

Erich Staraschek
 Thomas Rubitzko
 Matthias Laukenmann

Professional School of Education
 Stuttgart-Ludwigsburg

Kumulatives Lehren und Lernen der Mechanik in der Lehramtsausbildung

Ausgangspunkt und Zusammenfassung

Angehende Physiklehrerinnen und -lehrer erlernen unterrichtsrelevante physikalische Grundkonzepte, z.B. den Kraftbegriff, oft erst im Laufe des Referendariats, d.h. insbesondere: nicht in ihrem Physikstudium (Borowski et al., 2011). Aus Sicht einer Professionalisierungsperspektive ist dies nicht effizient, da im Referendariat die Entwicklung von Unterrichtskompetenzen im Zentrum stehen sollte. Um das Erlernen der unterrichtsrelevanten physikalischen Grundkonzepte zu befördern, wurde im Paradigma des *design based research* Ansatzes ein Hochschullehrformat für die Einführung in die Mechanik entwickelt, das sich an den Ideen des kumulativen Lernens von Gagné (1968) orientiert. Der Begriff des kumulativen Lernens ist dabei in der Literatur nicht endgültig geklärt und definiert (Lee, 2012). Daher wurde ein Arbeitsmodell entwickelt (s. John & Staraschek in diesem Band). Unsere Grundidee für kumulatives Lehren und Lernen von physikalischen Grundkonzepten ist die folgende: In ‚kognitiv aktivierenden‘ Phasen wird wiederholend und anwendungsorientiert auf die Grundkonzepte Kraft, Drehmoment, Impuls, Drehimpuls und Energie auch und insbesondere in schulrelevanten Kontexten fokussiert. Die methodisch-didaktischen Elemente zur ‚kognitiven Aktivierung‘ orientieren sich an

- 1) Ergebnissen der Metastudie von Schneider & Preckel (2017), hierin werden Variablen effektiver Hochschullehre identifiziert,
- 2) Ergebnissen der kognitionspsychologischen Forschung und Entwicklung, z.B. der Wirksamkeit der *worked examples*,
- 3) Ergebnissen der physikdidaktischen Forschung und Entwicklung, z.B. Elementen der Mazur’schen *peer instruction*.

In einer ersten Evaluation bewerten die Studierenden das Veranstaltungsformat mit einer offenen Befragung. Es zeigt sich, dass in dieser offenen Befragung die benutzten methodisch-didaktischen Elemente einer effizienten Hochschullehre genannt und als lernförderlich eingeschätzt werden.

Das Veranstaltungsformat kumulatives Lehren und Lernen von physikalischen Grundkonzepten in der „Einführung in die Mechanik“

Vorweg: Der Begriff Grundkonzepte unterscheidet sich von den ‚Basiskonzepten‘ der KMK-Richtlinie (KMK, 2005). Zu den Grundkonzepten der Mechanik zählen das Konzept der Kraft und die damit verbundenen Newton’schen Axiome, die Energie in der Mechanik, das Impuls-, das Drehimpuls- und das Drehmomentkonzept.

Ein neues Veranstaltungsformat für die Einführung in die Mechanik (6 SWS, Vorlesung mit integrierter Übung) soll ein kumulatives Lernen der genannten Grundkonzepte ermöglichen. Wie soll dies erreicht werden? Die beiden Grundideen bestehen in einem ‚vernetz‘-wiederholten Lehrangebot und einer ‚Phasung‘ der klassischen Vorlesung, in der die ‚kognitiv aktivierenden‘ Lehrformate genutzt werden. Wir lassen den Begriff der ‚kognitiven Aktivierung‘ hier undefiniert. Die Prinzipien des neuen Lehr-Lern Formates lassen sich transferieren; sowohl thematisch auf andere physikalische Grundvorlesungen, z.B. Optik oder Elektrodynamik, als auch auf andere Einführungen in die Mechanik. Hierzu wird ein Prototyp der Lehrveranstaltung entwickelt, dokumentiert und evaluiert. Die Dokumentation stellt im Falle einer erfolgreichen Evaluation ein Modell einer Lehrveranstaltung für

kumulatives Physiklehren und -lernen von Grundkonzepten dar, das ganz oder in Teilen kopiert oder auch adaptiert werden kann.

Aus dem verwendeten Arbeitsmodell (s. John & Starauschek, in diesem Band) zum kumulativen Lehren und Lernen lassen sich vier Kriterien zur Gestaltung einer kumulativen Lehrveranstaltung für Lehramtsstudierende der Physik, hier die Einführung in die Mechanik, ableiten. Die Kriterien strukturieren zum einen das Lehrangebot, zum anderen folgt aus ihnen eine inhaltliche Ausrichtung. Konkret heißt dies: Die mechanischen Grundkonzepte werden in der Einführung in die Mechanik und in nachfolgenden Veranstaltungen (Schulexperimente Mechanik, Einführung in die Elektrodynamik) a) strukturiert wiederholt, b) und wiederholt in ‚Aufgaben‘ angewendet. Weiter werden dabei inhaltlich neben den rein physikalisch-fachlichen c) schulische Kontexte und damit auch d) Schülervorstellungen zur Mechanik berücksichtigt. Diese Maßnahmen sollen bei den Studierenden die folgenden Kompetenzerfahrungen induzieren: Sowohl fachliche – „Ich kann mit den physikalischen Grundkonzepten umgehen“ – als auch schulbezogene – „Ich fühle mich vorbereitet, Mechanik in der Schule zu unterrichten“.

Damit zum Aspekt der ‚kognitiven Aktivierung‘: Welche Methoden wurden in den der Vorlesung eingefügten Phasen verwendet? Es sind die folgenden vier didaktisch-methodischen Elemente: i) *worked examples* (z.B. Renkl & Schworm, 2002), ii) *peer discussions* (z.B. Mazur, 1999) oder auch sogenanntes „kooperatives Lernen“ (z.B. Springer, Stanne & Donovan, 1999), iii) *multiple choice* Aufgaben, die mit Hilfe von einem funkbasierten Abstimmungssystem individuell und anonym beantwortet und als Verteilung grafisch präsentiert werden (Mazur, 1999), und iv) klassische physikalische Übungsaufgaben mit und ohne Schulbezug bzw. dem Bezug zu Schülervorstellungen. Realiter sind diese Elemente kombiniert; so wird z.B. das Abstimmungsergebnis einer *multiple choice* Aufgabe in einer Zweiergruppe diskutiert und eine erneute Abstimmung folgt, der Dozent kommentiert und diskutiert ggf. die Aufgabe mit den Studierenden. Auch die *worked examples* werden mit *peer discussions* kombiniert. Und werden z.B. in den Übungsaufgaben Schülervorstellungen diskutiert, so werden auch die Studierenden in der Intention eines *conceptual change* ‚kognitiv aktiviert‘, da sie u.U. mit ihren eigenen Präkonzepten konfrontiert sind.

Ein konkretes Beispiel aus der Einführung in die Mechanik: Physikalisch-inhaltlich erarbeiten sich die Studierenden mit *worked examples* die Methode des Freischneidens. Diese wird dann bei *multiple choice* Aufgaben im schulischen Kontext der Rolle bzw. des Flaschenzuges angewandt.

Die genannten didaktisch-methodischen Elemente passen zu den Ergebnissen von Schneider & Preckl (2017). Dort zeigen in der Hochschullehre „kooperative Lernformen“ und „Rückmeldungen“ große Effektstärken. Die *peer discussions* fallen in die erste Kategorie. Die Aufgaben werden in den Veranstaltungen besprochen und diskutiert. Dabei erhalten die Studierenden vom Dozenten individuelle Rückmeldungen. Wie wir unten bei der Beschreibung der Stichprobe sehen werden, war die Zahl der Studierenden überschaubar.

Erste Evaluation des Konzepts des Veranstaltungsformats kumulatives Lehren und Lernen von physikalischen Grundkonzepten

Evaluationskriterien der begleitenden Evaluation sollen insbesondere die Entwicklung des physikalischen Fachwissens bzw. Fachkompetenzen, insbesondere in Hinsicht auf die mechanischen Grundkonzepte, und die subjektiven Einschätzungen der Fähigkeit, Physik in der Schule zu unterrichten, sein (vgl. John & Starauschek, in diesem Band). Diese Untersuchungen stehen in ihren Anfängen. Als erstes basales und orientierendes Evaluationskriterium soll die mögliche Wahrnehmung der Interventionselemente durch die Studierenden dienen, sowie deren Einschätzung, ob die Interventionselemente den eigenen Lernprozess unterstützt haben.

Stichprobe: Fünfzehn weibliche und sieben männliche Studierende haben regelmäßig an der sechsstündigen Veranstaltung teilgenommen (etwa 83 % der Zeit im Mittel). Die Stichprobe umfasst Studienanfänger (erstes und zweites Semester) und fortgeschrittene Studierende im höheren Semester, die schon einmal eine Einführung in die Mechanik gehört haben. Sie studieren in unterschiedlichen Studienordnungen, insbesondere unterscheiden sich Hauptfach- und Nebenfachstudierende. Die Stichprobe ist daher als heterogen anzusehen.

Erhebungsmethode: In der Mitte des Semesters (SoSe 2017) wurde im offenen Format gefragt: „Welche Elemente (z.B. methodische oder didaktische Maßnahmen) in der Veranstaltung Mechanik (Vorlesung mit integrierten Übungen) unterstützen oder behindern Ihren Lernfortschritt besonders? Nennen Sie höchstens fünf, und begründen Sie bitte jede Nennung mit einem Satz.“ Die Antworten wurden nach Oberflächenmerkmalen (Wortidentitäten und Synonyme) sortiert und dann nach semantischen Bedeutungen zusammengefasst. Danach wurden die Kategorien gebildet und bezeichnet. Ein Beispiel: Die Nennung „Übersichtliche Folien.“ mit der Begründung „Die Inhalte sind klar dargestellt und sind dementsprechend sehr zugänglich und verständlich“ wird der Kategorie „(bebilderte) Folienpräsentation“ zugeordnet. Aus den Kategorien wurden in einem zweiten Schritt Items mit fünfstufiger Likertskala mit den Polen stimme [gar nicht/völlig] zu gebildet. Sie folgendem Schema „X“ hat mir beim Lernen geholfen, z.B. „Die bebilderte Folienpräsentation hat mir beim Lernen geholfen.“ Diese Items wurden am Ende des Semesters den Studierenden in schriftlicher Form vorgelegt.

Ausgewählte Ergebnis: Die offenen Antworten ließen sich in zwölf Kategorien ordnen. Tabelle 1 zeigt die dabei genannten Oberflächenmerkmale der Veranstaltung. Darunter finden sich die vier Interventionselemente. Zusätzlich tritt die Kategorie Experimente und Folienrepräsentation auf. Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen. Der Vortrag des Dozenten wird nicht genannt.

Diskussion: Die Interventionselemente werden in der offenen Befragung von den Studierenden genannt und schließend im geschlossenen Antwortformat mit Deckeneffekten als hilfreich für das eigene Lernen eingeschätzt. Wir schließen daraus, dass unsere theoriegeleitete Intervention zumindest aus der subjektiven Sicht der Studierenden erfolgversprechend ist. Diese Hypothese ist mit objektiven Daten zu untermauern. Als unerwartete Kategorien und hilfreich beim Lernen zeigen sich die Folienpräsentation und die Experimente. Hierzu ist zu sagen: Die Folien orientierten an den Gestaltungskriterien der *cognitive load* Theorie sowie der Multimediatheorie von Mayer (2001). Die Experimente waren mit einem hohen Prozentsatz in eine Problemstellung eingebettet, die nach einer Diskussion zu einer Hypothese führte, die dann überprüft wurde. Das Experiment wurde also in die physikalische Diskussion eingebettet. Dieses Kriterium nennen auch Tesch und Duit (2004) für den lernwirksamen Einsatz im schulischen Physikunterricht.

Kategorienname	M	SD
Experimente	4,9	0,3
MC Abstimmung	4,8	0,5
Folienpräsentation	4,7	0,7
Diskussionen	4,5	0,8
Übungsaufgaben in Vorlesung	4,3	0,9
<i>worked examples</i>	3,9	1,0

Tab. 1: Ist „X“ hilfreich für meinen Lernprozess? (Skala von Eins bis Fünf)

Danksagung

Die Entwicklung und Evaluation der Lehr-Lern formen 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

- Borowski, A.; Kirschner, S.; Liedtke, S., & Fischer, H.E. (2011). Vergleich des Fachwissens von Studierenden, Referendaren und Lehrenden in der Physik. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 1(10), 1-9.
- Gagné, R. (1968). Contributions of Learning to Human Development. *Psychological Review*, 75, 177-191.
- John, T., & Starauschek, E. (2017). Kumulatives Physiklehren und -lernen im Lehramtsstudium - Evaluation eines Lehrkonzepts. Tagungsband Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Regensburg 2017.
- Kultusministerkonferenz (Hrsg.) (2005). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. München: Luchterhand.
- Lee, J. (2012). Cumulative learning. In N. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (Vol. 2, pp. 887-893). New York, NY: Springer.
- Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Mayer, R. (2001). *Multimedia learning*. New York, NY; US: Cambridge University Press.
- Renkl, A., & Schworm, S. (2002). Lernen, mit Lösungsbeispielen zu lehren. In: M. Prenzel, & J. Doll [Hrsg.]: *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen*. Weinheim: Beltz S. 259-270.
- Schneider, M., & Preckel, F. (2017). Variables associated with achievement in higher education: A systematic review of meta-analyses. *Psychological Bulletin*, 143, 565-600.
- Springer, L.; Stanne, E. S., & Donovan, S. (1999) Effects of Small-Group Learning on Undergraduates in Science, Mathematics, Engineering, and Technology: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research* 69 (1), 21-51.
- Tesch, M., & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*; 10, 51-69.