese zentralen Aspekte der professionellen Handlungskompetenz definiert und schließlich diskutiert werden, inwiefern ein Zuwachs durch Experimentalpraktika erwartet werden kann.

Fachwissen

Damit Physiklehrkräfte in der Lage sind, die Lehrinhalte des Unterrichtsfachs in eine den Lernenden zugängliche Form zu überführen (Shulman 1987), müssen diese selbst Sicherheit in der intradisziplinären Struktur des Themenfelds gewonnen haben (z. B. Grossman et al. 2005). Das Fachwissen einer Lehrkraft kann dabei in verschiedene In-

halte unterschieden werden, die sich an den zentralen Themen der Domäne orientieren (Tepner et al. 2012). Für die Domäne Physik werden typischerweise acht Inhaltsbereiche unterschieden, die sowohl Teil des Lehramtsstudiums Physik sind als auch später im Unterricht behandelt werden. Dazu zählen die Bereiche Mechanik, Elektrodynamik, Optik, Thermodynamik, Festkörperphysik, Atom- und Kernphysik, spezielle Relativitätstheorie sowie Quantenphysik (Sorge et al. 2019; siehe auch Halliday et al. 2013; KMK 2019). Experimentalpraktika sollen den Aufbau des Fachwissens unterstützen, indem das in vorangegangenen Vorlesungen erworbene Faktenwissen angewendet, auf diesem Wege wiederholt und zusätzlich vertieft wird (Neumann 2004; Welzel et al. 1998). Experimentalpraktika haben somit das Potenzial auf Grund ihrer breiten thematischen Aufstellung und wiederholten Behandlung der Fachinhalte zur Entwicklung des Fachwissens beizutragen.

Studien mit Schüler*innen legen jedoch nahe, dass Experimente nicht per se zu einem Leistungszuwachs führen (Hofstein und Lunetta 2004) und eher kleine Effekte in der Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Verständnisses zu erwarten sind (z. B. Hofstein und Lunetta 1982). Jedoch konnten Tesch und Duit (2004) in der IPN Videostudie zeigen, dass die Gesamtdauer von Experimentierphasen positiv mit der Leistungsentwicklung der Schüler*innen am Ende des Schuljahres zusammenhängt. Somit ist zunächst unklar, inwiefern Experimentalpraktika in der Universität tatsächlich zu einer positiven Fachwissensentwicklung beitragen können.

Interesse

Zu den Zielen von Experimentalpraktika zählt auch die Stärkung des Interesses der angehenden Lehrkräfte an den Lerninhalten (Neumann 2004; Welzel et al. 1998). Dabei kann ein positives Interesse am Fach sowohl Auswirkungen auf die weiteren Lernprozesse der angehenden Lehrkräfte im Laufe des Lehramtsstudiums haben als auch das spätere unterrichtliche Verhalten sowie das Interesse der eigenen Schüler*innen beeinflussen (z. B. Sorge et al. 2022). Dabei wird das Interesse von Individuen durch die Beziehung zwischen ihnen und einem Gegenstandsbereich charakterisiert (Hidi und Renninger 2006; Krapp 1992). Eine positive Entwicklung des Interesses wird dabei insbesondere durch ein positives Kompetenzerleben unterstützt (Deci und Ryan 2000). Dass naturwissenschaftliche Experimente zu einem gesteigerten Interesse führen können, zeigen beispielsweise die Arbeiten von Potvin und Hasni (2014) sowie Tobin (1990). Dabei wies beispielsweise White (1996) jedoch darauf hin, dass rezeptartiges Experimentieren eine positive Interessensentwicklung hemmen könnte (siehe z. B. auch Pickering 1988). Daher ist davon auszugehen, dass die Art

und Qualität des Experimentierens bedeutsam für die Förderung des Interesses auch bei Lehramtsstudierenden sind.

Selbstwirksamkeitserwartungen

Unter Selbstwirksamkeitserwartungen werden die individuelle Überzeugung verstanden, eine Herausforderung aufgrund der eigenen Kompetenz erfolgreich bewältigen zu können (Bandura 1997; Schwarzer und Jerusalem 2002). Selbstwirksamkeitserwartungen beeinflussen, ob Individuen Handlungen aufnehmen und wie viel Zeit, Anstrengung und Ressourcen dabei investiert werden (Schmitz und Schwarzer 2000). Somit stellen Selbstwirksamkeitserwartungen einen Bedingungsfaktor für das kompetente Handeln von Lehrkräften dar (Baumert und Kunter 2006). Da Selbstwirksamkeitserwartungen jedoch eher als handlungsbezogen und domänen spezifisch gelten (Bong und Skaalvik 2003), müssen auch deren Effekte auf das Handeln spezifisch betrachtet werden. So konnten beispielsweise Riese und Reinhold (2010) zunächst keinen Zusammenhang zwischen der allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung und dem physikalischen Fachwissen oder dem fachdidaktischen Wissen feststellen. Bei der Betrachtung von Selbstwirksamkeitserwartungen bezogen auf das Unterrichten in den Naturwissenschaften konnten Teig et al. (2019) jedoch beispielsweise positive Zusammenhänge mit kognitiv aktivierendem Unterricht feststellen. Somit sollten in Lerngelegenheiten im Laufe des Lehramtsstudiums Physik insbesondere solche Selbstwirksamkeitserwartungen unterstützt werden, die die Planung und Durchführung von Physikunterricht betreffen (Meinhardt et al. 2016). Selbstwirksamkeitserwartungen können dabei beispielsweise durch persönliche Erfahrungen und verbale Rückmeldungen gestärkt werden (Bandura 1997). Untersuchungen weisen zum Beispiel darauf hin, dass sich die Selbstwirksamkeitserwartungen von angehenden Lehrkräften durch praktische Erfahrung in einem Lehr-Lern-Labor steigern lassen (Weß et al. 2020; siehe auch Klempin et al. 2020). So wäre denkbar, dass das Experimentalpraktikum durch die praktische Arbeit am Experiment eine Lernumgebung darstellt, in der Selbstwirksamkeitserwartungen bzgl. des Experimentierens entwickelt werden können. Andersen (2020) konnte in diesem Zusammenhang zeigen, dass ein positiver Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Relevanz der Versuche im Experimentalpraktikum und den Selbstwirksamkeitserwartungen bzgl. des Planens und Unterrichtens von Experimenten besteht.

Ziele und Forschungsfragen

Um die Lehramtsausbildung in Bezug auf Experimentalpraktika zu verbessern und damit langfristig auch den Einsatz von Experimenten im Physikunterricht fördern zu

können, ist ein besseres Verständnis erforderlich, wie die Qualität von Experimentalpraktika mit der Entwicklung zentraler Facetten professioneller Handlungskompetenz zusammenhängt. Während der Forschungsstand zur Bedeutung von Experimenten im Physikunterricht in der Schule darauf hindeutet, dass beispielsweise der Einfluss auf das fachliche Lernen limitiert ist (Hofstein und Lunetta 1982), existieren bisher nur sehr vereinzelt Studien über den Einfluss von Experimentalpraktika im Lehramtsstudium der Physik. So hat beispielsweise Andersen (2020) gezeigt, dass eine lehramtsspezifische Gestaltung des Praktikums von Bedeutung für die wahrgenommene Relevanz der Versuche und damit auch für das Interesse der angehenden Physiklehrkräfte ist. Hierbei wurden zentrale Gestaltungsmerkmale der Lernumgebung von Experimentalpraktika (Rehfeldt 2017) aufgegriffen und für Lehramtsstudierende der Physik an einem Hochschulstandort spezifiziert (z. B. Anknüpfung an Vorwissen, Relevanz der Versuchsinhalte). Durch die lehramtsspezifische Ausgestaltung dieser Kriterien (z. B. schulorientierte Messtechnik, fachdidaktische Reflexionen) konnte so ein Rahmen geschaffen werden, der sich auch positiv auf das Fachwissen und die Selbstwirksamkeitserwartungen bzgl. des Experimentierens ausgewirkt hat (Andersen 2020). Insgesamt liegen somit bereits erste Befunde vor, wie eine gezielte Veränderung in einer Qualitätsdimension der Lernumgebung eines Experimentalpraktikums einen positiven Einfluss auf den Lernzuwachs der angehenden Physiklehrkräfte haben kann. Unklar bleibt hingegen, wie sich die unterschiedlichen Experimentalpraktika an verschiedenen Hochschulstandorten in Deutschland hinsichtlich ihres Inhalts und ihrer Qualität charakterisieren lassen und welcher Zusammenhang zwischen der Qualität von Experimentalpraktika und dem Erwerb zentraler Facetten professioneller Handlungskompetenz besteht. Ziel dieser Arbeit ist es daher, den Beitrag der Qualität der Experimentalpraktika für den Kompetenzzuwachs angehender Physiklehrkräfte zu konkretisieren. Dabei sollen in der vorliegenden Arbeit die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden:

FF1 Wie lassen sich Experimentalpraktika im Lehramtsstudium Physik hinsichtlich Inhalt und Qualität charakterisieren?

FF2 Welcher Zusammenhang besteht zwischen der wahrgenommenen Qualität von Experimentalpraktika und der Änderung von Fachwissen, Selbstwirksamkeitserwartungen und Interesse von angehenden Physiklehrkräften?

Methoden

Studiendesign

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurden Daten aus der Befragung angehender Physiklehrkräften in der vierjährigen Längsschnittstudie *Kompetenzentwicklung in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen* (KeiLa) re-analysiert. Die Erhebungen fanden von 2014 bis 2017 an 20 unterschiedlichen Hochschulen in Deutschland statt und beinhalteten vier Haupterhebungen zu Beginn eines jeden Wintersemesters und drei Nebenerhebungen im Laufe der Sommersemester (siehe Abb. 1). In den Haupterhebungen wurden vor Ort jeweils neben allgemeinen Daten zur Person auch das Fachwissen, das Interesse und die Selbstwirksamkeitserwartungen der angehenden Physiklehrkräfte erhoben. In den Nebenerhebungen in Form von Onlineumfragen wurden Informationen zu den besuchten Veranstaltungen wie den Experimentalpraktika, deren Qualität sowie den dort behandelten Inhalten erfasst. Da die Befragung an unterschiedlichen Hochschulstandorten erfolgte, variierten Art und Inhalt der besuchten Experimentalpraktika.

Stichprobe

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurden Daten von 82 verschiedenen Probanden genutzt, die jeweils eine Bewertung der Qualität ihres Praktikums abgegeben haben. 43% der Teilnehmenden waren weiblich und 84% studierten mit dem Ziel des Gymnasiallehramts. Durch die freiwillige Teilnahme an der vierjährigen Längsschnittstudie variierte die Teilnahme der Probanden im Laufe der Längsschnittstudie erheblich. In Folge dessen haben von den insgesamt 82 verschiedenen Probanden 27, 24, 25 bzw. 6 Probanden innerhalb der vier möglichen Erhebungen genau einmal, zweimal, dreimal bzw. viermal teilgenommen. Dabei erfolgt aber nicht bei jeder Teilnahme eine Bewertung der Qualität von Experimentalpraktika.

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage, wie sich die Experimentalpraktika hinsichtlich ihres Inhalts und ihrer Qualität charakterisieren lassen, wurden Angaben von

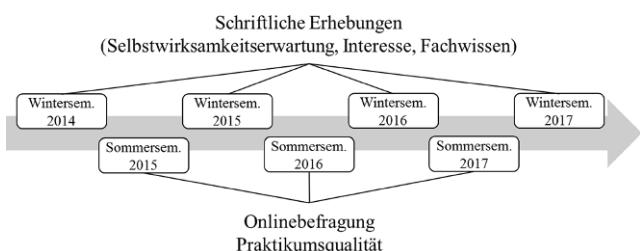


Abb. 1 Zeitliche Abfolge der vier Haupterhebungen in den Wintersemestern und der drei Nebenerhebungen im Sommersemester

sogenannten virtuellen Personen genutzt. Das heißt „die Messungen derselben Personen zu späteren Zeitpunkten werden behandelt, als ob es sich um zusätzliche Personen handeln würde, die dieselben Items bearbeitet haben“ (Hartig und Kühnbach 2006, S. 33). Zum Teil vorliegende Längsschnittdaten wurden also als Querschnittdaten interpretiert. Daher liegen zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage insgesamt $N=105$ Datenpunkte von 82 Probanden vor. Da es bei diesem Vorgehen allerdings auch zu Verzerrungen kommen kann (siehe ebenfalls Hartig und Kühnbach 2006), muss abschließend überprüft werden, ob sich die Ergebnisse systematisch von einer Stichprobe ohne virtuelle Probanden unterscheiden. Die durchschnittliche Studiendauer der virtuellen Personen beträgt 2,3 Jahre ($SD=1,1$ Jahre). In Abb. 2 ist die Verteilung der Datenpunkt über die Studienjahre aufgeführt.

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage zum Zusammenhang zwischen der Qualität von Experimentalpraktika und dem Zuwachs von Fachwissen, Interesse und Selbstwirksamkeitserwartungen wurden die längsschnittlichen Daten der Probanden genutzt. Mehrfache Teilnahmen wurden dabei als verschiedene Prä-Post-Beobachtungen interpretiert. Probanden, die beispielsweise an den Erhebungen im Wintersemester 2014, 2015 und 2016 teilgenommen haben, werden in zwei Prä-Post-Beobachtungen aufgeteilt (Beobachtung 1: Entwicklung von 2014 zu 2015; Beobachtung 2: Entwicklung von 2015 zu 2016). Probanden, die aufgrund unregelmäßiger Studienteilnahme keine Post-Beobachtung in ihrem Fachwissen, ihrem Interesse oder ihren Selbstwirksamkeitserwartungen aufwiesen, wurden mit einem fehlenden Wert für die Post-Beobachtung berücksichtigt. Insgesamt besteht die Stichprobe zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage somit aus 105 Prä-Beobachtungen, 60 Post-Beobachtungen und 105 Qualitätseinschätzungen von insgesamt 82 Probanden.

Die Gruppe von Probanden mit fehlenden Post-Beobachtungen unterschied sich in ihren Prä-Beobachtungen im Fachwissen, im Interesse sowie in den Selbstwirksamkeitserwartungen nicht signifikant von Probanden, für die Post-

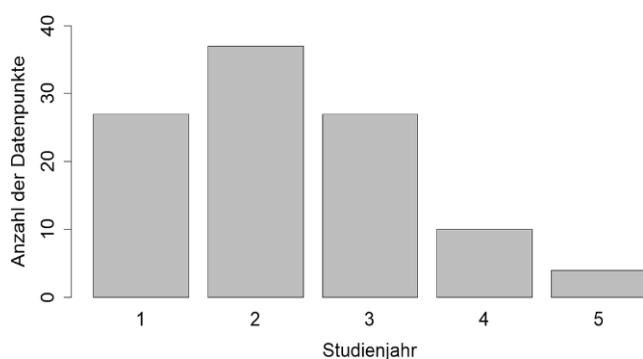


Abb. 2 Verteilung der $N=105$ Datenpunkte über die Studienjahre

Tab. 1 Items zur Erfassung der Qualität von Experimentalpraktika

Item	Wortlaut	Subdimension der Praktikumsqualität (3L-Modell)
1	Die Versuche wurden angemessen vorbereitet (z. B. durch Texte, Dozenten).	Lehrkompetenz, Lernumgebung
2	Die Ausstattung der Labore ermöglichte einen reibungslosen Ablauf.	Lernumgebung
3	Die Betreuung der Versuche durch die Dozenten war hilfreich.	Lehrkompetenz
4	Die Relevanz der angebotenen Versuche für den Beruf der Lehrkraft war hoch.	Lehrkompetenz, Lernumgebung

Beobachtungen vorliegen (Fachwissen: $t(86,91)=0,12$, $p=0,91$; Interesse: $t(91,01)=0,26$, $p=0,80$; Selbstwirksamkeitserwartungen bezüglich des Planens: $t(83,59)=0,56$, $p=0,58$; Selbstwirksamkeitserwartungen bezüglich des Durchführens: $t(81,85)=1,03$, $p=0,31$). Es ist daher keine selektive Auswahl der Probanden bezogen auf die Untersuchungsvariablen zu erwarten.

Instrumente

Charakterisierung hinsichtlich Inhalt und Qualität von Experimentalpraktika

Zur Charakterisierung der Experimentalpraktika wurden die angehenden Physiklehrkräfte zunächst befragt, ob physikalische Praktika im Laufe des Studienjahres belegt wurden. Die Probanden wurden anschließend gebeten, aus einer Auswahl von Inhaltsbereichen (Mechanik, Elektrodynamik, Optik, Thermodynamik, Festkörperphysik, Atom- und Kernphysik, speziellen Relativitätstheorie, Quantenphysik) jene zu identifizieren, die im Experimentalpraktikum durch Versuche adressiert wurden. Anschließend wurden die angehenden Physiklehrkräfte gebeten, die Qualität ihres Experimentalpraktikums mit Hilfe von vier Items einzuschätzen. Die vier Items befinden sich auf einer vierstufigen Likert-Skala (1: „trifft gar nicht zu“, 4: „trifft voll zu“) und sind Tab. 1 zu entnehmen. Es kann hierbei davon ausgegangen werden, dass die Qualitätseinschätzungen der angehenden Physiklehrkräfte als ein valides Maß für die Qualität der Experimentalpraktika angenommen werden können (siehe hierfür z. B. Feldman 2007; Kyriakides et al. 2014). Um die Qualitätsdimensionen des 3L-Modells von Rehfeldt (2017) abzubilden, wurden sowohl Items zur wahrgenommenen Lehrkompetenz der Betreuenden (z. B. Item 3 in Tab. 1; siehe Hucke 1999) als auch der Qualität der Lernumgebung (z. B. Item 2 in Tab. 1, siehe Rehfeldt 2017) neu entwickelt. Zusätzlich wurde ein weiteres Item von Zumbach et al. (2007) übernommen, um die zentrale Facette der Relevanz in Experimentalpraktika ebenfalls abzubilden (siehe Andersen 2020). Die Skala wies eine gute Reliabilität von $\alpha=0,75$ auf.

Fachwissen

Zur Erfassung des Fachwissens wurde ein Paper-Pencil-Test eingesetzt, der im Projekt *Messung professioneller Kompetenz in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen* (KiL) entwickelt und validiert wurde (Sorge et al. 2019). Das Modell zur Aufgabenentwicklung basierte dabei auf einer Kombination aus unterschiedlichen Fachinhalten sowie unterschiedlichen Wissensarten (z. B. Tepner et al. 2012; siehe auch Schiering et al. 2021b). Zudem wurde basierend auf einer Analyse verschiedener Ausbildungscurricula von Physik-Lehramtsstudiengängen auf eine curriculare Passung der Items geachtet (Kröger 2019). Dem Modell zur Aufgabenentwicklung folgend wurden sowohl bestehende Aufgaben adaptiert (z. B. Wuttiprom et al. 2009) als auch zusätzliche Aufgaben zur Abdeckung des Konstrukt eignen konstruiert. Schließlich wurden die Items nach einer Pilotstudie und Expertenratings erneut überarbeitet und zusätzlich in einer Interviewstudie mit der Methode des lauten Denkens auf kognitive Validität überprüft (für Details siehe Kröger 2019; Sorge et al. 2019). Der Studienverlauf in der fachlichen Ausbildung in Physik-Lehramtsstudiengängen mit verschiedenen Vorlesungen und Übungen verhält sich weitestgehend vergleichbar über verschiedene Studienstandorte (Schiering et al. 2021a) und sollte von dem Test berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurden zur genaueren Erfassung des Fachwissens studienjahrspezifische Testhefte genutzt, die entsprechend verschiedene Inhaltsbereiche abdecken. Der finale Test umfasst 40 gemeinsame Aufgaben (sogenannte Ankeritems) sowie 20, 20, bzw. 18 zusätzliche Aufgaben für die Probanden des ersten, zweiten bzw. dritten Studienjahrs. Von den 40 gemeinsamen Aufgaben liegen 33 als Multiple-Choice-Format vor. Der Test adressiert die Inhaltsbereiche der Mechanik, der Elektrodynamik, der Optik, der Thermodynamik, der Festkörperphysik, der Atom- und Kernphysik, der speziellen Relativitätstheorie und der Quantenphysik und damit typische fachliche Inhalte von Experimentalpraktika. Vier Beispielitems sind in Abb. 3a–d dargestellt. Diese Beispielitems repräsentieren dabei sowohl Items aus unterschiedlichen Inhaltsbereichen als auch Items, die unterschiedliche Wissensarten (deklarativ vs. prozedural-konditional) adressieren. Zusätzlich variieren die Beispielitems in ihrem Antwortformat (Multiple-Choice vs. offenes

a) Welche der folgenden Formeln gilt für den Betrag F der Gravitationskraft zwischen zwei Körpern der Massen m_1 und m_2 , die sich in einer Entfernung r voneinander befinden? G bezeichne dabei die Gravitationskonstante.

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

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

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

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

b) Der abgebildete Graph zeigt die Geschwindigkeit eines Körpers, aufgetragen über der Zeit.

Wie groß ist die Beschleunigung des Körpers zum Zeitpunkt $t = 90$ s?

0,25 m/s²

0,33 m/s²

1,0 m/s²

9,81 m/s²

20 m/s²

c) Auch an heißen Tagen kann es passieren, dass man friert, wenn man im Freibad das Wasser verlässt und sich nicht gleich abtrocknet.

Geben Sie stichpunktartig an, wie sich dieses Phänomen physikalisch erklären lässt.

d) In welcher Größenordnung liegt der Durchmesser eines Wasserstoffatomkerns?
Tragen Sie einen ganzzahligen Exponenten in die untenstehende Längenangabe ein

10[—] m

Abb. 3 Beispielitems zur Erfassung des Fachwissens **a** Mechanik, deklaratives Wissen, geschlossenes Format; **b** Mechanik, prozedural-konditionales Wissen, geschlossenes Format; **c** Thermodynamik, prozedural-konditionales Wissen, offenes Format; **d** Atom- und Kernphysik, deklaratives Wissen, offenes Format

Format). Weitere Beispielitems sind dem Anhang zu entnehmen. Das vollständige Erhebungsinstrument kann auf Anfrage bei den Autor*innen erhalten werden.

Interesse

Zur Erhebung des Interesses am Fach Physik wurde ein Instrument verwendet, das auf einer Adaption der Arbeiten von Schiefele et al. (1993) beruht. Für das Interesse am Fach wurden fünf Items eingesetzt (z. B. „Wenn ich in Physik etwas Neues dazulernen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.“). Die vierstufige Skala von „trifft gar nicht zu“ bis „trifft völlig zu“ wies eine gute Reliabilität von $\alpha=0,79$ auf.

Selbstwirksamkeitserwartungen

Um die Selbstwirksamkeitserwartungen bezüglich des Planens und Durchführens von Experimenten im Unterricht zu erfassen, wurden Skalen von Meinhardt et al. (2016) verwendet. Diese wurden in umfassenden Studien auf eine valide Testwertinterpretation überprüft (siehe Meinhardt et al. 2018). Zur Überprüfung der Validität gehörte unter anderem eine Studie zum lauten Denken, eine Expertenbefragung sowie eine umfassende Feldstudie, in der die Trennbarkeit und Reliabilität der Konstrukte bestätigt werden konnte (Meinhardt et al. 2018). Für die Erfassung der Selbstwirksamkeitserwartungen bezüglich des Planens von Experimenten im Unterricht wurden acht Items auf einer sechsstufigen Likert-Skala eingesetzt, wobei die Enden der Likert-Skala mit „stimmt überhaupt nicht“ und „stimmt genau“ vorgegeben waren (Beispielitem: „Ich kann in meiner Unterrichtsvorbereitung ein Experiment planen, welches meine Schülerinnen und Schüler dazu anregt, physikalische Fragestellungen zu entwickeln, auch wenn ich dieses Experiment neu entwickeln muss.“). Für die Selbstwirksamkeitserwartungen hinsichtlich der Durchführung von Experimenten im Unterricht wurden ebenfalls acht Items eingesetzt (Beispielitem: „Ich kann ein Demonstrationsexperiment für meine Schülerinnen und Schüler nachvollziehbar durchführen, auch wenn es sich um eine komplexe Versuchsanordnung handelt.“). Beide Skalen der Selbstwirksamkeitserwartungen wiesen auch in der hier vorliegenden Stichprobe sehr gute Reliabilitäten auf ($\alpha_{EX_P}=0,85$ und $\alpha_{EX_D}=0,88$).

Statistische Analysen

Die statistischen Analysen wurden mit dem Programm *R* durchgeführt. Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage bzgl. einer inhaltlichen Charakterisierung der Experimentalpraktika wurde derjenige Anteil an Personen berechnet, die im jeweiligen Themengebiet Versuche im Experimentalpraktikum durchgeführt haben. Dies geschah sowohl über alle Studienjahre hinweg als auch separat für die einzelnen Studienjahre. Des Weiteren wurden für die Qualität in Experimentalpraktika zunächst eine Mittelwertberechnung sowie eine Bestimmung der Standardabweichung durchgeführt.

Für die zweite Forschungsfrage wurde anschließend untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Qualität absolviert der Experimentalpraktika und einem Zuwachs bei einem der betrachteten Konstrukte (Fachwissen, Interesse am Fach, Selbstwirksamkeitserwartungen) beobachtet werden kann. Hierfür wurden zunächst die Daten des Fachwissens-Tests gemäß des Rasch-Modells unter Verwendung des *R*-Pakets *TAM* (Robitzsch et al. 2020) kalibriert. Hierfür wurden 227 Messungen des Fachwissens von 122 Lehramtsstudierenden der Physik berücksichtigt, um eine möglichst

optimale Schätzung der Fähigkeitsparameter zu erreichen. Sieben Items zeigten dabei einen Infit außerhalb der Grenzwerte von 0,8 bis 1,2 (Bond und Fox 2007) und wurden daher ausgeschlossen. Der so skalierte Test zeigte eine zufriedenstellende WLE-Reliabilität von 0,87.

Da die Studierenden in unterschiedlichen Hochschulen genestet sind, wäre eine Mehrebenenanalyse als ein möglicher Zugang für die Modellierung der Entwicklung denkbar. Da im Mittel jedoch nur fünf Studierende pro Standort an der Befragung teilgenommen haben, ist davon auszugehen, dass die Varianz zwischen den Standorten vernachlässigbar im Vergleich zur Varianz innerhalb einer Hochschule ist. So ergeben sich auch für die Untersuchungsvariablen ICCs, die unter 0,10 liegen. Daher wurde für die Analysen auf eine Mehrebenenanalyse verzichtet. Stattdessen wurden mit dem Paket *lavaan* (Rosseel 2012) lineare Regressionen berechnet, wobei für das Fachwissen, das Interesse und die Selbstwirksamkeitserwartungen der jeweilige Post-Wert durch den Prä-Wert adjustiert wurde. Durch die Adjustierung mit Hilfe des entsprechenden Prä-Wertes kann somit für das Vorwissen und damit auch für vorherige fachliche Lerngelegenheiten kontrolliert werden. Weitere fachliche Lerngelegenheiten wie Vorlesungen und Übungen sollten ebenfalls einen Einfluss auf die Entwicklung der professionellen Kompetenz der Lehrkräfte haben, verlaufen in Deutschland aber weitgehend kanonisch (Schiering et al. 2021a). Dennoch wurde zur jahrgangsspezifischen Kontrolle des Einflusses fachlicher Lerngelegenheiten in den Regressionsanalysen für das Studienjahr kontrolliert. In den Regressionen wurden zudem die zentralen persönlichen Prädiktoren Geschlecht und Abiturnote als weitere Prädiktoren aufgenommen, da sich diese in bisherigen Studien als bedeutsam erwiesen haben (z. B. Sorge et al. 2019; Woitkowski 2020) und es dadurch möglich wurde, den Beitrag von Experimentalpraktika über den persönlichen Hintergrund hinaus einzuschätzen.

Die fehlenden Post-Werte wurden mit Hilfe der *full information maximum likelihood* (FIML) Methode geschätzt (siehe z. B. Graham 2003). Dabei ist jedoch zu beachten, dass in der vorliegenden Stichprobe zum Teil hohe Anteile an fehlenden Werten vorliegen. Dies kann unter anderem dazu führen, dass die Schätzungen der Parameter mit einer höheren Unsicherheit behaftet sind. Dennoch zeigte die FIML Methode über verschiedene Studien hinweg akkurate Schätzungen der Parameter als der listenweise Ausschluss von Fällen (sog. *listwise deletion*) (siehe z. B. Allison 2003; Olinck et al. 2003). Aus diesem Grund ist die Schätzung fehlender Werte auf Grundlage von Hintergrunddaten dem Ausschluss von fehlenden Probanden aus den Analysen vorzuziehen (Peng et al. 2006). Daher wurden zusätzliche Variablen (gymnasiales Lehramt, Studienzufriedenheit, Anzahl besuchter Lehrveranstaltungen, Selbstkonzept im Kontext Physik, Schulnoten im Fach Physik, Abbruchintention) als sogenannte *saturated-correlates* in das Modell übernommen, um die Schätzungen der fehlenden Werte zu verbessern (Graham 2003).

Ergebnisse

Inhalt und Qualität von Experimentalpraktika

Mit Blick auf die erste Forschungsfrage zur Einschätzung von Inhalt und Qualität der Experimentalpraktika durch angehende Physiklehrkräfte werden zunächst die Inhaltsbereiche analysiert, die von den Experimentalpraktika abgedeckt wurden (Tab. 2). Es ist zu erkennen, dass generell alle Inhaltsbereiche über das Studium hinweg abgedeckt werden, wobei ein stärkerer Fokus auf Versuche in den Bereichen Elektrodynamik, Optik und Mechanik liegt. Ein Vergleich zwischen den verschiedenen Studienjahren zeigt dabei, dass für Studierende im ersten Studienjahr ein Fokus auf Versuchen im Bereich der Mechanik liegt, während sich im

Tab. 2 Zugeordnete Inhaltsbereiche der Versuche in Experimentalpraktika

Inhaltsbereiche	Anteil der Probanden, die Versuche in jeweiligen Inhaltsbereichen durchgeführt haben				
	Über alle Studienjahre (N=105) (in %)	Erstes Studienjahr (N=27) (in %)	Zweites Studienjahr (N=37) (in %)	Drittes Studienjahr (N=27) (in %)	Viertes und fünftes Studienjahr (N=14) (in %)
Mechanik	39,1	74,1	35,1	18,5	21,4
Elektrodynamik	45,7	59,3	40,5	40,7	42,9
Optik	42,9	33,3	56,8	33,3	42,9
Thermodynamik	27,6	22,2	43,2	14,8	21,4
Festkörperphysik	11,4	0	16,2	0	42,9
Atom- und Kernphysik	23,8	0	35,1	22,2	42,9
Spezielle Relativitätstheorie	2,9	0	5,4	0	7,1
Quantenmechanik	15,2	0	37,8	3,7	7,1

Tab. 3 Bewertung der Qualität von Experimentalpraktika

Item	Wortlaut	M	SD
1	Die Versuche wurden angemessen vorbereitet (z. B. durch Texte, Dozenten).	3,04	0,87
2	Die Ausstattung der Labore ermöglichte einen reibungslosen Ablauf.	3,10	0,78
3	Die Betreuung der Versuche durch die Dozenten war hilfreich.	3,12	0,86
4	Die Relevanz der angebotenen Versuche für den Beruf der Lehrkraft war hoch.	2,70	1,00

Die vier Items befinden sich auf einer vierstufigen Likert-Skala (1: „trifft gar nicht zu“, 4: „trifft voll zu“). Datengrundlage waren $N=105$ vorhandene Antworten. M repräsentiert den Mittelwert, SD die Standardabweichung des jeweiligen Items

zweiten und dritten Studienjahr dieser Fokus zugunsten der Inhaltsbereiche Elektrodynamik, Optik und Thermodynamik verschiebt. Auch Versuche im Bereich der Festkörper- sowie Atom- und Kernphysik gewinnen im späteren Verlauf des Studiums eine größere Bedeutung. Auffällig ist zudem, dass die Themenbereiche spezielle Relativitätstheorie und Quantenmechanik wenig Raum im Rahmen von Experimentalpraktika einnehmen.

Anschließend wurden die einzelnen Items der Skala zur Qualität von Experimentalpraktika genauer betrachtet (siehe Tab. 3). Der Skalenmittelwert beträgt $M=2,99$ ($SD=0,67$) und liegt somit über dem theoretischen Mittelwert der vierstufigen Likert-Skala. Insgesamt schätzen die Studierenden die Qualität der Praktika somit als eher hoch ein.

Die Daten aus Tab. 3 lassen erkennen, dass die ersten drei Items der Skala, die die Vorbereitung der Versuche durch die Dozierenden (Item 1), die Ausstattung der Labore (Item 2) und die Betreuung durch die Dozierenden (Item 3) betreffen, ähnlich bewertet wurden. Diese Items werden im Mittel zudem höher bewertet als das vierte Item, das die Relevanz der Versuche für den Beruf der Lehrkraft fokussiert. Auch die Varianzen der ersten drei Items sind ähnlich und niedriger als dies beim vierten Item der Fall ist.

Zusammenhang zur Qualität von Experimentalpraktika

Nach der Analyse der Inhalte und Qualität der Experimentalpraktika soll nun entsprechend der zweiten Forschungsfrage der Zusammenhang zwischen der Qualität von Experimentalpraktika und der Änderung im Fachwissen, Interesse und Selbstwirksamkeitserwartungen bei der Planung und Durchführung von Experimenten innerhalb eines Studienjahres analysiert werden. Deskriptive Informationen sowie die Korrelationen zwischen den untersuchten Variablen sind Tab. 4 zu entnehmen. Die Ergebnisse der Regression sind in Tab. 5 dargestellt.

Den deskriptiven Informationen lässt sich zunächst entnehmen, dass keine signifikanten Änderungen zwischen den jeweiligen Prä- und Post-Erhebungen von Interesse ($t(59)=1,19, p=0,24$) und Selbstwirksamkeitserwartungen ($t(59)=0,48, p=0,63$ für Planung bzw. $t(59)=1,18, p=0,24$ für Durchführung) vorliegen. Einzig der Unterschied

im Fachwissen im Laufe eines Studienjahres stellt sich als signifikant und bedeutsam heraus ($t(59)=6,07, p<0,001$). Grundsätzlich schätzen die teilnehmenden Lehramtsstudierenden der Physik ihr Interesse am Fach als sehr hoch ein (Prä-Wert: $M=3,26, SD=0,48$ auf einer vierstufigen Likert-Skala). Die Selbstwirksamkeitserwartungen zur Planung und zur Durchführung von Experimenten im Unterricht hingegen werden vergleichbar und eher im mittleren Bereich eingeschätzt (Prä-Werte: $M_{EX_P}=3,90, SD_{EX_P}=0,80$; $M_{EX_D}=3,97, SD_{EX_D}=0,88$ auf einer sechsstufigen Likert-Skala). Im Vergleich der Korrelationen fällt auf, dass für die wahrgenommene Qualität von Experimentalpraktika lediglich signifikante Korrelationen mit den Selbstwirksamkeitserwartungen zur Planung und Durchführung von Experimenten am Ende des Studienjahres festzustellen sind, $r_{Q_EX_P}=0,41, p<0,01$; $r_{Q_EX_D}=0,39, p<0,01$. Dies bedeutet ebenfalls, dass die Qualitätseinschätzungen selbst nicht durch die Eingangsvoraussetzungen der Probanden beeinflusst wurden.

Auf Basis der Ergebnisse aus Tab. 5 lassen sich zunächst die guten Fit-Werte der Modelle ableiten. Allerdings sollten die Fit-Werte für Modell 1 und Modell 3 kritisch betrachtet werden, da ein CFI von 1 und RMSEA von 0 zwar zunächst auf eine perfekte Passung hindeuten, diese aber ebenso durch weitere Faktoren wie eine kleine Stichprobe bedingt sein könnten. Weiterhin zeigt sich, dass für die Entwicklung des Fachwissens sowie des Interesses angehender Physiklehrkräfte kein signifikanter prädiktiver Zusammenhang mit der Einschätzung der Qualität von Experimentalpraktika finden lässt (Fachwissen: $\beta=-0,06, p=0,40$; Interesse: $\beta=0,13, p=0,31$). Hingegen besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Entwicklung von Selbstwirksamkeitserwartungen hinsichtlich der Planung und Durchführung von Experimenten für den Schulunterricht und der Bewertung der Qualität der Experimentalpraktika (Planung: $\beta=0,45, p<0,001$; Durchführung: $\beta=0,45, p=0,001$).

Diskussion

Experimentalpraktika sind ein zentraler Bestandteil eines jedes Lehramtsstudiums der Physik (z. B. DPG 2014). Zentrale Ziele dieser Praktika sind unter anderem eine Vertie-

Tab. 4 Korrelationsmatrix und deskriptive Angaben der verwendeten Variablen

Variable	<i>M</i>	<i>SD</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 Interesse Prä	3,26	0,48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2 Interesse Post	3,34	0,45	0,55***	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3 SWE Plan. Prä	3,90	0,80	0,16	-0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4 SWE Plan. Post	3,99	0,83	0,04	-0,07	0,39**	—	—	—	—	—	—	—	—
5 SWE Durchf. Prä	3,97	0,88	0,25**	0,00	0,81***	0,43***	—	—	—	—	—	—	—
6 SWE Durchf. Post	4,18	0,84	0,24	0,15	0,38**	0,82***	0,49***	—	—	—	—	—	—
7 Fachwissen Prä	0,47	0,83	0,07	0,30*	0,14	0,08	0,11	0,13	—	—	—	—	—
8 Fachwissen Post	0,80	0,78	0,31*	0,26*	0,07	0,01	0,11	0,11	0,85***	—	—	—	—
9 Geschlecht	—	—	0,13	0,09	0,03	0,21	0,02	0,24	0,40***	0,42***	—	—	—
10 Semester	3,61	2,15	-0,12	-0,05	0,26**	0,20	0,19	0,08	0,47***	0,31*	0,04	—	—
11 Abitur	2,13	0,60	-0,11	-0,29*	-0,03	-0,29*	-0,06	0,17	-0,36***	-0,36***	-0,14	-0,08	—
12 Mittlere Qualität	2,99	0,67	0,16	0,17	0,12	0,41**	0,17	0,39**	-0,06	-0,08	-0,17	0,03	0,15

M gibt den Mittelwert der jeweiligen Skala an, *SD* die Standardabweichung. *SWE Plan.* Selbstwirksamkeitserwartung bei der Planung von Experimenten, *SWE Durchf.* Selbstwirksamkeitserwartung bei der Durchführung von Experimenten. Fachwissen Prä und Post folgen dem Rasch Modell. Geschlecht: 0 = männlich
 * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

fung des Fachwissens sowie eine Steigerung des Interesses am Fach (Neumann 2004). Daher haben Experimentalpraktika grundsätzlich das Potenzial, einen möglichen Beitrag zur Entwicklung der professionellen Handlungskompetenz (Baumert und Kunter 2006) angehender Physiklehrkräfte zu leisten. Bisher existieren jedoch nur vereinzelt Studien, die sich mit der tatsächlichen Wirkung dieser zentralen Lerngelegenheit des Physiklehramtsstudiums beschäftigt haben. Die Ergebnisse der hier vorliegenden Studie zeigen zunächst, dass die Qualität der Experimentalpraktika der verschiedenen Standorte in Deutschland eher hoch eingeschätzt wird und die Qualität insbesondere für die Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartungen der Studierenden entscheidend ist.

Inhaltlich zeigt sich zunächst, dass die Versuche in den Experimentalpraktika durchaus eine Trajektorie aufweisen. Während in den ersten Studienjahren vermehrt Versuche aus der Mechanik, Elektrodynamik, Optik und Thermodynamik thematisiert werden, widmet man sich in der zweiten Studienhälfte den Inhaltsbereichen Festkörperphysik und Atom- und Kernphysik bis hin zu Versuchen aus dem Bereich der Quantenphysik. Vergleicht man diese Reihenfolge mit der typischen Reihenfolge der fachlichen Module, finden sich große Übereinstimmungen (siehe Schiering et al. 2021a). Auch in den fachlichen Vorlesungen wird mit den Themengebieten Mechanik und Thermodynamik begonnen, die dann durch die Elektrodynamik und Optik ergänzt und schließlich durch Atomphysik sowie Festkörperphysik vertieft werden. Bezugnehmend zum Qualitätskriterium einer inhaltlichen Passung von Experimentalpraktika auf Inhalte weiterer Veranstaltung kann somit festgehalten werden, dass hier durchaus entsprechende Bezüge möglich sind (Fraser und McRobbie 1995). Offen bleibt jedoch, inwieweit abstraktere Themengebiete wie die spezielle Relativitätstheorie und die Quantenmechanik ebenfalls exemplarisch in Experimentalpraktika behandelt werden sollten (siehe z. B. Meineck und Giersch 2010). Denkbar wäre hier jedoch auch, dass die teilnehmenden Studierenden den entsprechenden Themenbezug der Versuche nicht eindeutig vornehmen könnten. Für zukünftige Forschung sollten daher die tatsächlich durchgeführten Experimente stärker in den Blick genommen werden.

Bei der Betrachtung der Qualität in Experimentalpraktika ist weiterhin auffallend, dass die Relevanz von Versuchen im Mittel geringer und heterogener wahrgenommen wurde als die übrigen Qualitätsmerkmale. Der vergleichsweise geringere Mittelwert für die wahrgenommene Relevanz könnte darauf zurückgeführt werden, dass ein Großteil der befragten Studierende aus den ersten zwei Studienjahren stammen und deshalb vermehrt Grundpraktika erfasst wurden, welche die Lehramtsstudierenden in den meisten Fällen gemeinsam mit den Studierenden des 1-Fach-Studiengangs Physik besuchen. Diese Grundpraktika weisen somit

Tab. 5 Regressionsmodelle und ihre Fit-Indizes zur Erklärung der Postwerte verschiedener Aspekte der professionellen Kompetenz angehender Physiklehrkräfte

	Modell 1 Fachwissen Post	Modell 2 Interesse Post	Modell 3 SWE Plan. Post	Modell 4 SWE Durchf. Post
CFI	1,000	0,989	1,000	0,969
RMSEA	0,000	0,033	0,000	0,054
SRMR	0,019	0,028	0,019	0,025
Prä	0,77***	0,50***	0,20	0,20
Geschlecht	0,17**	-0,03	0,37**	0,34***
Semester	-0,01	0,15	0,14	0,04
Abitur	-0,08	-0,28*	0,18	0,10
Qualität Ex- Praktikum	-0,06	0,13	0,45***	0,45**
R ²	0,78	0,37	0,40	0,36

Abgebildet sind standardisierte Koeffizienten. *Qualität ExPraktikum* Mittelwert der Items zur Qualität des Experimentalpraktikums, *SWE Plan.* Selbstwirksamkeitserwartung bei der Planung von Experimenten, *SWE Durchf.* Selbstwirksamkeitserwartung bei der Durchführung von Experimenten. Geschlecht: 0 = weiblich, 1 = männlich

** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

wenig direkte Bezüge zur Schulpraxis auf. Andersen (2020) konnte in diesem Zusammenhang zeigen, dass durch gezielte Designelemente wie z.B. die Verwendung von schultypischen Experimentiermaterialien oder die Verwendung von expliziten Bezügen zum Fachcurriculum und fachdidaktische Reflexionsfragen (z.B. zu möglichen Schwierigkeiten von Schüler*innen) in den Skripten die Relevanz der im Praktikum behandelten Lehrinhalte und Versuche deutlich gemacht werden kann. Eine Implikation ist damit folglich, dass die Implementierung von lehramtsspezifischen Praktikumsversuchen lohnenswert ist, um die Qualität der Praktika zu heben und somit auch die Entwicklung der angehenden Physiklehrkräfte zu unterstützen.

Allerdings konnte in der vorliegenden Studie kein Einfluss der wahrgenommenen Qualität von Experimentalpraktika auf den Zuwachs im Fachwissen und Interesse gefunden werden. Dieser Befund unterstreicht zunächst einmal die unklare Befundlage zur Bedeutung von Experimenten für das fachliche Lernen selbst. So deuten Analysen bei Schüler*innen eher darauf hin, dass lediglich kleine Effekte für das fachliche Lernen zu erwarten sind (z.B. Hofstein und Lunetta 1982). Es scheint somit Hinweise darauf zu geben, dass die Qualität von Experimentalpraktika keinen zusätzlichen Zusammenhang zum Lernen der Studierenden besitzt. An dieser Stelle zeigen sich jedoch ebenso messmethodische Limitationen der Studie. Der inhaltsbezogene Fachwissenstest prüft insgesamt acht verschiedenen Themenbereichen ab (Sorge et al. 2019), die im Laufe eines Lehramtsstudiums adressiert werden sollten, aber nur bedingt spezifischen Versuchen zugeordnet werden können. Gezieltere Analysen dieses Zusammenhangs sind an dieser Stelle erforderlich und vielversprechend, da Andersen (2020) einen Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Relevanz der Versuche für die spätere berufliche Tätigkeit und dem Zuwachs des spezifisch adressierten Fachwissen-

sens in einem Experimentalpraktikum zeigen konnte. Auch die Erhebung des Interesses an Physik stößt an methodische Grenzen, da Studierende des Lehramtes Physik bereits mit einem hohen physikalischen Interesse das Experimentalpraktikum beginnen und somit bereits Deckeneffekte in der Entwicklung zu beobachten sind.

Weiterhin war es in der aktuellen Studie nicht möglich, einzelne Dimensionen der Praktikumsqualität zu untersuchen. Stattdessen wurde die Qualität der Experimentalpraktika global mit vier Items erfasst. Vergleicht man die hier eingesetzte Anzahl an Items mit Studien zur Unterrichtsqualität wie beispielsweise PISA, werden dort typischerweise Skalen von fünf Items pro Qualitätsdimension eingesetzt (z.B. Schiepe-Tiska et al. 2016). In diesem Sinne stellt das hier vorgestellte Maß eine erste Näherung für die Einschätzung der Qualität von Experimentalpraktika dar. Zukünftige Studien sollten daher durch umfassendere Erhebungen des Konstrukt spezifischere Aussagen zum Einfluss von Lernumgebung und Lehrkompetenz (Rehfeldt 2017) auf die Entwicklung der Kompetenz angehender Physiklehrkräfte bestimmen. Dazu wäre es ebenso wünschenswert, die Qualität der Experimentalpraktika beispielsweise durch eine Beobachtung der Betreuungssituation (z.B. Huucke 1999) oder einer Analyse von Vorbereitungsmaterialien und Versuchsprotokollen zu bestimmen (z.B. Nagel 2009), um die Qualitätsmerkmale stärker auf den Lernprozess zu beziehen.

In dieser Studie konnte jedoch ein signifikanter Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Praktikumsqualität und der Änderung der Selbstwirksamkeitserwartungen zum Planen und Durchführen von Experimenten für den Physikunterricht festgestellt werden. Damit wird zunächst der Befund von Andersen (2020) bestätigt, die ebenfalls einen positiven Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Relevanz der Versuche eines Experimentalprakti-

kums und den Selbstwirksamkeitserwartungen bezogen auf das Planen und Durchführen von Experimenten im Unterricht zeigen konnte. Unklar bleibt bei beiden Studien jedoch der genaue Mechanismus, der dieser Entwicklung zu Grunde liegt. Folgt man den Überlegungen von Bandura (1997), dass insbesondere positive persönliche Erfahrungen die Selbstwirksamkeitserwartung stärken, so könnten geeignete Materialien und die Unterstützung durch Lehrpersonen diese positiven Erfahrungen im Umgang mit Experimenten stützen. Ein möglicher weiterer Erklärungsansatz für diesen Zusammenhang könnte in der Bedeutung des Faches für die Entwicklung fachdidaktischer Aspekte der professionellen Kompetenz liegen. So konnte vielfach bestätigt werden, dass fachliches Wissen eine notwendige Voraussetzung für den Erwerb fachdidaktischen Wissens darstellt (siehe dazu auch Riese und Reinhold 2010; Schiering et al. 2021a). Überträgt man diesen Befund auf die experimentelle Kompetenz angehender Lehrkräfte, so könnte eine Verbesserung dieser experimentellen Kompetenz eine Grundlage darstellen, Experimente im eigenen Unterricht sicherer einsetzen zu können. Zur Absicherung dieser These wäre es für zukünftige Forschung notwendig, neben der Selbstwirksamkeitserwartung der Lehramtsstudierenden auch die experimentelle Kompetenz dieser gleichermaßen zu messen.

Es muss an dieser Stelle jedoch beachtet werden, dass 22 der 82 Probanden mehr als eine Prä-Post-Beobachtung aufweisen. Diese Beobachtungen wurden in den Regressionsmodellen als unabhängige Beobachtungen von verschiedenen Personen behandelt. Regressionsmodelle, die lediglich eine Prä-Post-Beobachtung je Proband berücksichtigen, weisen dabei vergleichbare Effektstärken in den Regressionsn für die mittlere Qualität auf – lediglich die entsprechenden Signifikanzniveaus der Effekte nimmt aufgrund der geringeren Stichprobe ab. So ändert sich beispielsweise der Koeffizient der Qualität von Experimentalpraktika in Modell 3 von $\beta=0,45$, $p<0,001$ auf $\beta=0,30$, $p=0,01$ und in Modell 4 von $\beta=0,45$, $p=0,001$ auf $\beta=0,27$, $p=0,07$. Auch ein Vergleich der Korrelation zwischen der Qualität der Experimentalpraktika und den Selbstwirksamkeitserwartungen bei Probanden, die einmal oder mehrfach im Datensatz vorkommen, deutet abgesehen von geringeren Signifikanzniveaus auf keine systematischen Unterschiede hin, einfach: $r_{Q-EX_P}=0,42$, $p=0,05$; $r_{Q-EX_D}=0,37$, $p=0,09$; mehrfach: $r_{Q-EX_P}=0,51$, $p=0,02$; $r_{Q-EX_D}=0,28$, $p=0,21$. Daher scheint die Verzerrung durch die abhängigen Beobachtungen vernachlässigbar zu sein.

Diese Studie liefert damit einen Beitrag zum Verständnis des Zusammenhangs der Qualität von Experimentalpraktika und zentralen Aspekten der professionellen Kompetenz von angehenden Lehrkräften. Insbesondere in Bezug auf die Entwicklung von Selbstwirksamkeitserwartungen im Lehramtsstudium lässt sich konstatieren, dass praktische Erfah-

rungen, wie von Bandura (1997) vorgeschlagen, eine zentrale Quelle zu sein scheinen (siehe dazu auch Weß et al. 2020). Während Studierende des Physiklehramts bereits mit einem hohen Interesse an Physik das Studium beginnen und sich insbesondere das Fachwissen durch den Besuch von Vorlesungen und Übungen entwickelt (z. B. Sorge et al. 2019), stehen qualitativ hochwertige Experimentalpraktika in einem signifikanten Zusammenhang mit der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartungen zum Planen und Durchführen von Experimenten im Physikunterricht. Unsere Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass positive Erfahrungen in fachlichen Lerngelegenheiten ebenso einen Einfluss auf die Einschätzung fachdidaktischer Fähigkeiten haben können. So können Elemente der Lernumgebung sowie positive Rückmeldung durch die Dozierenden und eine hohe Relevanz für den späteren Beruf die positive Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartungen unterstützen. Damit diese Erfahrungen darüber hinaus jedoch auch zu einem effektiven Einsatz von Experimenten im Physikunterricht kommen, bedarf es zusätzlicher fachdidaktischer Lerngelegenheiten, um entsprechendes fachdidaktisches Wissen zu erwerben (Kulgemeyer et al. 2020). Die relativ niedrigen und heterogenen Einschätzungen zur Relevanz von Experimentalpraktika zeigen zudem einen vielversprechenden Weg (siehe z. B. Andersen 2020), um diese zentrale Lerngelegenheit im Physikstudium in Zukunft noch weiterzuentwickeln. Durch die spezifische Ausrichtung von Experimentalpraktika auf die Entwicklung der professionellen Kompetenz der angehenden Physiklehrkräfte kann somit ein Beitrag geleistet werden, Experimente in Schulen zielgerichtet einzusetzen.

Anhang

Weitere Beispielitems zur Erfassung des Fachwissens aus den Bereichen A) Elektromagnetismus, B) Optik, C) Atom- und Kernphysik und D) Quantenmechanik

A. Welche der folgenden Formeln beschreibt den Ohmschen Widerstand R eines Leiters mit Länge l , Querschnittsfläche A und spezifischem Widerstand ρ ?

- $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$
- $R = \rho \cdot \frac{A}{l}$
- $R = \rho \cdot \frac{l^2}{A}$
- $R = \rho \cdot \frac{A^2}{l}$

B. Welche der folgenden Vorgehensweisen ist geeignet, um herausfinden, ob es sich bei einem konkaven Spiegel um einen Parabolspiegel handelt?

Man vergleicht die Lage der Brennpunkte für Strahlen verschiedener Wellenlänge.

Man vergleicht die Lage der Brennpunkte für achsennahe- und achsenferne Strahlen die parallel zur optischen Achse auf den Spiegel treffen.

Man vergleicht die Lage der Brennpunkte für achsennahe Strahlen die parallel oder in einem Winkel von 45° auf den Spiegel treffen.

Man vergleicht die Lage der Brennpunkte bei der Abbildung von nahen und weit entfernten Objekten.

C. Vervollständigen Sie folgenden Satz:

Die Radiocarbon-Methode (auch C₁₄-Methode) ist ein Verfahren zur ...

D. Die Heisenbergsche Unschärferelation wird üblicherweise nur bei kleinen Objekten wie zum Beispiel Elektronen und Protonen berücksichtigt. Warum ist das bei größeren Objekten nicht der Fall?

Weil Messfehler an großen Objekten durch die Verwendung hinreichend empfindlicher Messgeräte prinzipiell beliebig verringert werden können.

Weil große Objekte eine exakte Position und einen exakten Impuls haben, die beide genau gemessen werden können.

Weil für große Objekte die Gesetze der Newtonschen Mechanik gelten, nach denen es keine Unbestimmtheit gibt.

Weil sie zwar prinzipiell vorhanden ist, aber so geringe Auswirkungen hat, dass sie nicht hinreichend wahrnehmbar ist.

Danksagung Wir danken Prof. Dr. Thorid Rabe für die Möglichkeit, das Instrument zur Erfassung von Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern zu nutzen, sowie für die konstruktive Rückmeldung zum Manuskript.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

Allison, P.D. (2003). Missing data techniques for structural equation modeling. *Journal of Abnormal Psychology*, 112(4), 545–557. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.112.4.545>.

American Association of Physics Teachers (1998). Goals of the introductory physics laboratory. *American Journal of Physics*, 66, 483–485. <https://doi.org/10.1119/1.19042>.

Andersen, J. (2020). *Entwicklung und Evaluierung eines spezifischen Anfängerpraktikums für Lehramtsstudierende im Fach Physik*. Kiel: Universitätsbibliothek Kiel.

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: the exercise of control*. Freeman.

Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.

Blömeke, S., Gustafsson, J.-E., & Shavelson, R. (2015). Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift für Psychologie*, 223, 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.

Bong, M., & Skaalvik, E. M. (2003). Academic self-concept and self-efficacy: how different are they really? *Educational Psychology Review*, 15(1), 1–40.

Boud, D., Dunn, J., Kennedy, T., & Thorley, R. (1980). The aims of science laboratory courses: a survey of students, graduates and practising scientists. *European Journal of Science Education*, 2(4), 415–428.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The “what” and “why” of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11, 227–268.

Deutsche Physikalische Gesellschaft (2014). *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik*. Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.

Eccles, J., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109–132.

Feldman, 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.

Fischer, H. E., Borowski, A., & Tepner, O. (2012). Professional knowledge of science teachers. In B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Hrsg.), *Second international handbook of science education*. Springer International Handbooks of Education, (Bd. 24, S. 435–448). Springer.

Fraser, B., & McRobbie, C. J. (1995). Science laboratory classroom environments at schools and universities: A cross-national study. *Educational Research and Evaluation*, 1, 289–317.

Fricke, A., Schecker, H., & Rückmann, I. (2011). *Hypermedia in der Vorbereitung auf das Physikalische Praktikum*. PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.

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.

Grossman, P., Schoenfeld, A., & Lee, C. (2005). Teaching subject matter. In L. Darling-Hammond & J. Bransford (Hrsg.), *Preparing teachers for a changing world. What teachers should learn and be able to do* (S. 201–231). San Francisco: Jossey-Bass.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics extended*. John Wiley.

Harlen, W. (1999). *Effective teaching of science. A review of research*. Glasgow: Scottish Council for Research in Education.

Hartig, J., & Kühnbach, O. (2006). Schätzung von Veränderung mit „plausible values“ in mehrdimensionalen Rasch-Modellen. In A. Ittel & H. Merkens (Hrsg.), *Veränderungsmessung und Längsschnittstudien in der empirischen Erziehungswissenschaft* (S. 27–44). Springer.

Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111–127.

- Hofstein, A., & Lunetta, V. (1982). The role of laboratory in science teaching: neglected aspects of research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201–217. <https://doi.org/10.3102/00346543052002201>.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>.
- Hucke, L. (1999). *Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums*. Logos.
- Klempin, C., Rehfeldt, D., Seibert, D., Brämer, M., Köster, H., Lücke, M., Nordmeier, V., & Sambanis, M. (2020). Stabilisierung der Selbstwirksamkeitserwartung über Komplexitätsreduktion. *Unterrichtswissenschaft*, 48, 151–177. <https://doi.org/10.1007/s42010-019-00058-3>.
- Korneck, F., Krüger, M., & Szogs, M. (2017). Professionswissen, Lehrerüberzeugungen und Unterrichtsqualität angehender Physiklehrkräfte unterschiedlicher Schulformen. In H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik* (S. 113–134). Logos.
- Krapp, A. (1992). Interesse, Lernen und Leistung. Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 38(5), 747–770.
- Kreiten, M. (2012). *Chancen und Potenziale web-basierter Aufgaben im physikalischen Praktikum*. Logos.
- Kröger, J. (2019). *Struktur und Entwicklung des Professionswissens angehender Physiklehrkräfte*. Kiel: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:8-diss-2511-93>
- Kulgemeyer, C., Borowski, A., Buschhäuser, 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>.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2019). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung*. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.
- Kyriakides, L., Creemers, B.P., Panayiotou, A., Vanlaar, G., Pfeifer, M., Cankar, G., & McMahon, L. (2014). Using student ratings to measure quality of teaching in six European countries. *European Journal of Teacher Education*, 37(2), 125–143. <https://doi.org/10.1080/02619768.2014.882311>.
- Lagowski, J.J. (2002). *The role of the laboratory in chemical education*.
- Meineck, C., & Giersch, J. (2010). *Neukonzeption eines Praktikumsversuchs zum normalen und anomalen Zeeman-Effekt*. PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Hannover.
- Meinhardt, C., Rabe, T., & Krey, O. (2016). Selbstwirksamkeitserwartungen in physikdidaktischen Handlungsfeldern. Skalendokumentation. Version 1.0 (Februar 2016). <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-118180>
- Meinhardt, C., Rabe, T., & Krey, O. (2018). Formulierung eines evidenzbasierten Validitätsarguments am Beispiel der Erfassung physikdidaktischer Selbstwirksamkeitserwartungen mit einem neu entwickelten Instrument. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, 131–150. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0079-6>.
- Mühlenbruch, T., Rehfeldt, D., & Nordmeier, V. (2014). *Interventionsgestaltung im Nebenfachpraktikum*. PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.
- Nagel, C.C. (2009). *eLearning im physikalischen Anfängerpraktikum*. Universität Wien. Dissertation.
- Nagel, C., Scholz, R., & Weber, K.-A. (2018). *Umfrage zu den Lehr/Lernzielen in physikalischen Praktika*. PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung.
- Nawrath, D., Maiseyenka, V., & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz – Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 60(6), 42–48.
- Neumann, K. (2004). *Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker*. Logos.
- Olinsky, A., Chen, S., & Harlow, L. (2003). The comparative efficacy of imputation methods for missing data in structural equation modeling. *European Journal of Operational Research*, 151(1), 53–79. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00578-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00578-7).
- Peng, C. Y.J., Harwell, M., Liou, S. M., & Ehman, L. H. (2006). Advances in missing data methods and implications for educational research. In S. S. Sawilowsky (Hrsg.), *Real data analysis* (S. 31–78). IAP.
- Pickering, M. (1988). A physical chemist looks at organic chemistry lab. *Journal of Chemical Education*, 65(2), 143–144.
- Potvin, P., & Hasni, A. (2014). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: a systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science Education*, 50(1), 85–129. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.881626>.
- Psillos, D., & Niedderer, H. (2002). Issues and questions regarding the effectiveness of Labwork. In D. Psillos & H. Niedderer (Hrsg.), *Teaching and learning in the science laboratory* (S. 21–30). Springer.
- Rehfeldt, D. (2017). *Erfassung der Lehrqualität naturwissenschaftlicher Experimentalpraktika*. Logos. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201802236022>
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Logos.
- Riese, J., & Reinhold, P. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Struktur professioneller Handlungskompetenzen von angehenden Physiklehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 167–187.
- Robitzsch, A., Kiefer, T., & Wu, M. (2020). TAM: test analysis modules. R package version 3.5-19. <https://CRAN.R-project.org/package=TAM>
- Rosseel, Y. (2012). Lavaan: An R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1–36.
- Schecker, H., Neumann, K., Theyßen, H., Eickhorst, B., & Dickmann, M. (2016). Stufen experimenteller Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 197–223. <https://doi.org/10.1007/s40573-016-0050-3>.
- Schiefele, U., Krapp, A., Wild, K.-P., & Winteler, A. (1993). Der Fragebogen zum Studieninteresse (FSI). *Diagnostica*, 39(4), 335–351.
- Schiefele, U., Streblow, L., & Retelsdorf, J. (2013). Dimensions of teacher interest and their relations to occupational well-being and instructional practices. *Journal for Educational Research Online*, 1.
- Schiepe-Tiska, A., Schmidtner, S., Müller, K., Heine, J.-H., Neumann, K., & Lüdtke, O. (2016). Naturwissenschaftlicher Unterricht in Deutschland in PISA 2015 im internationalen Vergleich. In K. Reiss, C. Sälzer, A. Schiepe-Tiska, E. Klieme & O. Köller (Hrsg.), *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation* (S. 133–175). Waxmann.
- Schiering, D., Sorge, S., & Neumann, K. (2021a). 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>.

- Schiering, D., Sorge, S., & Neumann, K. (2021b). 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>.
- Schmitz, G. S., & Schwarzer, R. (2000). Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrern. Längsschnittbefunde mit einem neuen Instrument. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 14(1), 12–25.
- Schwarzer, R., & Jerusalem, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. In *Zeitschrift für Pädagogik*, 44. Beiheft: *Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen* (S. 28–53).
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- 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., Keller, M., & Neumann, K. (2022). Physics teachers' professional knowledge and motivation. In J. Guisasola & E. McLoughlin (Hrsg.), *Connecting research in physics education with teacher education 3* (S. 129–143). International Commission of Physics Education. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5792968>.
- Teig, N., Scherer, R., & Nilsen, T. (2019). I know I Can, but do I have the time? The role of teachers' self-efficacy and perceived time constraints in implementing cognitive-activation strategies in science. *Frontiers in Psychology*, 10, 1–17. <https://doi.org/10.389/fpsyg.2019.01697>.
- 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*, 18, 7–28.
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51–69.
- Theyßen, H. (2000). *Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin*. Logos.
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J.-F., Buty, C., & Millar, R. (1998). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85(5), 483–508. <https://doi.org/10.1002/sce.1020>.
- Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities: in pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, 90(5), 403–418. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1990.tb17229.x>.
- Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K., & von Aufschnaiter, S. (1998). Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(1), 29–44.
- Weß, R., Priemer, B., Weusmann, B., Ludwig, T., Sorge, S., & Neumann, I. (2020). Der Verlauf von lehrbezogenen Selbstwirksamkeitserwartungen angehender MINT-Lehrkräfte im Studium. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 34(3–4), 221–238. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000272>.
- White, R. T. (1996). The link between the laboratory and learning. *International Journal of Science Education*, 18(7), 761–774. <https://doi.org/10.1080/0950069960180703>.
- 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>.
- Wuttiprom, S., Sharma, M. D., Johnston, I. D., Chitaree, R., & Sankwan, C. (2009). Development and Use of a Conceptual Survey in Introductory Quantum Physics. *International Journal of Science Education*, 31(5), 631–654. <https://doi.org/10.1080/09500690701747226>.
- Zumbach, J., Spinath, B., Schahn, J., Friedrich, M., & Kögel, M. (2007). Entwicklung einer Kurzskala zur Lehrevaluation. In M. Krämer, S. Preiser & K. Brusdeylins (Hrsg.), *Psychologiedidaktik und Evaluation* (Bd. 6, S. 317–325). V & R unipress.

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.