

Unter welchen Bedingungen erachten Physiklehramtsstudierende ihr Physikfachstudium als relevant für ihren zukünftigen Physikunterricht?

- Eine retrospektive Interviewstudie -

Tilman John*, Erich Starauschek*

*PSE Stuttgart-Ludwigsburg, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
tilmann.john@ph-ludwigsburg.de

Kurzfassung

Das Physik-Lehramtsstudium sollte auf den Physikunterricht vorbereiten. Damit dies gelingt, fordert z. B. die DPG (2014) das Lehramtsstudium stärker zu professionalisieren. Ein Ansatz ist die sogenannte *kumulative Lehre*, die in Fachveranstaltungen des Grundstudiums der PH Ludwigsburg umgesetzt wurde. Er erwies sich in einer Evaluationsstudie als geeignet für den Erwerb von schulrelevantem Fachwissen. Mit dem hier vorgestellten Forschungsvorhaben soll mit Fallstudien untersucht werden, ob sich Effekte der *kumulativen Lehre* in der Schulpraxis im Master-Studium zeigen. Dazu werden acht Studierende in ihrem Schulpraxissemester forschend begleitet. Parallel wird eine Vergleichsgruppe einer anderen Hochschule forschend begleitet ($N=6$). Mit Leitfadenterviews und Fragebögen werden die Studierenden zu ihren Unterrichtserfahrungen und zu ihrem Studium befragt. Der Artikel stellt das Forschungsvorhaben und ein Zwischenstand der qualitativen Inhaltsanalyse vor. Die vorläufige Analyse zeigt: Die Professionsorientierung der kumulativen Lehre scheint zu einem schülerorientierten Unterricht zu führen. Demgegenüber führt die Wissenschaftsorientierung der „traditionellen“ universitären Fachvorlesungen eher zu inhaltsorientiertem Unterrichten.

1. Einleitung: Das Forschungsvorhaben

Fachveranstaltungen des Physik-Lehramtsstudiums sollten zu einem vertieften Verständnis der physikalischen Inhalte des Schulunterrichts führen. Hingegen lautet eine häufige Kritik, dass diese Inhalte im Lehramtsstudium kaum vorkommen (z. B. Merzyn 2004, S. 77, DPG 2014, S. 23). Dabei gelten das sogenannte *Schulwissen* und das *vertiefte Schulwissen* als professionsrelevant für Physiklehrkräfte (vgl. z. B. Vogelsang et al. 2019) – gelehrt wird aber überwiegend universitäres Spezialwissen (z. B. mathematische Formalismen), das in Anbetracht der kurzen Studienzeit im Zwei-Fächer-Lehramt kaum zu einem physikalischen Grundverständnis für die Durchführung von Schulunterricht beiträgt (DPG 2014, vgl. für das Mathematiklehramt Hoth et al. 2019). Daher wird u. a. von der DPG (2014) ein Lehramtsstudium *sui generis* gefordert, das gezielt auf die Profession des Physikunterrichtens vorbereitet. Hinzu kommt die Kritik, dass der Stil von typischen Physikvorlesungen eher auf einen Kenntniserwerb ausgerichtet sei und Eigenaktivitäten im Umgang mit physikalischen Inhalten verhindere (Merzyn 2004, S. 83, vgl. auch Brackertz et al. 2019). Daher sind in den letzten Jahren verschiedene Ansätze für ein professionsorientiertes Physik-Lehramtsstudium entstanden. Einige Konzeptionen setzen unter den Stichworten der „Kohärenz“ oder „Vernetzung“ daran an, die fachlichen, fachdidaktischen und erziehungswissenschaftlichen Studienanteile enger zu verzahnen (z. B. Glowinski et al. 2018, Kreutz et al. 2020; Oettle et al. 2019). Andere

Ansätze konzentrieren sich dagegen spezifisch auf die fachliche Lehrerinnenprofessionalisierung, die sich von der wissenschaftlichen Professionalisierung von Fachphysikerinnen unterscheidet (z. B. Woehlecke et al. 2017). Zu diesen Ansätzen zählt auch das Konzept des *kumulativen Lehrens und Lernens im Lehramtsstudium Physik* (Abschnitt 3, vgl. auch John & Starauschek 2020). Dieses Konzept wurde als Prototyp an der PH Ludwigsburg (Physik-Lehramt für die Sekundarstufe 1) in Lehrveranstaltungen zur Mechanik umgesetzt und evaluiert. Die Intervention erweist sich demnach als geeignet, um den Erwerb des als professionsrelevant geltenden *Schulwissens* und *vertieften Schulwissens* in der Mechanik zu unterstützen (vgl. Abschnitt 3).

Bislang wurde erst selten untersucht, welche Rolle das Fachwissen für die Professionalisierung von Lehrkräften spielt (vgl. Hericks 2020, S. 9), also ob z. B. ein gutes vertieftes Schulwissen zu besserem Physikunterricht führt. Das vorgestellte Forschungsvorhaben soll einen Beitrag zu diesem Fragefeld leisten, indem es langfristige Effekte der professionsorientierten Fachausbildung der *kumulativen Lehre* während des Schulpraxissemesters und des Referendariats untersucht. Zu erwarten wäre zum Beispiel, dass ein professionsorientiertes Fachwissen zu einem sicheren Umgang mit den physikalisch-fachlichen Herausforderungen des Schulunterrichts führt. Dies sollte wiederum dazu führen, dass sich die Studierenden besser auf andere Herausforderungen der Schulpraxis konzentrieren können (z. B. Umgang mit

pädagogischen Herausforderungen des Unterrichts, didaktische Strukturierung des eigenen Unterrichts, Zeitmanagement etc.). Da bisher noch keine vergleichbaren Studien vorliegen, ist das hier vorgestellte Forschungsvorhaben explorativ über Fallstudien angelegt. Mit der Studie soll die Leitfrage untersucht werden, welche möglichen Einflüsse die Professionsorientierung der kumulativen Lehre auf den Physikunterricht angehender Physiklehrkräfte haben könnte.

2. Stand der Forschung

2.1. „Professionsorientierung“ im Lehramtsstudium Physik

Ansätze, die ein professionsorientiertes Lehramtsstudium in der ersten Phase¹ der Lehramtsausbildung anstreben, sollen Studierende besser auf die Praxisphasen des Schulunterrichts vorbereiten und damit zur Professionalisierung der Studierenden beitragen. Der Begriff der Professionsorientierung wird in der Literatur unscharf verwendet (vgl. Giest 2013, S. 28, vgl. auch Terhart 2001). Grob kann das professionsorientierte Studium einerseits von einer Berufsausbildung und andererseits von einem Studium abgegrenzt werden, das zu den praktischen Aufgaben der zukünftigen Profession keine Beziehung hat (vgl. Giest 2013, S. 28). Der Unterschied zur Berufsausbildung besteht darin, dass eben nicht nur überwiegend „in definierten Situationen anwendbare Fähigkeiten“ gelehrt werden, die durch Übung zur Routine werden sollen. Ein professionsorientiertes Studium fordert den Erwerb eines abstrakten Professionswissens, das eine Lehrkraft auch auf unbekannte Situationen im Kontext des Schulunterrichts anwenden kann. Zum Beispiel sollte eine Physiklehrkraft eine neue Unterrichtseinheit selbstständig didaktisch strukturieren oder auf ihr noch unbekannte Schülerinnenvorstellungen angemessen reagieren können. Abstraktes Professionswissen sollte angehenden Lehrkräften also Handlungsalternativen für die Praxis und ihrer Reflexion zur Verfügung stellen (vgl. Neuweg 2011, S. 41). Dieser Transfer von Professionswissen in praktisches Unterrichtshandeln kann wiederum in Schulpraxisphasen geübt werden (z. B. Kulgemeyer et al. 2020). In diesen Prozess sind in der Regel die Reflexionsphasen integriert, um den Erfolg des Transfers selbstständig oder mit Unterstützung von außen zu bewerten und zu verbessern (z. B. Ulrich et al. 2020). Damit kann aus ungeübtem Handeln – das zwar theoriegeleitet sein kann, aber nicht für jede Unterrichtssituation gleichermaßen angemessen sein muss – professionelles oder kompetentes Handeln werden. Diese „Fähigkeit“ wird in der Literatur auch als „professionelle Selbstständigkeit“ oder „Autonomie“ bezeichnet (vgl. Giest 2013, S. 28, vgl. auch

Zeichner et al. 2012). Die Aufgabe der universitären Lehrerbildung besteht im Wesentlichen darin, das Professionswissen zu lehren, deren selbstständige Anwendung in den späteren Phasen der Lehrerbildung reflektierend geübt werden soll. Als relevantes Professionswissen einer Lehrkraft gelten das fachliche, fachdidaktische und pädagogische Wissen (vgl. z. B. Bromme 1992).

2.2. Fachliche Professionalisierung im physikalischen Lehramtsstudium

Im vorliegenden Artikel wird ein Forschungsanliegen vorgestellt, das die Wirkung der sogenannten professionsorientierten *kumulativen Lehre* auf die Schulpraxis der angehenden Physiklehrkräfte untersuchen soll. Der Fokus liegt dabei auf der fachlichen Komponente des Professionswissens. In Hinblick auf die fachliche Professionsorientierung im Lehramtsstudium stellt sich dabei die Frage, welches physikalische Fachwissen als professionsrelevant gilt und wie effektiv dieses Wissen im Lehramtsstudium erworben wird. Das gelehrte Fachwissen lässt sich grob in unmittelbar professionsrelevantes und nur indirekt professionsrelevantes Fachwissen einteilen. Unmittelbar relevant ist das sogenannte *Schulwissen*. Die Professionsrelevanz des Schulwissens ergibt sich aus Plausibilitätsgründen, weil es das schulcurriculare Fachwissen abbildet, das zu lehren ist (vgl. auch Riese 2009, Vogelsang et al. 2019). Das über dem Schulwissen stehende Fachwissen wird oft als *vertieftes Fachwissen* zusammenfassend bezeichnet (z. B. Krauss et al. 2008), wobei üblicherweise eine weitere Differenzierung in *vertieftes Schulwissen* und *universitäres Wissen* vorgenommen wird. Bei spezifischer Betrachtung des *universitären Wissens*, das keinen unmittelbaren Zusammenhang zum Schulcurriculum hat, lies sich bislang empirisch keine Relevanz für kompetentes Handeln im Unterricht nachweisen (z. B. Kulgemeyer & Riese 2018, Riese 2010). Demgegenüber kann für spezifische Unterrichtssituationen (z. B. das Erklären von Physik) die Relevanz eines *vertieften Schulwissens* (das im Vergleich zum *universitären Wissen* einen eindeutigen Bezug zu Inhalten des Schulcurriculums hat) für professionelles Handeln empirisch nachgewiesen werden (Kulgemeyer & Riese 2018). Daraus sollte nicht abgeleitet werden, dass *universitäres Wissen* irrelevantes Wissen für Physiklehrkräfte wäre, aber *Schulwissen* und *vertieftes Schulwissen* haben eine unmittelbare Professionsrelevanz. In diesem Zusammenhang erscheint es problematisch, dass das professionsrelevante *Schulwissen* und *vertieftes Schulwissen* einen sehr geringen Stellenwert in der universitären Lehramtsausbildung einnehmen (Merzyn 2017, S. 77). Ein Grund könnte sein, dass an Universitäten nach der sogenannten *trickle-down*-Annahme gelehrt wird:

Referendariat mit der schulpraktischen Ausbildung. Auch in der ersten Phase werden bereits Schulpraxisphasen angeboten, auf die sich der vorliegende Artikel bezieht.

¹ Das Lehramtsstudium besteht aus zwei Phasen (BMBF 2021). Als erste Phase wird das Studium der Unterrichtsfächer, ihrer Fachdidaktik und der Pädagogik bezeichnet, das an den Hochschulen oder Universitäten stattfindet. Die zweite Phase ist das

Beim Erwerb von *universitärem Wissen* wird implizit auch *Schulwissen* und *vertieftes Schulwissen* erworben werden (Hoth et al. 2019, Wu 2015). Für den Erwerb des professionsrelevanten Fachwissens wären nach dieser Annahme also keine spezifischen Lerngelegenheiten notwendig.

Für das Physiklehramtsstudium gibt es zu dieser Annahme noch keinen belastbaren Forschungsstand. Eine eigene Evaluationsstudie deutet jedoch darauf hin, dass diese *trickle-down*-Wirkung zwar vorhanden aber eher ineffektiv ist (John eingereicht). Für den Erwerb von schulrelevantem Fachwissen wären also spezifische, professionsorientierte Lerngelegenheiten geeigneter. Eine Studie von Hoth et al. (2019) aus dem Bereich der Mathematik bestätigt diesen Befund. Weitere Hinweise dafür, dass schulrelevantes Fachwissen im Grundstudium eher ineffektiv erworben wird, liefern Studien, wonach angehende Physik-Lehrkräfte das schulrelevante Fachwissen überwiegend erst im Referendariat oder in den ersten Berufsjahren (Borowski et al. 2017, Schödl & Göhring 2017) erwerben und häufig selbst typische Schüler-vorstellungen aufweisen (Abell 2007, van Driel et al. 2014).

Die Professionsorientierung des Physiklehramtsstudiums wird auch aus Sicht der studentischen Perspektive untersucht. Dabei zeigt sich, dass Lehramtsstudierende in den naturwissenschaftlichen Fächern mit der Professionsorientierung in ihrem Studium häufig unzufrieden sind (Merzyn 2004). Eine geringe Relevanzwahrnehmung gilt aber wiederum als ursächlich für Studienabbrüche (Albrecht 2011, Heublein et al. 2007). Damit trüge die universitäre Lehre der Physik selbst zu den Abbruchquoten im Lehramtsstudium Physik bei. Dieser Zusammenhang kann mit der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (1993) begründet werden: Extrinsische Lernmotive müssen von Studierenden akzeptiert werden (sogenannte „identifizierte Regulation“, vgl. ebd. S. 228), damit Lernen erfolgreich ist. Dabei sind an institutionellen Lernumgebungen extrinsische Lernmotive die Regel, weil Dozierende aufgrund ihrer Expertise einschätzen müssen, welches Wissen für die Studierenden relevant wird und die Curricula des Grundstudiums i.d.R. fest vorgegeben sind. Diese extrinsischen Lernmotive müssen sich nicht notwendigerweise negativ auf die Lernmotivation der Studierenden auswirken. Sie werden von Studierenden aber eher akzeptiert, wenn die Relevanz für sie nachvollziehbar ist. Da Lehramtsstudierende häufig Fachveranstaltungen gemeinsam mit Fachphysikstudierenden besuchen, haben die Inhalte nicht immer eine wahrnehmbare Relevanz für das Lehramt. Studierende gehen dabei mit der wahrgenommenen Diskrepanz zwischen Erwartung und

Erfahrung sehr unterschiedlich um (vgl. z. B. Holme-gaard et al. 2013)². Eine Strategie besteht darin, sich in der vorgefundenen Institution zu sozialisieren („Internalisierung“) und die persönlichen Lernmotive an die vorgefundenen extrinsischen Erwartungen anzupassen. Eine alternative, typische „Strategie“ besteht in der Resignation, die auf den wiederholten Versuch folgt, sich anzupassen zu müssen. Dem Lehramtsstudium fehlt dabei ein strukturelles und institutionelles Element über das sich die Studierenden als zukünftige Lehrkraft sozialisieren könnten. Somit wäre zu erwarten, dass den Physik-Lehramtsstudierenden unter den gegebenen Bedingungen nur die Sozialisierung in den Fachwissenschaften (und nicht als Lehrkraft) oder die Resignation und damit ein Studienabbruch übrigbleibt. Vorteile eines Lehramtsstudiums *sui generis* (DPG 2014) für die Relevanzwahrnehmung lassen sich empirisch nachweisen (Ludwig 2013, Massolt & Borowski 2020). Weiter führt ein höherer Anteil an fachdidaktischen Veranstaltungen im Studium zu einer höheren Relevanzwahrnehmung (Gries 2013). Eine Studie von Massolt und Borowski (2020) stellt zudem heraus, dass Lehramtsstudierende Physikaufgaben eher als relevant wahrnehmen, wenn konzeptuelle statt mathematischer Probleme behandelt werden. Die Autoren weisen aber darauf hin, dass dennoch nicht nur Aufgaben mit geringen mathematischen Anforderungen gestellt werden sollten, um die Lehrziele nicht zu verfehlen (ebd. S. 178). Zusammenfassend ergibt sich aus der Literatur ein Bild, in dem im Lehramtsstudium überwiegend Inhalte gelehrt werden, deren Relevanz für Studierende nicht wahrnehmbar ist.

2.3. Die Rolle der Schulpraktika für die Professionalisierung

Der Übergang vom Studium in die Schulpraxis ist häufig von einem sogenannten „Praxisschock“ begleitet (vgl. Kunter 2016, Dicke et al. 2016). Studierende berichten dabei von einem hohen Stresserleben. Zudem geben Referendare rückblickend häufig an, durch die fachwissenschaftlichen Studien nicht auf die Unterrichtspraxis vorbereitet worden zu sein (Merzyn 2004). Bislang gibt es keinen Forschungsstand dazu, wie sich eine frühzeitige professionsorientierte fachliche Lehramtsausbildung auf die Praxi-sphase auswirkt. In Abschnitt 2.2 wurde entgegen der *trickle-down*-Annahme dargestellt, dass schulrelevantes Fachwissen nach dem Studium in der Schule oft nicht ausreichend verfügbar ist, wenn im Studium ausschließlich Lerngelegenheiten für universitäres Wissen angeboten werden. Daraus folgt, dass Lehramtsstudierende, die nach dem Fachstudium über ein universitäres Fachwissen verfügen, das notwendige schulrelevante Fachwissen während der Schulpraxis

² In der Studie von Holme-gaard et al. (2013) wurden Studierende aus verschiedenen naturwissenschaftlichen Studiengängen untersucht, nicht jedoch aus dem Lehramt. Studien zum Umgang Lehramtsstudierender mit wahrgenommener Diskrepanz zwischen Erwartung und Erfahrung liegen jedoch nicht oder nur in

explorativer Form vor. Es wäre jedoch plausibel anzunehmen, dass die in Holme-gaard et al. (2013) berichteten Strategien domänenspezifisch sind.

Wiederholtes Aufgreifen	Bei der Erarbeitung neuer Inhalte werden die relevanten physikalischen Grundkonzepte nochmal explizierend aufgegriffen
Alltagsvorstellungen	Auf typische Alltagsvorstellungen, die die Studierenden häufig selbst zu den Grundkonzepten haben, wird in der Vorlesung eingegangen
Üben	Übungsphasen in der Vorlesung ermöglichen ein kontinuierliches Anwenden der Konzepte in variablen Kontexten. Der Fokus liegt auf qualitativen Aufgabenstellungen
Schulbezug	Fachliche Bezüge zur Schulphysik in der Vorlesung ermöglichen eine Vernetzung von universitärem Wissen mit Schulwissen und vertieftem Schulwissen.

Tab. 1: Lehrprinzipien der kumulativen Lehre nach John und Starauschek (2020)

erwerben müssen. Dies dürfte jedoch eine Zusatzbelastung für die Studierenden in ihrem Schulpraxissemester bedeuten. Denkbar wäre deshalb, dass sich Studierende, die nach einer professionsorientierten fachlichen Lehramtsausbildung über ein hohes schulrelevantes Fachwissen verfügen, während der Schulpraxis besser auf die fachdidaktischen und pädagogischen Anforderungen der Praxisphase fokussieren können. Kulgemeyer et al. (2020) zeigen zudem, dass der Erwerb von Erklärfähigkeiten während der Praxisphase von der Verfügbarkeit von Professionswissen abhängt. Der Erwerb von professionellem Handlungswissen („*action-related skills*“, ebd.) in der Praxisphase ist also vorwissensabhängig. Umgekehrt sollte fehlendes *relevantes* Vorwissen eher zu einem kleineren Schritt in der Ausbildung während der Schulpraxis führen, aber zu einem höheren Stresserleben der Schulpraxis beitragen.

3. Die Intervention: Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik

3.1. Merkmale des Lehransatzes

Das Konzept *kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik* (John & Starauschek 2020) stellt einen Ansatz dar, um physikalisches Fachwissen professionsorientiert zu lehren. Dieser Ansatz wurde aus lernpsychologischen Theorien zum kumulativen Lernen abgeleitet (u. a. Gagné 1968, Lee 2012) und weiterentwickelt. Der Kern liegt darin, schulrelevante Grundkonzepte (z. B. die Konzepte Kraft, Impuls, Energie) beim Lehren neuer Inhalte immer wieder zu explizieren. Beispielsweise kann für verschiedene physikalische Systeme explizit die Frage beantwortet werden, unter welchen Bedingungen der Impuls eines Systems erhalten ist (z. B. die Systeme „mathematisches Pendel“, „Venturi-Rohr“, „Elektron im elektrischen Feld eines Kondensators“). Dieses kumulative Lehrprinzip wird als *Wiederholtes Aufgreifen* bezeichnet (Tab. 1). Im Lernmodell hat diese Wiederholung dabei nicht nur den Zweck einer einfachen Repetition bereits gelernter Konzepte, sondern es wird angenommen, dass die Grundkonzepte im Kontext der neuen Lerninhalte explizit zu konkretisieren sind, damit innerfachliche Zusammenhänge erkannt werden können. Dem schließt sich das

Prinzip des *variablen Übens* an, welches besagt, dass Studierende die Konkretisierung und Abstraktion der Grundkonzepte unmittelbar und selbstständig durchführen sollten. Darüber hinaus sind Alltagsvorstellungen der Studierenden im Lehr- und Lernprozess zu berücksichtigen, um die Verfestigung fehlerhafter Vorstellungen entgegenzuwirken und Konzeptwechsel einzuleiten (Prinzip *Alltagsvorstellungen*). Das vierte Merkmal *Schulbezug* ist nicht aus den kumulativen Lernmodellen, sondern aus der Forderung nach mehr Professionsorientierung im Lehramtsstudium abgeleitet. Das Modell ist ausführlich in John & Starauschek (2020) sowie in Rubitzko et al. (2018, 2019 a,b) beschrieben.

3.2. Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der Evaluationsstudie

Die kumulativen Lehrprinzipien aus Tabelle 1 wurden an der PH Ludwigsburg in drei Lehrveranstaltungen (Vorlesung zur Mechanik, physikalisches Praktikum zu mechanischen Schulversuchen, Vorlesung zur Elektrodynamik) mit zwei Jahrgängen in einer Intervention umgesetzt. Diese Intervention wurde mit einer Mixed-Methods Studie evaluiert: Einer Untersuchung des Fachwissenserwerbs im längsschnittlichen, quasi-experimentellen Design sowie einer qualitativen Interviewstudie zum sogenannten *Lernzugang*³ der Studierenden in der Vorlesung. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Fachwissenserwerb im Bereich des Schulwissens und vertieften Schulwissens effektiver als bei der „traditionellen“ Physiklehramtsausbildung ist (John eing.). Aus einer Interviewstudie folgt zudem, dass einige Studierende trotz der studierendenorientierten Intervention eher oberflächlich lernen, weil sie die kumulativen Lehrangebote als Angebote für auswendig lernen interpretieren. Diese Studierenden weisen dabei geringere Fachwissenszuwächse als Studierende auf, die eher vertieft lernen. Dies deutet darauf hin, dass der Erfolg der Intervention stark von den Lernkonzepten der Studierenden abhängt.

³ Der Lernzugang bezeichnet das situationsspezifische Lernverhalten (Marton & Booth 2014). Er beschreibt dabei ein

Kontinuum mit den Polen Oberflächenzugang (Sprich: „Auswendiglernen“) und Tiefenzugang (Sprich: „Verstehen und Interpretieren“).

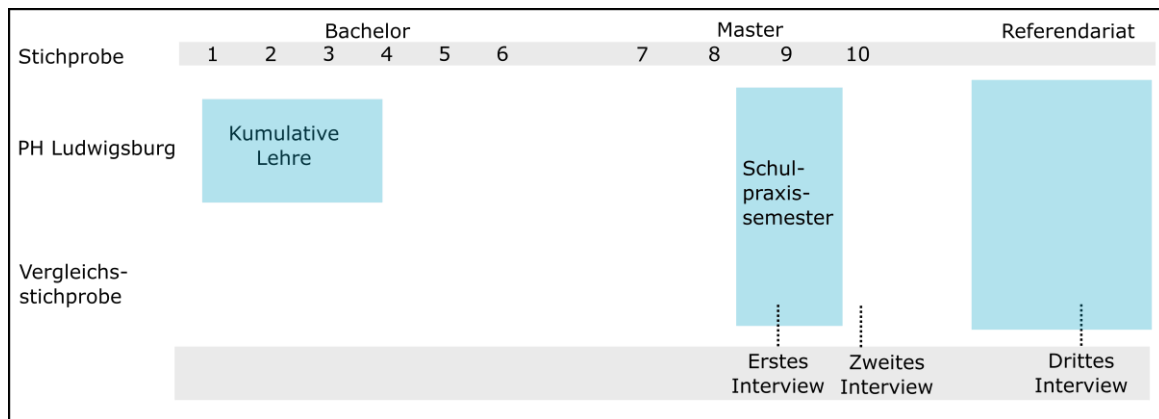


Abb. 1: Ablauf der Studie

4. Forschungsvorhaben

4.1. Fragestellung

Die Intervention der kumulativen Lehre (Abschnitt 3) hatte als professionsorientierte Lehramtsausbildung zwei Ziele: a) Den Erwerb des professionsrelevanten Fachwissens zu unterstützen sowie b) die Wahrnehmung der Relevanz für den zukünftigen Lehrerberuf. Im Schulpraktikum wäre damit plausibel zu erwarten, dass die Studierenden fachlich gut vorbereitet sind und sich deshalb besser auf andere Herausforderungen des Praktikums (z. B. pädagogische und didaktische) konzentrieren können. Zudem wäre u. U. zu erwarten, dass die Studierenden keinen oder einen kleineren „Praxischock“ erleben. Im vorgestellten Folgeprojekt soll explorativ untersucht werden, ob sich diese Erwartungen einstellen oder andere subjektive Beobachtungen zeigen. Dies wird anhand folgender Teilfragen analysiert:

1. Wie gehen die Studierenden mit den fachlichen Herausforderungen ihres Physikunterrichts um?

Mit dieser Frage soll untersucht werden, ob die Studierenden ihr Fachwissen dazu nutzen können, ihren Unterricht geeignet zu strukturieren (z. B. durch die Wahl von Beispielen) oder ob sie z. B. und welche fachlichen Schwierigkeiten haben.

2. Hat das Physikstudium aus der Perspektive der Studierenden zur fachlichen Professionalisierung beigetragen?

Mit der zweiten Frage sollen die Studierenden ihr Fachstudium retrospektiv bewerten. Auf Basis dieser subjektiven Bewertung sollen Hinweise gefunden werden, welche Relevanz die Intervention der kumulativen Lehre für die professionelle Entwicklung der Studierenden hatte.

4.2. Studiendesign und Methoden

Die Forschungsfragen sind offen formuliert; ein belastbarer Forschungsstand liegt bislang nicht vor. Deshalb wird die Studie als explorative Fallstudie durchgeführt. Mit den gewonnenen Daten sollen die obigen Plausibilitätshypothesen datenbasiert bestätigt

oder ggf. neue Hypothesen generiert werden. Die Forschungsfragen anhand der subjektiven Wahrnehmungsperspektive der Studierenden mit drei Leitfadeninterviews (Hopf 2013) untersucht, die inhaltsanalytisch ausgewertet werden (Mayring 2010).⁴ In beiden Kohorten findet der erste Kontakt im Schulpraxissemester im Masterstudium statt. Das erste Interview wird während des Schulpraxissemesters durchgeführt, unmittelbar nachdem die Studierenden ihren eigenen Unterricht durchgeführt haben (Abbildung 1). Um zu vermeiden, dass singuläre Ereignisse das Interview überdecken, wird nach dem Schulpraxissemester ein zweites Interview durchgeführt. Damit können die Studierenden ihre Erfahrungen mit etwas zeitlichem Abstand reflektieren. In der Analyse wird untersucht, ob sich dabei neue Aspekte ergeben. Ein drittes Interview soll während des Referendariats der Studierenden durchgeführt werden. Zudem wird ein Fragebogen zur Bewertung des Studiums eingesetzt (Bungartz & Wynands 1999). Zum jetzigen Zeitpunkt sind die Durchführung des ersten Interviews sowie die Erhebung mit dem Fragebogen abgeschlossen.

4.3. Stichprobe

Die Gesamtstichprobe der Studie besteht aus der Interventions- und der Vergleichsstichprobe (Tab. 2). Die Interventionsstichprobe setzt sich aus den Physik-Lehramtsstudierenden der ersten Kohorte der Sekundarstufe 1 der PH Ludwigsburg zusammen, die an der Intervention der kumulativen Lehre teilgenommen haben (vgl. Abschnitt 3). Diese Studierenden haben also eine professionsorientierte Lehre erfahren. Bei der Vergleichsstichprobe handelt es sich um eine Gelegenheitsstichprobe einer Universität mit Physik-Lehramtsstudierenden der Sekundarstufe 2. Die Studierenden beider Stichproben befinden sich zum Zeitpunkt der Studie im Master-Studiengang und absolvieren ihr Semesterpraktikum an einer Schule. Das Schulpraxissemester führen die Studierenden i.d.R. im 9. Fachsemester durch. Es ist geplant, dass weitere Kohorten der folgenden Jahrgänge an der Studie teilnehmen.

⁴ Der Leitfaden kann auf Wunsch beim Autor angefordert werden

Stichprobe	N	Anteil weibl.	Semester MW (SD)	Abiturnote MW (SD)	Studiengang
PH	8	50%	9 (1)	2.5 (0.6)	LA Physik Sek 1
Uni	6	0%	10 (1)	1.6 (0.6)	LA Physik Sek 2

Tab. 2: Stichproben

5. Vorläufige Ergebnisse

5.1. Deskriptive Ergebnisse

Mit dem Fragebogen sollten die Studierenden ihr Studium bewerten. Der Fragebogen wurde auf einer vierstufigen Skala beantwortet (vgl. Tab. 3). Die daraus gewonnenen Daten dienen zur deskriptiven Beschreibung der Fälle. Die in Tabelle 3 dargestellte Gegenüberstellung der Stichproben hat daher nicht den Anspruch, repräsentativ zu sein.

Die Bewertungen fallen bei beiden Stichproben insgesamt positiv aus: Die Qualität des Physikstudiums wird als „eher gut“ oder „sehr gut“ bewertet. Zwischen den Stichproben ist kein wesentlicher Unterschied erkennbar. Unter der Stichprobe der Universität bewerten aber zwei der $N=6$ Studierenden den Berufsfeldbezug in ihrem Studium als eher negativ. Diese Haltung deckt sich mit der Literatur: Demnach bewerten Physik-Lehramtsstudierende ihr Physikstudium häufig als wichtigsten Studienteil (im Vergleich zu ihren fachdidaktischen und pädagogischen Studien), aber auch als irrelevant für ihren zukünftigen Beruf (Merzlyn 2004). Diese Ambivalenz findet sich ebenfalls in den bisher ausgewerteten Interviews (Abschnitt 5.2). Aufgrund der kleinen Stichprobengröße sind die hier vorgestellten Daten nicht repräsentativ.

5.2. Zwischenstand aus der qualitativen Inhaltsanalyse zu den Interviews

Bisher wurden vier Interviews (zwei der Interventions- und zwei der Vergleichsstichprobe) ausgewertet. Die Auswertung erfolgt in Anlehnung an die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2010). Für die Analyse wurde nach der Methode der Subsumtion ein induktives Kategoriensystem entwickelt. Bisher wurden die Interviews von vier Studierenden ausgewertet. Die hier gezeigten Ergebnisse bilden einen Zwischenstand der Kategorienentwicklung ab. Tabelle 4 fasst eine Auswahl der induktiv entwickelten Kategorien zusammen. Demnach bewerten alle vier Studierenden ihr Fachstudium im Interview rückblickend als positiv und für die Schule vorbereitend (analog zum Fragebogen, Tab. 3).

Im Folgenden wird anhand exemplarischer Interviewpassagen gezeigt, wie die Studierenden beider Hochschulen (PH und Uni) ihr Studium rückblickend beschreiben und wie sie sich auf das Unterrichten im Schulpraktikum vorbereitet fühlen. Dabei finden sich Unterschiede zwischen den Stichproben. Für die folgenden Interviewpassagen wurden den Studierenden folgende Pseudonyme zugeordnet: Paula und Patrick für die beiden Studierenden der PH sowie Uli und Uwe für die beiden Studierenden der Universität.

Fragestellung	PH (N=8)	Uni (N=6)
Qualität des Physikstudiums	Sehr gut (8) Eher gut (0) Eher schlecht (0) Schlecht (0)	Sehr gut (3) Eher gut (2) Eher schlecht (1) Schlecht (0)
Fachliche Anforderungen	Genau richtig (7) Eher zu hoch (1) Eher zu niedrig (0) Zu hoch (0)	Genau richtig (3) Eher zu hoch (2) Eher zu niedrig (0) Zu hoch (1)
Berücksichtigung des Berufsfelds (allgemein im Studium)	Sehr gut (0) Ausreichend (6) Zu wenig (2) Gar nicht (0)	Sehr gut (0) Ausreichend (4) Zu wenig (2) Gar nicht (0)
Berücksichtigung des Berufsfelds (in Physikveranstaltungen)	Sehr gut (2) Ausreichend (6) Zu wenig (0) Gar nicht (0)	Sehr gut (2) Ausreichend (4) Zu wenig (0) Gar nicht (0)
Vermittlung physikalischer Kompetenz für die Durchführung von Physikunterricht	Sehr gut (1) Recht gut (7) Eher schlecht (0) Sehr schlecht (0)	Sehr gut (2) recht gut (2) Eher schlecht (2) Sehr schlecht (0)

Tab. 3: Ergebnisse aus dem Fragebogen (4-stufige Items, absolute Häufigkeit in Klammern)

PH (bisher zwei ausgewertete Interviews)	Uni (bisher zwei ausgewertete Interviews)
Alle vier Studierenden bewerten ihr Fachstudium grundsätzlich als positiv und vorbereitend für die Planung und Durchführung des eigenen Unterrichts	
Negative Aspekte: Andere Studienanteile sind nicht professionsbezogen (z.B. EW)	Negative Aspekte: Keine Identifikation als Lehrkraft möglich; Mathematik dominiert
Schulbezug: Heben die Bedeutung fachlicher Schulbezüge im Studium für den eigenen Unterricht hervor	Schulbezug: Schulphysik ist „triviale“ universitäre Physik, weshalb fachliche Schulbezüge im Studium nicht notwendig sind
Bedeutung tiefes Fachwissen: Gibt Sicherheit und Respekt im Unterricht, ist aber eher nicht interessant	Bedeutung tiefes Fachwissen: Gibt Sicherheit im Unterricht und ist interessant; zeigt Grenzen eigener Fähigkeiten auf
Eher schülerorientierter Unterricht: Suchen z.B. nach geeigneten Beispielen und nicht nach fachlich richtigen Herleitungen	Eher inhaltsorientierter Unterricht: mathematisch-deduktive Herangehensweise

Tab. 4: Zusammenfassung einiger Kategorien der qualitativen Inhaltsanalyse (Zwischenstand)

Rückblickende Beurteilung der Professionsorientierung im Studium

Rückblickend beschreiben die Studierenden der PH drei Aspekte des Physikstudiums als professionsrelevant: die Berücksichtigung der Sprache in der Physik, die Behandlung von typischen Schülerinnenvorstellungen in Fachveranstaltungen sowie lebensweltliche Bezüge in Aufgabenstellungen:

Paula: „Im Fachstudium wurde auch viel Wert auf eine gute Sprache und Formulierungen im Unterricht gelegt. Das hat mir sehr geholfen.“

Paula: „Ich finde Schulbezüge wichtig. In der Mechanik wurden immer Schülervorstellungen behandelt. Dann wusste man, worauf man achten muss und wie Schülerinnen und Schüler denken.“

Paula: „Auch in der Aufgabenauswahl hat man einen Schulbezug gesehen. Das sieht man z.B. an einem Lebensweltbezug in der Aufgabe z.B. in der E-Dynamik. Das kann man auch als Beispiel für den Unterricht nehmen dann.“

Patrick: „Es wurde viel gelehrt, was man später nicht braucht oder unwichtig ist. Es ist gut, dass es ausführlich ist und man etwas darüber hinaus weiß. Aber z.B. Maxwell-Gleichungen brauche ich später nicht. Auch Moderne war viel und intensiv. [...] In den Fachvorlesungen hat man anhand der Diskussionen gesehen, dass das Wissen der Dozenten auch mal über das hinausgeht, was sie lehren. Das führt einem vor Augen, wie wichtig ein vertieftes Fachwissen ist, weil oft fragt man sich, wofür brauche ich das? So hat man das veranschaulicht bekommen.“

In der letzten Passage sagt Patrick, dass auch aus seiner Sicht Irrelevantes gelehrt wurde (Maxwell-Gleichungen). Das habe ihm aber veranschaulicht, warum ein vertieftes Fachwissen als Lehrkraft wichtig ist (der Dozent dient ihm dabei als Vorbild). Im Vergleich dazu beschreiben die Studierenden der

Universität deutlich häufiger und mit stärkerer Betonung, dass Irrelevantes gelehrt wurde, wofür folgende Passage typisch ist:

Uli: „Ich fühle mich fachlich sicher für die Schule. An der Uni haben wir noch mehr gelernt. Das habe ich teilweise wieder vergessen. Das brauche ich aber auch nie. [...] Ich denke oft mathematisch, aber das bringt dann nichts. Und ich muss mir in der Vorbereitung oft überlegen, wie ich das qualitativ hinkriege, das zu erklären. Die Themen sind zum Glück nicht schwer. Das habe ich im Studium vermisst, denn dort rechnet man nur. [...] Es war immer ein Kampf mit der Mathematik.“

Uli fühlt sich demnach fachlich auf das Unterrichten an der Schule vorbereitet. Dennoch habe er Vieles gelernt, das er nicht mehr brauche und bereits wieder vergessen habe. Vor allem scheint die Mathematik in der Physik problematisch für Uli gewesen zu sein. Eine typische Antwort bei den Universitätsstudierenden auf die direkte Nachfrage, ob mehr fachlicher Schulbezug in den Fachvorlesungen wünschenswert wäre, ist, dass dies nicht notwendig sei:

Uwe: „Das Fachstudium ist gut so, man sollte es nicht da schon auf die Schule herunterbrechen. Das ist dann aber die große Kunst. Da sollte man mehr in Fachdidaktik dazu machen. Aber die Fachdidaktik ist leider sehr theoretisch mit solchen Fragen wie: ‚Was ist Fachdidaktik?‘ [...] Universitäre Inhalte sind wichtig für den Unterricht mit Hochbegabten und weil es mich interessiert. Es wäre deshalb schade, wenn ich mich im Studium nur auf die Schulphysik konzentrieren würde.“

Während die Studierenden der PH Schulbezüge und die wahrgenommene Professionalisierung also rückblickend als positiv bewerten, scheinen die Studierenden der Uni keine fachlichen Schulbezügen zu vermissen. Das steht im Widerspruch zu der Aussage, dass an der Universität viel irrelevantes Fachwissen

gelehrt wurde. Statt fachlicher Schulbezügen wünschen sich die Studierenden der Universität mehr qualitative Physik in den Fachvorlesungen.

Lehrorientierung der Studierenden bei ihrem Schulunterricht

In einem zweiten Interviewabschnitt wurden die Studierenden zu ihren Unterrichtserfahrungen in der Schulpraxis befragt (z. B. „Beschreiben Sie bitte, wie Sie bei der Vorbereitung zu Ihrem Unterricht vorgegangen sind.“ Oder: „Was ist Ihnen beim Unterrichten besonders schwergefallen?“). Die qualitative Inhaltsanalyse zeigt, dass sich die Stichproben in einem Merkmal unterscheiden: der Lehrorientierung (Schülerinnen- vs. Inhaltsorientierung). Die Studierenden der PH sind dabei eher schülerinnenorientiert, wie sich folgender typischer Passage exemplarisch entnehmen lässt:

Paula: „Schwierig finde ich es immer, wenn man merkt, dass etwas nicht bei den Schülern ankommt und dann herauszufinden, woran das liegt. Oder das während dem Unterricht zu erkennen und darauf zu reagieren.“

Demgegenüber sind die beiden Studierenden der Universität sehr häufig versucht, physikalische Gesetze oder Zusammenhänge für den Unterricht axiomatisch herzuleiten. Daraus lässt sich vorläufig folgern, dass sich die Studierenden der Universität eher mit ihrem eigenen Wissenssystem als dem ihrer Schüler und Schülerinnen befassen. Die Studierenden der Universität reflektieren dem Interview zufolge aber auch, ob die Schülerinnen und Schüler diese Herleitungen verstehen können und weisen somit auch in Ansätzen eine Schülerinnenorientierung auf:

Uli: „Ich wollte Wellen mathematisch sauber einführen und musste nachlesen, ob es im Argument $(kx-wt)$ oder $(wt-kx)$ ist. Überall steht es anders, aber ich habe nicht herausgefunden, was richtig ist. Ich wollte den SuS deshalb sagen, es ist Definitionssache, um mich so rauszureden. Dann stellte sich aber heraus, dass ich die Gleichung letztlich nicht verwendet habe.“

Uli: „Ich musste nochmal nachlesen, wo die Lorentzkraft herkommt. Ich glaube man kann sie aus der Relativitätstheorie herleiten irgendwie.“

Uwe: „Mir fallen gerade noch ein paar andere Schwierigkeiten ein beim Unterrichten. An der Uni hinterfragt man alles, d.h. man beweist alles von Grund auf. Ich frage mich dann, wie weit kann man die didaktische Reduktion in der Schule treiben? Die Schülerinnen und Schüler haben ja noch kein Erfahrungswissen in der Physik. Glauben sie mir dann einfach, wenn ich das nur näherungsweise mache? Oder muss ich das denen auch beweisen, damit sie mir glauben? Aber da fehlt dann das mathematische Handwerkszeug.“

Die letzte Passage von Uwe deutet auf eine Schwierigkeit hin, die beim Übergang von der Universität an

die Schulpraxis entsteht. Die Studierenden scheinen den mathematischen Stil der Physikvorlesungen zu übernehmen und sich in dieser wissenschaftlichen Kultur sozialisiert zu haben. Besonders der vorletzte Satz von Uwe („O-der muss ich das denen auch beweisen, damit sie mir glauben?“) ist ein starker Hinweis darauf, dass aus Sicht des Studenten erst ein mathematischer Beweis dazu führt, dass die Schülerinnen und Schülern einen physikalischen Zusammenhang „glauben“. Dies ist ein gängiges Vorgehen in der Physik und im Jargon. Das Lehramtsstudium und die wissenschaftsorientierte Physikveranstaltungen der Universität befinden sich somit in einem Spannungsfeld. Dieses Spannungsfeld wird einerseits von der Erkenntnisgewinnung der theoretischen Physik und andererseits der individuellen Entwicklung von physikalischen Begriffen und Konzepten der Studierenden aufgespannt (z. B.: „Hat ein Individuum die Lorentzkraft ‚verstanden‘, wenn sie sie herleiten kann?“). Beide Aspekte universitärer physikalischer Bildung (Methoden der Erkenntnisgewinnung der theoretischen Physik sowie die individuelle Entwicklung physikalischer Begriffe) können für die Ausbildung einer gymnasialen Physiklehrkraft als relevant betrachtet werden; die Studierenden haben aber in der Schulpraxis die Schwierigkeit beide Aspekte zu trennen und für ihren Schulunterricht angemessen zu nutzen. Somit lässt sich vorläufig folgern, dass für diese Studierenden der wissenschaftsorientierte Stil überwiegt, worunter ihre Professionalisierung leiden könnte.

6. Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Beitrag wurde ein Forschungsvorhaben vorgestellt, mit dem die Wirkung eines professionsorientierten physikalischen Fachstudiums auf die Schulpraxis angehender Lehrkräfte explorativ untersucht werden soll. Ein Zwischenstand der ersten Ergebnisse deutet darauf hin, dass die fachliche Professionsorientierung der kumulativen Lehre (d. h. das Prinzip des Schulbezugs) einen Einfluss auf das Unterrichten der Studierenden in der Schulpraxis hat. Dieser Einfluss zeigt sich darin, dass die Studierenden der PH angeben, ihren Unterricht eher schülerorientiert zu planen. Demgegenüber versuchen die Studierenden der Universität bei ihrer Unterrichtsplanung häufig, physikalische Zusammenhänge herzuleiten. Sie erwarten, dass ihnen die Schülerinnen und Schülern eher „glauben“, wenn sie eine gute, mathematische Herleitung anbieten. Sie reflektieren dabei offenbar nicht, dass die Schülerinnen und Schüler über die notwendigen mathematischen Fähigkeiten nicht verfügen (könnten).

Aus dem Vergleich der ersten Ergebnisse lässt sich hypothesengenerierend folgern, dass die Professionsorientierung eher zu einer Sozialisierung als Lehrkraft während des Grundstudiums führt, die sich auf die Unterrichtspraxis der Studierenden auswirkt. Zu dieser Sozialisierung könnte beitragen, dass an der PH überwiegend schulrelevantes Fachwissen gelehrt

wird, deren Professionsrelevanz wahrnehmbar ist. Zudem könnten die Vorlesungen für die Studierenden Vorbildcharakter für den eigenen Unterricht haben (vgl. auch die Thesen der DPG 2006, S. 7): Die kumulative Lehre ist selbst studierendenorientiert (z. B. durch das kumulative Lehrprinzip der Berücksichtigung der Alltagsvorstellungen der Studierenden). Demgegenüber sind die Fachvorlesungen der Universität typischerweise eher inhalts- und wissenschaftsorientiert, was den Interviews zufolge zu einer Inhaltsorientierung der Studierenden beim eigenen Unterrichten führt. Der institutionelle Kontext (PH oder Universität) könnte somit einen Einfluss auf den eigenen Schulunterricht der angehenden Physiklehrkräfte haben.

Zu diskutieren wäre auch, wie viel Wissenschaftsorientierung in einer Lehramtsausbildung wünschenswert ist. Neben dem Erwerb von unmittelbar schulrelevantem Fachwissen stellen die wissenschaftstheoretischen Methoden der theoretischen Physik ein eigenes Bildungsziel für Physiklehrkräfte dar (vgl. DPG 2006, S. 13). Die Interviews deuten aber darauf hin, dass an der universitären Lehramtsausbildung derzeit der wissenschaftsorientierte Anteil stark überwiegt und die besagte Inhaltsorientierung im eigenen Schulunterricht der Studierenden zur Folge hat. Die Studierenden schreiben der erkenntnistheoretischen Bedeutung einer theoretischen Herleitung eines physikalischen Zusammenhangs eine größere Bedeutung zu, als diesen zu „verstehen“. Das heißt, anstatt den Schülerinnen und Schülern z. B. geeignete Experimente anzubieten, damit sie mentale Modelle konstruieren können, bieten die Studierenden ihnen mathematische Herleitungen an. Zudem könnte eine zu starke Wissenschaftsorientierung im Studium auch auf Kosten eines konzeptuellen Verständnisses der Studierenden zu schulrelevanten physikalischen Konzepten gehen.

Zusammenfassend deuten sich bei diesen Fällen bekannte Unterschiede an (z. B. aus Merzyn 2004): Physik-Lehramtsstudierende werden an der Universität nicht gezielt auf ihre zukünftigen Aufgaben vorbereitet. Ein professionsorientiertes physikalisches Lehramtsstudium, wie es die DPG (2006, 2014) fordert, könnte dem entgegenwirken.

7. Literatur

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. In S. K. Abell & N. G. Ledermann (Hg.), *Handbook of Research in Science Education* (S. 1105–1149). Taylor & Francis Inc.
- Albrecht, A. (2011). *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik*. Dissertation.
- BMBF. (2021). *Qualitätsoffensive Lehrerbildung*. <https://www.qualitaetsoffensive-lehrerbildung.de/de/verbesserung-der-praxisbezeuge-im-lehramtsstudium-1749.html>
- Borowski, A., Kirschner, S., Liedtke, S. & Fischer, H. E. (2011). Vergleich des Fachwissens von Studierenden, Referendaren und Lehrenden in der Physik. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(10), 1–9.
- Brackertz, S., Christou, C., Donocik, N., ElMiniawy, A., Gaßen, T., Geisel-Brinck, J., Kern-Michler, D., Kristkeitz, S., Längle, M., Malz, M., Scheuch, M., Schulz, A., Stefanic, A. & Weck, H. (2019). Forum Studienreform. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen 2019* (S. 331–349).
- Bromme, R. (1992). *Der Lehrer als Experte*. Bern: Huber.
- Bungartz, P. & Wynands, A. (1999). *Wie beurteilen Referendare ihr Mathematikstudium für das Lehramt Sek. II?* Internetdokument: <http://www.math.uni-bonn.de/people/wynands/Kurzbericht.html> [Letztes Abrufdatum 27.05.2021]
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Dicke, T., Holzberger, D., Kunina-Habenicht, O., Linninger, C. & Schulze-Stocker, F. (2016). „Doppelter Praxisschock“ auf dem Weg ins Lehramt? Verlauf und potenzielle Einflussfaktoren emotionaler Erschöpfung während des Vorbereitungsdienstes und nach dem Berufseintritt. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 63(4), 244. <https://doi.org/10.2378/peu2016.art20d>
- DPG (2006). *Thesen für ein modernes Lehramtsstudium im Fach Physik: Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V.* Bad Honnef.
- DPG (2014). Großmann, S. & Hertel, I. (Koordinatoren): *Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik*. Bad Honnef.
- van Driel, J. H., Berry, A. & Meirink, J. (2014). Research on science teacher knowledge. In N. Lederman & S. K. Abell (Hg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 862–884). Routledge.
- Gagné, R. M. (1968). Contributions of learning to human development. *Psychological review*, 75(3), 177–191.
- Glowinski, I., Gillen, J., Borowski, A., Schanze, S. & Meien, J. v. (Hg.). (2018). *Kohärenz in der universitären Lehrerbildung: Vernetzung von Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Bildungswissenschaften*. Universitätsverlag Potsdam.
- Giest, H., Wendland, M. & Schönemann, L. (2013). Professionsorientierung im Blickwinkel der Lehramtsstrukturen. In J. Ludwig, W. Schubarth & M. Wendland (Hg.), *Lehrerbildung in Potsdam: Eine kritische Analyse* (S. 91–99). Universitätsverlag Potsdam.
- Hashweh, M. Z. (1987). Effects of subject-matter knowledge in the teaching of biology and physics. *Teaching and teacher education*, 3(2), 109–120.

- Hericks, U., Keller-Schneider, M. & Meseth, W. (2020). Fachliche Bildung und Professionalisierung empirisch beforschen – zur Einführung in den Band. In U. Hericks, M. Keller-Schneider, W. Meseth & A. Rauschenberg (Hg.), *Fachliche Bildung und Professionalisierung von Lehrerinnen und Lehrern* (S. 9–26). Klinkhardt.
- Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D. & Besuch, G. (2007). Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen. *Ergebnisse einer bundesweiten Befragung von Exmatrikulierten des Studienjahres*, 8(2).
- Holmegaard, H. T., Madsen, L. M. & Ulriksen, L. (2013). A journey of negotiation and belonging: understanding students' transitions to science and engineering in higher education. *Cultural Studies of Science Education*, 9(3), 755–786.
- Hopf, C. (2013). Qualitative Interviews - ein Überblick. In U. Flick, E. von Kardoff & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung: Ein Handbuch* (10. Aufl., S. 349–359). Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.
- Hoth, J., Jeschke, C., Dreher, A., Lindmeier, A. & Heinze, A. (2019). Ist akademisches Fachwissen hinreichend für den Erwerb eines berufsspezifischen Fachwissens im Lehramtsstudium? Eine Untersuchung der Trickle-down-Annahme. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 1–28.
- John, T. & Staraschek, E. (2020). Ein Modell für kumulatives Lehren im Lehramtsstudium Physik. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 19(1), 23–42.
- John, T. (eingereicht). *Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. Entwicklung und Evaluation eines Lehrkonzepts*. Dissertation PH Ludwigsburg.
- Krauss, S., Neubrand, M., Blum, W., Baumert, J., Brunner, M., Kunter, M. & Jordan, A. (2008). Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 29(3-4), 233–258.
- Kreutz, J., Leuders, T. & Hellmann, K. A. (2020). *Professionsorientierung in der Lehrerbildung: Kompetenzorientiertes Lehren nach dem 4-Component-Instructional-Design-Modell*. Research. Springer VS; Ciando.
- 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.
- 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.
- Kunter, M. (2016). *Qualität der Lehrerbildung – Was sagt die empirische Forschung dazu?* Goethe-Universität Frankfurt. Keynote-Vortrag am 12. Oktober 2016 beim Programmkongress der Qualitätsoffensive Lehrerbildung, Berlin.
- Lee, J. (2012). *Cumulative Learning and Schematization in Problem Solving*, Dissertation. Universität Freiburg.
- Ludwig, J., Schubarth, W. & Wendland, M. (Hrsg.). (2013). *Lehrerbildung in Potsdam: Eine kritische Analyse*. Universitätsverlag Potsdam.
- Massolt, J. & Borowski, A. (2020). Perceived relevance of university physics problems by pre-service physics teachers: personal constructs. *International Journal of Science Education*, 42(2), 176–189.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (11. Aufl.). Beltz.
- Merzyn, G. (2004). *Lehrerausbildung – Bilanz und Reformbedarf* (2. Aufl.). Schneider-Verlag Hohengehren.
- Merzyn, G. (2017). Auf den Lehrer kommt es an. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(16), 67–80.
- Neuweg, G. H. (2011). Distanz und Einlassung. Skeptische Anmerkungen zum Ideal einer "Theorie-Praxis-Integration" in der Lehrerbildung. *Erziehungswissenschaft*, 22(43), 33–45.
- Oettle, M., Brandenburger, M., Mikelskis-Seifert, S. & Schwichow, M. (2018). Schaffung vertikaler und horizontaler Kohärenz in der Lehrerbildung am Beispiel der Physik. In K. A. Hellmann, J. Kreutz, M. G. Schwichow & K. Zaki (Hg.), *Research. Kohärenz in der Lehrerbildung: Theorien, Modelle und empirische Befunde* (1. Aufl., Bd. 9, S. 167–182). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23940-4_11
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*. Dissertation. Logos Verlag.
- Riese, J. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Wirksamkeit der universitären Lehrerbildung-Indizien für notwendige Veränderungen der fachlichen Ausbildung von Physiklehrkräften. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(9), 25–33.
- Rubitzko, T., Laukenmann, M. & Staraschek, E. (2018). Kumulatives Lehren der Mechanik in der Lehramtsausbildung. In V. Nordmeier & H. Grötzebach (Hg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg 2018* (S. 111–123). PhyDid B.
- Rubitzko, T., Laukenmann, M. & Staraschek, E. (2019a). Grundkonzepte der Mechanik in der Elektrodynamik kumulativ lehren. In C. Maurer (Hg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie

- und Physik Jahrestagung in Kiel 2018: Jahrestagung der GDGP in Kiel 2018 (S. 854–857). Universität Regensburg.
- Rubitzko, T., Laukenmann, M. & Starauschek, E. (2019b). Kumulatives Lehren und Lernen durch kognitiv aktivierende Aufgaben. In V. Nordmeier & H. Grötzebach (Hg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen 2019* (S. 79–82).
- Schödl, A. & Göhring, A. (2017). FALKO-P: Fachspezifische Lehrerkompetenzen im Fach Physik. *Falko: Fachspezifische Lehrerkompetenzen: Konzeption von Professionswissenstests in den Fächern Deutsch, Englisch, Latein, Physik, Musik, Evangelische Religion und Pädagogik*, 201.
- Terhart, E. (2001). *Lehrerberuf und Lehrerbildung: Forschungsbefunde, Problemanalysen, Reformkonzepte*. Beltz.
- Ulrich, I., Klingebiel, F., Bartels, A., Staab, R., Scherer, S. & Gröschner, A. (2020). Wie wirkt das Praxissemester im Lehramtsstudium auf Studierende? Ein systematischer Review. In I. Ulrich & A. Gröschner (Hg.), *Edition ZfE. Praxissemester im Lehramtsstudium in Deutschland: Wirkungen auf Studierende* (Bd. 9, S. 1–66). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-24209-1_1
- Vogelsang, C., Borowski, A., Buschhüter, D., Enkrott, P., Kempin, M., Kulgemeyer, C., Reinhold, P., Riese, J., Schecker, H. & Schröder, J. (2019). Entwicklung von Professionswissen und Unterrichtsperformanz im Lehramtsstudium Physik. *Zeitschrift für Pädagogik*(4), 473–491.
- Woehlecke, S., Massolt, J., Goral, J., Hassan-Yavu, S., Seider, J., Borowski, A., Fenn, M., Kortenkamp, U. & Glowinski, I. (2017). Das erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext als fachübergreifendes Konstrukt und die Anwendung im universitären Lehramtsstudium. *Beiträge zur Lehrerinnen-und Lehrerbildung*, 35(3), 413–426.
- Wu, H. (2015). *Textbook School Mathematics and the preparation of mathematics teachers*. Internetdokument: https://math.berkeley.edu/%7Ewu/Stony_Brook_2014.pdf [Letztes Abrufdatum 1.4.2021]
- Zeichner, K., Payne, K., & Brayko, K. (2012). Democratizing knowledge in university teacher education through practice-based methods teaching and mediated field experience in schools and communities. *Harvard Educational Review*, 1-46.

Danksagung

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1907B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.