

## **Kumulatives Physiklehren und -lernen im Lehramtsstudium – Evaluation eines Lehrkonzepts –**

### **Zusammenfassung**

Physikalisches schulbezogenes Fachwissen einer Physik Lehrkraft gilt als eine notwendige Voraussetzung für gelingenden Unterricht und sollte im Studium erworben werden. Hingegen zeigt die Forschung, dass schulrelevantes Fachwissen zum Teil im Referendariat und in den ersten Berufsjahren erworben wird (Borowski et al., 2011; Schödl & Göhring, 2017). Zudem weisen Lehrkräfte nach Abell (2007) häufig Schülervorstellungen zu physikalischen Konzepten auf. Um diese Probleme anzugehen, wurde ein Lehr-Lern Format für die Hochschullehre im Fach Physik entwickelt (s. Staraschek, Rubitzko & Laukenmann, in diesem Band). Die Intervention basiert auf zwei Grundideen: Erstens soll kumulatives Lernen von physikalischen Grundkonzepten, z.B. dem Kraftkonzept oder dem Drehmoment, durch eine strukturierte Wiederholung dieser Grundkonzepte während der Vorlesung unterstützt werden. Zweitens werden in die Lehrveranstaltungen Phasen zur aktiven Mitarbeit integriert, in denen eine ‚kognitive Aktivierung‘ der Studierenden z.B. durch *peer discussions* induziert werden soll (s. Staraschek et al., in diesem Band). Dieses Lehr-Lern Format soll evaluiert werden. Ein Problem des Ansatzes: Die Literatur liefert keine konsistente Definition von ‚kumulativem Lernen‘ und wenig spezifische Anforderungen an die Lehre (Lee, 2012). Wir haben daher ein Arbeitsmodell zum kumulativen Lehren und Lernen für die Lehramtsausbildung Physik erstellt. Folgende Merkmale des Lehrens lassen sich nennen: i) Strukturiertes, ‚intelligentes‘ Wiederholen der physikalischen Grundkonzepte im Lernprozess über längere Studienzeiten, ii) die wiederholte Anwendung der physikalischen Grundkonzepte über längere Zeiträume unter besonderer Berücksichtigung des iia) Schulbezugs und der iib) Schülervorstellungen.

### **Stand der Forschung zur fachlich-physikalischen Ausbildung von Physik Lehrkräften**

Die aktuelle Unterrichtsforschung unterscheidet drei zentrale Facetten des Lehrerberufswissens: Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisch-psychologisches Wissen (Baumert & Kunter, 2006). Die Mathematik- und Physikdidaktik nimmt die Notwendigkeit des Fachwissens, ein Teil der fachlichen Kompetenz, als Voraussetzung für den Erwerb fachdidaktischen Wissens als belegt an (Krauss et al., 2008; Riese, 2009). Nach gängigen Modellen werden beim Fachwissen drei Niveaustufen unterschieden: Schulwissen, vertieftes Wissen und universitäres Wissen. Die Wissensniveaus Schulwissen und vertieftes Wissen sind nach Riese (2009) für die Unterrichtstätigkeit relevanter als universitäres Wissen. Daher auch die Forderung nach mehr Schulbezug in der fachlichen Hochschulausbildung (Riese, 2010). Dieser ist in der Regel nicht gegeben, da Lehramtsstudierende der Physik die Fachveranstaltungen mit Vollfachstudierenden belegen (Großmann et al., 2014). Daher erkennen die Lehramtsstudierenden den Schulbezug häufig nicht (Massolt & Borowski, 2017), behalten zum Teil ihre Schülervorstellungen bei (Abell, 2007) und entwickeln ihr Schulwissen im Studium nur rudimentär weiter (Borowski et al. 2011).

### **Theoretischer Rahmen und ein Arbeitsmodell zum kumulativen Lehren und Lernen**

Das Konzept des kumulativen Lernens geht auf Gagné (1968) zurück. Ihm zufolge gibt die Sachstruktur des Faches vor, dass fachliche Lernschritte nacheinander durchlaufen werden müssen und welche. Lernen hat im Gegensatz zum *rote learning* einen breiten kumulativen Effekt, wenn durch einen sukzessiven Aufbau auf das Vorwissen bereits Gelerntes wieder-

holt und mit dem neuen Wissen vernetzt wird. Diese vernetzten Wissenssysteme können mit Gagné mit dem Verstehen komplexer Zusammenhänge in Verbindung gebracht werden. Eine fehlende Sequenzierung der zu lernenden Inhalte erschwert den kumulativen Wissenserwerb. In Anlehnung an Seel (2003) und mit Gagné können wir Physiklernen insbesondere als kumulativ charakterisieren, wenn Studierende stabile physikalische Grundkonzepte (z.B. das Kraft- oder das Energiekonzept) aufbauen, ohne die ‚physikalisches Denken‘ i.d.R. nicht auskommt, z.B. beim Problemlösen. Sie sind Basis, Voraussetzung und Gerüst für komplexes ‚physikalisches Denken‘. Eine Nähe zum *meaningful learning* ist vorhanden. Physikalische Grundkonzepte sind daher im Sinne eines Spiralcurriculums auch in der Schule relevant und werden in der Hochschulausbildung elaboriert. Aus dem Modell des Lernens von Lee (2012) leiten sich Lehr-Maßnahmen zur Unterstützung kumulativen Lernens ab. Wir spezifizieren diesen Ansatz für die Ausbildung von Physiklehrkräften. Folgende zwei Elemente sind mit Lee für die Unterstützung kumulativen Lernens physikalischer Grundkonzepte zentral: *Wiederholen* und *Anwenden*. Hinzu treten der *Schulbezug* in Einklang mit der fachdidaktischen Forschung und die (noch zu begründende) *Kompetenzerfahrung*.

*Wiederholen*: Im Lernprozess zunehmender Schwierigkeit und Abstraktion wird explizit und strukturiert wiederholend über längere Zeiträume der Bezug zu den Grundkonzepten didaktisch hergestellt. Dies geht insbesondere über die physikalischen Themen hinweg; so ist z.B. das Kraftkonzept in der Einführung in die Elektrodynamik aufzugreifen. *Anwenden*: Die Studierenden erhalten vermehrt, z.B. auch in der Vorlesung, Angebote, in welchen sie die Grundkonzepte anwenden können. *Schulbezug*: Da es in der Physiklehrerprofessionalisierung geht, gehört nach unserer Auffassung zum kumulativen Lehren und Lernen die explizite Diskussion der Anwendung der physikalischen Grundkonzepte in der Schule und damit auch der Alltagsvorstellungen dazu. Beides kann mit den Anwendungen der Grundkonzepte verbunden werden. Als viertes Element wollen wir zu unserem Arbeitsmodell des kumulativen Lehrens und Lernens – hier mit dem Schwerpunkt auf dem Lernen – die *Kompetenzerfahrung* hinzufügen. Die wahrgenommene fachliche Kompetenz in Kontexten, die inhaltlich einen Schulbezug aufweisen, und die damit verbundene Erfahrung ist in Anlehnung an Pekrun & Schiefele (1996) und Harms & Bündler (1999), die dies für Schülerinnen und Schüler als Indikator kumulativen Lernens nennen, als weiteres Merkmal kumulativen Lernens anzusehen.

### **Fragen und Aufbau der Evaluationsstudie**

Anhand der Kriterien unseres Arbeitsmodells wurde für die Einführung in die Mechanik an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg (6 SWS Vorlesung mit integrierten Übungen) ein kumulatives Lehr-Lern Format entwickelt: Zum einen werden die Grundkonzepte strukturiert wiederholt und mit Schulbezug angewendet, zum Zweiten werden in die Vorlesung Phasen mit ‚kognitiver Aktivierung‘ eingebaut (s. Staraschek et al., in diesem Band).

Entwickeln die Studierenden mit diesen Interventionsmaßnahmen ein stabiles Fachwissen zu den physikalischen Grundkonzepten der Mechanik? Geht die schulorientierte Ausrichtung der Fachausbildung mit einem erhöhten ‚Kompetenzerleben‘ einher? Im Sinne der Evaluationsforschung ist der Evaluationsgegenstand das kumulative Lehr-Lern Format, Evaluationsziel die stabile Vermittlung der mechanischen Grundkonzepte und der ‚Kompetenzerfahrung‘. Es liegt eine Veränderungsmessung über mehrere Messzeitpunkte vor. Damit ist der Kern des Evaluationsdesigns gegeben. Evaluationskriterien sind *in concreto*: (i) Wissenszuwachs mechanisches Fachwissen, (ii) physikalisches Selbstkonzept und (iii) Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartungen. Diese werden mit operationalisierten Variablen mit Fragebögen erhoben: a) Schulisches, vertieftes und universitäres Wissen zur Mechanik (Projekt Profile-P+; Vogelsang et al., 2016), b) offene Fragebögen zu den physikalischen Grundkonzepten Kraft und Drehmoment; die Studierenden sollen diese Konzepte erklären, und zu diesen beiden Grundkonzepten passende Aufgaben aus Schulbüchern lösen (z.B. Heepmann

et al. 1996), c) das physikalische Selbstkonzept (adaptiert von Helmke, 1992), d) allgemeine und physikunterrichtsspezifische Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartungen (Pfitzner-Eden, 2014; Kleickmann, 2006). Es liegen Veränderungen dieser Variablen für die lokale Stichprobe über die einzelnen Messzeitpunkte vor. Für das allgemeine Wissen zur Mechanik (Profile-P+) wäre zusätzlich ein Vergleich mit anderen Hochschulstandorten des Profile-Projektes möglich. Es wäre also im Prinzip möglich, mit Einschränkungen die Kausalität der Intervention zu prüfen. Da wir den letztendlichen Stichprobenumfang nicht abschätzen können, sollen die quantitativen Untersuchungen durch qualitative Daten im Sinne eines Mixed-Method Ansatzes ergänzt werden. Daher sind Interviews mit Studierenden geplant.

*Stichprobe:* Die vorläufige Interventionsstichprobe der ersten Kohorte bilden neun Erstsemesterstudierende des Physiklehramts für die Sekundarstufe I. Es handelt sich hinsichtlich des Vorwissens um eine heterogene Stichprobe, da drei Studierende schon physikalische Inhalte an Universitäten studiert haben. Die Studie soll im Folgejahr wiederholt und beide Datensätze aggregiert werden.

*Studienverlauf:* Die Studierenden der Intervention durchlaufen die Einführung in die Mechanik (SoSe 17), die Schulversuche zur Mechanik (WiSe 17/18) und die Einführung in die Elektrodynamik (SoSe 18). Alle drei Veranstaltungen folgen den oben ausgewiesenen Prinzipien und Interventionen zum kumulativem Lehren und Lernen. Fachwissen, Selbstkonzept und Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartungen werden zu drei Messzeitpunkten erhoben: vor und nach der Einführung in die Mechanik sowie nach der Einführung in die Elektrodynamik. Die offenen Fragen zu den mechanischen Grundkonzepten werden vor Beginn der Einführung in die Mechanik und vor Beginn der Einführung in die Elektrodynamik erhoben. Die Interviews werden nach der zweiten Erhebung der physikalischen Grundkonzepte geführt.

### **Erste Ergebnisse**

Bislang liegen die Daten des ersten Messzeitpunktes der offenen Aufgaben zu den mechanischen Grundkonzepten vor. Die Probanden haben zu diesem Zeitpunkt noch keine Physikveranstaltungen besucht. Dies bedeutet, dass wir mit diesen Daten die Annahmen aus dem Stand der Forschung für unsere Stichprobe überprüfen können: Verfügen die Studierenden unserer Stichprobe im Gegensatz zum Stand der Forschung über ‚kumulierte‘ mechanische Grundkonzepte? Oder zeigen sich im Einklang mit Abell (2007) überwiegend Schülervorstellungen? Wir berichten nur cursorisch. In einer offenen Frage wurden die Studierenden gebeten, so ausführlich wie möglich zu erklären, was für sie der physikalische Kraftbegriff ist. In einer zweiten Frage, einer Schulbuchaufgabe, sollten die Studierenden erklären, welche Kräfte auf verschiedene beschleunigte Körper wirken (z.B. einen startenden Sprinter, ein bremsendes Auto). Die Antworten wurden qualitativ-deduktiv nach physikalischen Kriterien in Anlehnung an die Inhaltsanalyse ausgewertet (Mayring, 2010). Es zeigt sich: (1) Nur bei drei Studierenden finden sich Aussagen, die sich nach physikalischen Kriterien klassifizieren lassen, (2) deren Einzelaussagen sind in sich widersprüchlich, (3) das Wechselwirkungsprinzip kommt nur in einer Antwort vor, (4) Bremsen wird nicht mit der Beschleunigung in Verbindung gebracht, (5) das Aktivitätskonzept der Kraft dominiert. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit typischen Schülervorstellungen (z.B. Schecker, 1986; Starauschek, 2001; Abell, 2007). Damit bestätigen sich die Annahmen, mit denen wir unsere Intervention rechtefertigen.

### **Danksagung**

Die Entwicklung und Evaluation der Lehr-Lern Formate zur Unterstützung von kumulativem Lernen von physikalischen Grundkonzepten ist ein Teilprojekt des Verbundvorhabens Lehrerbildung PLUS der PSE Stuttgart-Ludwigsburg. Es wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

**Literatur**

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. *Handbook of research on science education*, 1105–1149.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520.
- 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.
- Gagné, R. M. (1968). Contributions of learning to human development. *Psychological Review*, 75(3), 177–191.
- Großmann, S., & Hertel, I. (2014). Zur fachlichen und fachdidaktischen Ausbildung für das Lehramt Physik: Bad Honnef: DPG.
- Harms, U., & Bünder, W. (1999). Zuwachs von Kompetenz erfahrbar machen: Kumulatives Lernen. Erläuterungen zum Modul, 5.
- Heppmann, B., Muckenfuß, H., Schröder, W., & Stiegler, L. (1996). *Physik Natur und Technik für Realschulen - Baden-Württemberg 10*: Cornelsen.
- Helmke, A. (1992). *Selbstvertrauen und schulische Leistungen*: Hogrefe, Verlag für Psychologie.
- Kleickmann, T., Möller, K., & Jonen, A. (2006). Die Wirksamkeit von Fortbildungen und die Bedeutung von tutorieller Unterstützung. *Jahrbuch Grundschulforschung*.
- Krauss, S., Brunner, M., Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., & Jordan, A. (2008). Pedagogical content knowledge and content knowledge of secondary mathematics teachers. *Journal of Educational Psychology*, 100(3), 716.
- Lee, J. (2012). Cumulative learning. In N. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (Vol. 2, pp. 887-893). New York, NY: Springer.
- Massolt, J., & Borowski, A. (2017). Increasing motivation by focussing on school-related content knowledge in university physics courses. *ESERA 2017 Conference*.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Beltz Deutscher Studien Verlag.
- Pekrun, R., & Schiefele, U. (1996). Emotions- und Motivationspsychologische Bedingungen der Lernleistung. *Enzyklopädie der Psychologie*, Bd. D,1,2, 153-180.
- Pfitzner-Eden, F., Thiel, F., & Horsley, J. (2014). An adapted measure of teacher self-efficacy for preservice teachers: Exploring its validity across two countries. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*.
- Riese, J. (2009). *Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften*: Logos Verlag.
- Riese, J. (2010). Empirische Erkenntnisse zur Wirksamkeit der universitären Lehrerbildung-Indizien für notwendige Veränderungen der fachlichen Ausbildung von Physiklehrkräften. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(9), 25–33.
- Schecker, H.: Schülerinteressen und Schülervorstellungen zur Mechanik. In: Müller, R., Wodzinski, R., & Hopf, M. (Hrsg.): *Schülervorstellungen in der Physik*, Köln: Aulis (2004), 140-152.
- 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*. Waxmann-Verlag, 201-243.
- Seel, N.M. (2003). *Psychologie des Lernens* (2. akt. u. erw. Aufl.). München: Ernst Reinhardt (UTB).
- Starauschek, E. (2001). *Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs - Ergebnisse einer Evaluationsstudie*. Berlin: Logos Verlag.
- Starauschek, E., Rubitzko, T., & Laukenmann, M., (2017). Kumulatives Lehren und Lernen der Mechanik in der Lehramtsausbildung. *Tagungsband Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Regensburg 2017*.
- Vogelsang, C., Riese, J., Kulgemeyer, C., & Borowski, A. (2016) Profile-P+-Professionskompetenz und Unterrichtsperformanz im Lehramtsstudium Physik. In C. Maurer (Hrsg.): *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Berlin 2016 (S. 752-755). Zürich.