

## Kurzfassung

Die Studie stellt die Entwicklung und Evaluation des Ansatzes *Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik* vor. Experteneinschätzungen zufolge führt das im Studium erworbene universitäre physikalische Fachwissen häufig zu einer für Physiklehrkräfte „unpassenden“ Fachkompetenz (z. B. Merzyn, 2017). Diese Einschätzung kann so interpretiert werden, dass der Erwerb von professionsrelevantem physikalischem Fachwissen im Grundstudium nicht kumulativ erfolgt, d. h. universitäres physikalisches Fachwissen wird unverbunden zum Wissen zur (vertieften) Schulphysik aufgebaut. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, wird in dieser Arbeit ein Lehr- und Lernmodell auf der Basis lernpsychologischer Theorien zum kumulativen Lernen entwickelt. In Ergänzung mit einem Professionsbezug im Physikstudium lassen sich folgende vier kumulative Lehrprinzipien ableiten: (i) das wiederholte Aufgreifen physikalischer Grundkonzepte, (ii) die Berücksichtigung typischer Alltagsvorstellungen der Studierenden, (iii) das kontinuierliche und variantenreiche Üben der Grundkonzepte und (iv) das Herstellen fachlicher Schulbezüge. Diese Prinzipien wurden an der PH Ludwigsburg in drei Lehrveranstaltungen umgesetzt. Die Evaluation erfolgte anhand einer Vollerhebung zweier Jahrgänge mit  $N = 22$  Studierenden (Interventionsstichprobe). Das Evaluationsdesign ist mehrperspektivisch angelegt, um trotz der vorgegebenen kleinen Stichprobe die Wirksamkeit der Intervention valide evaluieren zu können. Drei Teilstudien wurden für die Evaluation durchgeführt: Eine quasi-experimentelle Studie zum Fachwissenserwerb mit zwei Stichproben, eine explorative Fallstudie zum Erklären des Kraftkonzepts und Lösen von Schulbuchaufgaben sowie eine Interviewstudie zur Wahrnehmung der Studierenden zur kumulativen Lehre.

Die Ergebnisse können folgendermaßen zusammengefasst werden: Die Studierenden der Interventionsstichprobe haben nach Datenlage einen höheren Fachwissenszuwachs im Schulwissen, einen vergleichbaren Fachwissenszuwachs im vertieften Schulwissen sowie eine professionsbezogenere Relevanzwahrnehmung im Vergleich mit Studierenden des traditionellen Lehramtsstudiums. Die kumulative Lehre erweist sich damit als geeignet, um den professionsbezogenen Fachwissenserwerb zu unterstützen, wobei Verbesserungspotenzial im Bereich des vertieften Schulwissens vorhanden ist. Dabei konnten insbesondere auch Studierende erfolgreich gefördert werden, die zuvor einen anderen naturwissenschaftlichen Studiengang abgebrochen haben.

Bei einem Drittel der Stichprobe blieb die erwünschte Wirkung im Fachwissenszuwachs jedoch aus. Eine mögliche Ursache für die unterschiedlichen Leistungen in den Fachwissenstests kann mit Interviewstudie erklärt werden. Ein entscheidender Faktor scheint dabei das sogenannte *Lernkonzept* der Studierenden zu sein. Der Zusammenhang lässt sich folgendermaßen beschreiben: Studierende mit vertieftem Lernkonzept nahmen die kumulative Lehre als unterstützend wahr, weil die kumulative Lehre ihren Vorstellungen von Lernen entspricht. Studierende mit oberflächlichem Lernkonzept nahmen die kumulativen Lehrprinzipien dagegen als Gelegenheit für oberflächliches Lernen wahr (z. B. Auswendiglernen). Eine Triangulation der quantitativen Daten mit den Interviewdaten ergibt schließlich das Gesamtbild, wonach diejenigen Studierenden, die in der kumulativen Lehre vertieft lernten, auch den höchsten Fachwissenszuwachs aufweisen. Diejenigen Studierenden, die in der kumulativen Lehre oberflächlich lernten, haben dagegen einen geringeren Fachwissenszuwachs und profitierten somit weniger von der kumulativen Lehre. Zusammenfassend führen die Evaluationsergebnisse zu der Einschätzung, dass die kumulative Lehre an der PH Ludwigsburg beibehalten und für Physikveranstaltungen anderen Hochschulen und Universitäten übernommen werden kann. Eine Weiterentwicklung ist jedoch anzustreben, um auch Studierende mit oberflächlichem Lernkonzept gezielter unterstützen zu können.

## 1 | Einleitung: kumulatives Lernen als Ansatz für ein professionsorientiertes fachliches Lehramtsstudium

„Inhaltlich ist das Studium<sup>1</sup> gekennzeichnet vor allem durch eine große Stofffülle. Zugleich werden aber die bestimmenden inhaltlichen Denkmuster und Grundbegriffe und die innerfachlichen Zusammenhänge nicht klar genug vermittelt. [...] Hinsichtlich der Arbeitsweisen und Lernaktivitäten vermute ich weiter, dass die Lehrveranstaltungsreformen zu abhängiger, untergeordneter und reglementierter Arbeit drängen, dass die Studenten nicht produktiv arbeiten, sondern hauptsächlich nachvollziehend und rezipierend, und dass die vermittelten Inhalte unkritisch übernommen werden.“ (Raufuß, 1989, S. 183 f.)

Ähnliche Kritiken zum Physikstudium wiederholen sich in der älteren (z. B. Keil & Piontkowski, 1973) sowie in der aktuellen Literatur, beispielsweise seitens der Studienreform Physik (Brackertz et al., 2019) oder von Merzyn (2004, S. 83 f.). Dieser Kritik schließt sich speziell für das Lehramtsstudium eine zusätzliche Problematik an: Schulrelevantes Fachwissen werde verschiedenen, fächerübergreifenden Experteneinschätzungen zufolge im Lehramtsstudium zu wenig berücksichtigt (Baumert, 2007; Hefendehl-Hebeker, 2013; Lersch, 2006; Merzyn, 2004; Wu, 2015). Das führt Merzyn (2017, S. 77) zu folgendem Urteil: „Probleme junger Lehrer im Unterricht scheinen häufig genug etwas mit falscher, d. h. unpassender Fachkompetenz zu tun zu haben“. Die Ursache könnte u. a. darin liegen, dass das physikalische Fachstudium i. d. R. am Berufsbild von Physikerinnen und Physikern orientiert ist (vgl. Merzyn, 2004, S. 77). Angehende Physiklehrkräfte werden dadurch fachlich nicht professionsorientiert ausgebildet. Beispielsweise spielen mathematische Formalismen eine eher untergeordnete Rolle für den Physikunterricht. Das fachliche Grundstudium sollte angehende Physiklehrkräfte dagegen u. a. darauf vorbereiten, im Kontext der Schulphysik physikalische Problemstellungen lösen, fachdidaktische Entscheidungen treffen sowie selbstständig neues Wissen erwerben zu können. Zwei zentrale Probleme kristallisieren sich also heraus: 1. Physikalisches Fachwissen an der Universität wird rezipierend und ohne die Vermittlung fachlicher Zusammenhänge erworben und ist 2. für angehende Lehrkräfte unpassend. Beide Problematiken können mit dem Lernmodell des *kumulativen Lernens* (Lee, 2012a) auf den gemeinsamen Nenner gebracht werden, dass schulrelevantes Fachwissen im Lehramtsstudium nicht *kumulativ* erworben wird. Stattdessen wird ein vertieftes, universitäres Fachwissen unabhängig von (oder „additiv“<sup>2</sup> zu) schulrelevanten physikalischen Grundkonzepten aufgebaut.

Der Ansatz des kumulativen Lernens geht auf Gagné (1968) zurück. Demnach ist der Erwerb einer „komplexen“ Fähigkeit effektiv, wenn untergeordnete Fähigkeiten schrittweise und in einer bestimmten Reihenfolge, die sich aus der Sachlogik ergibt, aufgebaut werden. In dieser Form ist Lernen vom Vorwissen abhängig und kann deshalb als „kumulativ“ beschrieben werden (ebd. S. 181). Das gagnesche Modell des kumulativen Lernens wurde von verschiedenen Autoren aufgegriffen und weiterentwickelt (z. B. Ausubel, 1968; Lee, 2012b; Wittrock, 1974). Erste Ansätze, wie kumulatives Lernen gezielt unterstützt werden kann, wurden bislang für das naturwissenschaftliche Lernen an der Schule entwickelt (z. B. Harms & Bündler, 1999; Kattmann, 2003; Wadouh et al., 2009; Weber, 2003). Für eine Umsetzung in der Hochschuldidaktik liegen noch wenige Konzepte vor. Dabei ist z. B. das Lehrkonzept von

<sup>1</sup>Diese Einschätzung bezieht sich auf das Lehramtsstudium Physik

<sup>2</sup>Der Begriff des „additiven Lernens“ (Baumert et al., 1998, S. 122) grenzt kumulatives Lernen von einem einfachen „Dazulernen“ (ebd.) ab

Oettle et al. (2018) zu nennen, das parallel zur vorliegenden Arbeit entstanden ist und sogenannte *Big Ideas*<sup>3</sup> einsetzt, um kumulatives Lernen im Physikstudium zu unterstützen. Den bisherigen Lehransätzen fehlt jedoch eine gemeinsame lernpsychologische Basis sowohl für ein Lehr- als auch für ein Lernmodell. In der vorliegenden Arbeit wird deshalb lernpsychologische Literatur zum kumulativen Lernen aufgearbeitet. Eine Synthese zentraler Aspekte der Literatur führt schließlich zur Entwicklung des Modells *Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik*. In diesem Modell werden die allgemeinen lernpsychologischen Ansätze mit den spezifischen Anforderung an das fachliche Lehramtsstudium verbunden: dem kumulativen Erwerb von *schulrelevantem* physikalischem Fachwissen. Ein Prototyp des Lehr- und Lernmodells wurde in drei Lehrveranstaltungen an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg (PHL) umgesetzt. Die vorliegende Arbeit stellt die Evaluation dieser Intervention vor.

Die vorliegende Evaluation untersucht folgende Interventionsziele: Die kumulative Lehre führt erstens zu einem effektiverem Wissenserwerb im Bereich des schulrelevanten physikalischen Fachwissens als im sogenannten *traditionellen* Lehramtsstudium und wird zweitens als professionsrelevant wahrgenommen. Da für die Evaluation nur kleine Stichproben zur Verfügung stehen (eine Vollerhebung von zwei Jahrgängen ergab eine Stichprobengröße von  $N = 22$ ), wurde ein mehrperspektivisches Evaluationsdesign gewählt. In einer ergebnisorientierten Evaluation wurden der Fachwissenszuwachs und die Relevanzwahrnehmung untersucht. Dem schließt sich eine prozessorientierte Evaluation an, die den Lernprozess qualitativ untersuchte. Insgesamt wurden drei separate Teilstudien durchgeführt, auf die im folgenden näher eingegangen wird.

Die erste Teilstudie ist eine quasi-experimentelle Studie zum physikalischen Fachwissenserwerb mit zwei Stichproben. Die Vergleichsstichprobe setzt sich aus Lehramtsstudierenden verschiedener Hochschulstandorte in Deutschland zusammen. Das Fachwissen wird längsschnittlich (drei Messzeitpunkte) mit einem Testinstrument von ProfileP+ (Enkrott et al., 2019; Vogelsang et al., 2019) zur Mechanik erhoben. Um den Fachwissenserwerb der Studierenden der Interventionsstichprobe genauer untersuchen zu können, wird die erste Teilstudie durch eine Fallstudie ergänzt. Dies ist die zweite Teilstudie der Evaluation und untersucht besondere Aspekte des schulrelevanten Fachwissens: das qualitative Kraftkonzept sowie Schulbuchaufgaben zum Kraftkonzept. Die Daten beider Teilstudien werden anschließend zusammengeführt, damit für die Studierenden der Interventionsstichprobe ein valides Maß für den Fachwissenserwerb auf Fallebene generiert werden kann. Die dritte Teilstudie ist eine retrospektive Interviewstudie und untersucht den Lernprozess sowie die Relevanzwahrnehmung. Für den Lernprozess wurde ein Ansatz von Marton und Booth (2014) verfolgt. Demnach variiert die Wahrnehmung der Studierenden zu einer Lernumgebung teilweise stark, was wiederum zu unterschiedlichen sogenannten *Lernzugängen* (engl. *approaches to learning*) führen kann. Auf diese Weise kann untersucht werden, wie die Studierenden die kumulativen Lernangebote wahrnehmen und zu welchen individuellen Lernzugängen die kumulative Lehre bei den Studierenden führen kann. Um schließlich untersuchen zu können, wie der Lernzugang mit dem Fachwissenserwerb zusammenhängt, wurden diese Daten im Sinne einer Between-Methods-Triangulation (Flick, 2013) mit den Daten der ersten beiden Teilstudien zum Fachwissenszuwachs kombiniert. Somit entsteht ein vollständiges Bild des Evaluationsgegenstands.

Die Arbeit schließt mit einer Empfehlung, wie die kumulative Lehre weiterentwickelt werden könnte. Dabei wird diskutiert, welche Vorteile das kumulative Lehr- und Lernmodell gegenüber dem traditionellen Lehramtsstudium hat. Ein Teil der Studierenden konnte nach Datenlage trotz der intensiven didaktischen Bemühungen in der kumulativen Lehre nicht

---

<sup>3</sup>Nach dem Konzept der *Big Ideas* sollen zentrale Konzepte der Physik (z. B. Energie) in unterschiedlichen Kontexten hervorgehoben werden (Oettle et al., 2018, S. 169)

---

erfolgreich unterstützt werden. Deshalb werden auch die Fragen diskutiert, ob eine noch stärkere Berücksichtigung der individuellen Bedürfnisse der Studierenden bei einer Abwägung mit den Interessen der Studierendengruppe als Ganze möglich und sinnvoll wäre.

## 2 | Ebenen der Wirksamkeitsforschung in der Lehramtsausbildung

In der Einleitung wurde bereits angedeutet, dass der physikalische Fachwissenserwerb in der universitären Lehramtsausbildung kaum professionsorientiert erfolgt. In diesem Kapitel wird genauer auf den Stand der Forschung zur Wirksamkeit der Physik-Lehramtsausbildung und auf das sogenannte Professionswissen eingegangen. Dabei stellt sich die übergeordnete Frage, welches professionelle Wissen im Allgemeinen und welches physikalische Fachwissen im Speziellen eine Physiklehrkraft für erfolgreiches Handeln im Unterricht benötigt. Anschließend kann erörtert werden, wie effektiv dieses *professionsrelevante* physikalische Fachwissen im Grundstudium erworben wird.

Um eine Lehrerausbildung als *wirksam* bewerten zu können, müsste gezeigt werden, dass sich das universitär erworbene Professionswissen der Lehrkraft auf den Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler auswirkt. Dieser Aussage liegt eine heuristische Wirkkette zugrunde, die folgenden Aufbau hat (vgl. Vogelsang, 2014, S. 20): die Lehramtsausbildung (Studium und Referendariat) wirkt sich auf das Professionswissen der Lehrkraft aus, das Professionswissen bestimmt das Handeln der Lehrkraft im Unterricht, welches schließlich den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler beeinflusst. Die letzten beiden Glieder der Wirkkette folgen dem Angebots-Nutzungs Modell nach Helmke (2007). Demnach stellt das professionelle Handeln der Lehrkraft ein Lernangebot für die Schülerinnen und Schüler dar, das diese nutzen können. Das Professionswissen der Lehrkräfte ist in diesem Modell nicht das einzige Merkmal, das Leistungsunterschiede bei Schülerinnen und Schülern aufklärt. Weitere Faktoren sind beispielsweise kognitive Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler oder soziale Merkmale der Schulklasse (Helmke et al., 2008). Für die Wirksamkeitsforschung der ersten Phase der Lehramtsausbildung ist jedoch das Professionswissen der Lehrkräfte relevant, das an der Universität erworben werden soll.

Die Wirksamkeit der Lehramtsausbildung kann der empirischen Forschung mit Kirkpatrick und Kirkpatrick (2006) auf vier Ebenen zugänglich gemacht werden (Tab. 2.1). Ebenen 1 und 2 beziehen sich unmittelbar auf das Studium. Dabei wird die Wirkung von Lehr- und Lernarrangements auf das subjektive Erleben der Lehramtsstudierenden (Ebene 1) bzw. auf den Erwerb des Professionswissens (Ebene 2) untersucht. Ebenen 3 und 4 beziehen sich auf den Schulunterricht. Mit ihnen wird die Wirkung des Professionswissens der Lehrkraft auf ihre Performanz im Unterricht (Ebene 3) bzw. auf den Wissenserwerb der Schülerinnen und Schüler (Ebene 4) untersucht.

Bislang liegen erst wenige Studien zum direkten Zusammenhang zwischen der Lehramtsausbildung und dem Wissenserwerb der Schülerinnen und Schüler vor. Die Metaanalyse von Hattie und Yates (2013) zu Einflussfaktoren auf den Wissenserwerb der Schülerinnen

TABELLE 2.1: Vier Ebenen der Wirksamkeitsforschung der Lehramtsausbildung in Anlehnung an Kirkpatrick und Kirkpatrick (2006)

Ebene 1	Subjektive Erfahrung der Studierenden	Wie erleben die Studierenden ihr Studium?
Ebene 2	Professionswissen	Wie wirkt sich das Studium auf den Erwerb des Professionswissens aus?
Ebene 3	Unterrichtsperformanz	Wie wirkt sich das Professionswissen auf die Performanz der Lehrkräfte im Unterricht aus?
Ebene 4	Wissenserwerb	Wie wirken sich das Professionswissen und die Performanz auf den Wissenserwerb der Schülerinnen und Schüler aus?

und Schüler deutet fächerübergreifend auf einen sehr geringen Einfluss der Lehramtsausbildung hin.<sup>1</sup> Allerdings wird in den der Metaanalyse zugrundeliegenden Studien die Qualität der Lehramtsausbildung methodisch sehr heterogen erfasst. Zudem sind fächerübergreifende Qualitätsmerkmale der Hochschuldidaktik sehr allgemein. Beispielsweise wird das Merkmal der Professionsorientierung in (physikalischen) Fachvorlesungen nicht berücksichtigt. Aus der fehlenden empirischen Evidenz für die Wirkung der Lehramtsausbildung kann deshalb nicht geschlossen werden, dass die Lehramtsausbildung keine Wirkung auf die Unterrichtsqualität hätte.

Um den Einfluss der Lehrerbildung auf die Unterrichtsqualität genauer untersuchen zu können, sind in den letzten Jahrzehnten erste Studien entstanden, die Modelle für das Professionswissen entwickeln. Mit diesen Modellen wird erstens die Wirkung des Professionswissens von Physiklehrkräften auf die Unterrichtsqualität sowie zweitens der Erwerb des Professionswissens im Studium untersucht. Im folgenden Kapitel wird der Stand der Forschung dazu zusammengefasst.

---

<sup>1</sup>Die Kategorie *Lehrerbildung* ist demnach auf Rang 124 von 138 mit einer Effektstärke von  $d = 0,11$ . Dabei ist  $d$  die Effektstärke nach Cohen (1988).