

Kumulatives Lehren und Lernen durch kognitiv aktivierende Aufgaben

Thomas Rubitzko*, Matthias Laukenmann*, Erich Starauschek*

*Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, PSE Stuttgart / Ludwigsburg, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
rubitzko@ph-ludwigsburg.de, laukenmann@ph-ludwigsburg.de, starauschek@ph-ludwigsburg.de

Kurzfassung

Studierende des Lehramtes sollten schon an der Hochschule die Anwendung physikalischer Grundkonzepte anhand schulnaher Kontexte kumulativ lernen, um diese später in Unterrichtssituationen sicher einzusetzen. Dabei geht es nicht zuletzt darum, eigene physikbezogene Alltagskonzepte zu erkennen, zu überwinden und diese später auch bei Schülerinnen und Schülern zu diagnostizieren. Hierzu wurden kognitiv aktivierende Aufgaben erstellt, die auf die zentralen Konzepte der Mechanik fokussieren. Bei den Aufgaben, die zum Üben, aber vor allem zum Aufbau von Konzepten genutzt wurden, wurde unter anderem darauf geachtet, dass sie eher durch Argumentieren als durch Rechnen zu lösen sind. Solche Aufgaben kamen verteilt über drei Semester in unterschiedlicher methodischer Einkleidung nicht nur in der Mechanikvorlesung mit integrierter Übung, sondern auch in einer Experimentalübung zur Schulphysik und in der Elektrodynamikvorlesung zum Einsatz.

1. Kumulatives Lehren und Lernen von Grundkonzepten der Mechanik

In einem vom BMBF geförderten Entwicklungs- und Forschungsprojekt wurde an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg während der letzten drei Jahre eine Veranstaltungsreihe entwickelt, erprobt und evaluiert (siehe Abb. 1). Intendiert war es, schon während des Studiums stabile Grundkonzepte der Mechanik wie das Kraftkonzept oder die Erhaltungssätze von Energie, Impuls und Drehimpuls zu vermitteln. Diese sollen später den angehenden Referendarinnen und Referendaren in schulischen Lehrsituationen flexibel anwendbar zur Verfügung stehen (vgl. hierzu Rubitzko et al., 2018).



Abb. 1: Veranstaltungsreihe zur Mechanik

Der Entwicklungs- und Evaluationsprozess folgte den Ansätzen zum Design-Based-Research (Reinmann, 2005). Die während des aktuellen Entwicklungszyklus (siehe Abb. 2) modifizierten Designkriterien waren zuvorderst Kumulatives Lehren und Lernen (vgl. John & Starauschek, 2018) und kognitive Aktivierung (z.B. Renkl, 2011).

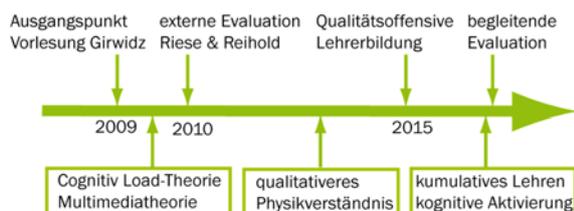


Abb. 2: Zeitschiene zum Design-Based-Research Prozess

Die sich aus dem kumulativen Ansatz ergebenden Forderungen (John und Starauschek, 2018)

- Grundkonzepte wiederholt aufgreifen und üben
- Alltagskonzepte der Studierenden berücksichtigen
- in variablen Kontexten anwenden
- Schulbezug beachten
- Kompetenzerfahrung ermöglichen, d.h. die Wahrnehmung der positiven Entwicklung physikalischer Fähigkeiten zu unterstützen

finden in den für die Veranstaltungsreihe konzipierten Aufgaben, die kognitiv aktivierend sein sollten, ihre Konkretisierung.

2. Kognitiv aktivierende Aufgaben

Wenn Aufgaben kognitiv aktivierend sind, so haben sie das Potential, Lehr-Lernprozesse zu initiieren und aufrechterhalten, um den Aufbau von Wissen und Fähigkeiten zu ermöglichen. Hierbei nehmen wir die Perspektive von Renkl (2011) ein, der die Bedeutung einer aktiven mentalen Auseinandersetzung mit dem Lernstoff für einen guten Lernerfolg betont. Er empfiehlt dafür

- auf die zentralen Konzepte des Lernbereichs zu fokussieren.

Aufgaben müssen im Sinne dieses Ansatzes keinesfalls nur als Grundlage von Übungseinheiten oder als Prüfungsgrundlage dienen, vielmehr können sie ins Zentrum der Wissensvermittlung rücken (Leisen, 2005). Leisen (2006) schlägt im Sinne einer anderen Aufgabenkultur für die Schule unter anderem vor:

- Inhalte an Hand von Aufgaben zu erarbeiten, die unterschiedliche Zugangswege und Lösungswege erschließen und so flexibles Denken und Kreativität fördern,

- in Übungsphasen Anwendungsaufgaben in variierenden Kontexten zu verwenden, um damit nicht zuletzt individuelle Lernschwierigkeiten zu diagnostizieren,
- zurückliegende Inhalte in die Erarbeitung und Konsolidierung neuen Stoffes zu integrieren und so die zurückliegenden Inhalte zu üben und sie mit den neuen Inhalten zu verknüpfen.

Schecker & Klieme (2001) erhoben im Rahmen der Ergebnisanalyse der TIMS-Studie ähnliche Forderungen. Zusammengefasst: Mehr verstehendes Lernen und weniger Rechnen in eher offenen Aufgaben. Eine Auswahl en Detail ergänzend zu oben:

- Aufgaben, die eigene Recherche oder Schätzungen zu deren Lösung benötigen,
- Aufgaben, deren Lösung durch verschiedene physikalische Prinzipien möglich ist,
- die Lernenden bei Lernaufgaben die eigenen Fehler finden und die Unterschiede zur physikalischen Lösung benennen lassen.

Diese Empfehlungen zu einer anderen Aufgabenkultur, die für den Schulunterricht ausgesprochen werden, halten wir auch für die anfängliche Hochschullehre für geeignet, um dadurch kumulatives Lernen durch kognitiv-aktivierende Aufgaben anzuregen.

Im Folgenden werden zwei der in der Veranstaltungsreihe eingesetzten Aufgaben mit verschiedenen Formaten vorgestellt, und es wird gezeigt, wie sie den obigen Anforderungen genügen.

2.1. Diskussionsaufgabe zu Energieerhaltung und Kräften

Diskutieren Sie Kräfte sowie die Erhaltungsgröße Energie bei einem Auto, welches auf der Ebene konstant beschleunigt.



Abb. 3: Diskussionsaufgabe zu Kräften, die zu keinem Energieübertrag über Systemgrenzen führen

Diese Diskussionsaufgabe wurde im Rahmen der Vorlesung zur Mechanik mit integrierter Übung im Themenbereich Energie gestellt, konkret zum Erarbeiten von Kräften, die von außen über Systemgrenzen hinweg ausgeübt werden, jedoch nicht zu einem Energieübertrag führen, obwohl sie zur Beschleunigung des Fahrzeugs führen.

Methodisch soll die Diskussion in Kleingruppen dabei den Wissenserwerb begünstigen (Springer et al., 1999).

Die Aufgabe greift bereits vor längerem erlernte Inhalte in einem neuen, schulrelevanten Kontext wieder auf, nämlich Antriebe bei Fahrzeugen: Actio gegen gleich Reactio am Boden und Reifen des Fahrzeugs sowie Newton II als generelles Prinzip von Antrieben. Der neue Inhalt, nämlich Energiehaltung und

Energieübertrag, wird mit dem bereits etablierten Konzept der Kraft verknüpft. Die Hinweise auf Kräfte und Energie fokussieren auf die zentralen Grundkonzepte. Dass keine Arbeit verrichtet wird, ist oft auch für Studierende nicht sofort einsichtig – schließlich werden Kräfte von der Straße von außen auf das Fahrzeug ausgeübt und das Fahrzeug legt auch noch eine Wegstrecke parallel zur Richtung des Kraftvektors zurück.

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} \quad \{1\}$$

führt hier zuverlässig auf den Holzweg, wenn nicht beachtet wird, dass die Kontaktpunkte, an denen die Straße die Kraft auf den Reifen ausübt, selbst in Ruhe sind. Man kann also hier durchaus Fehler machen und diese anschließend gewinnbringend diskutieren.

Ein alternativer Argumentationsweg verläuft nicht über die Kräfte, sondern über die Energiebilanz: Wenn Energie von außen in das System Fahrzeug gelangen würde, so müsste sie aus der Erde kommen, was keinen Sinn ergibt, weil sich die Energie der Erde während des Beschleunigungsvorgangs nicht ändert. Die Energie kommt von der chemischen Energie im Treibstoff. Ergo kann durch solche Kräfte zwar ein Fahrzeug beschleunigt, aber keine Energie übertragen werden. Rainer Müller (2009) bezeichnet solche Kräfte als “zero-work force“.

Insgesamt kann mit dieser Aufgabe nicht nur inhaltliches Vorankommen erreicht werden, sondern die Studierenden üben das verständliche und zugleich fachlich korrekte sprachliche Formulieren physikalischer Zusammenhänge ein. Das ist für uns neben dem fachlichen Wissen ein wichtiges Lehrziel im Lehramtsstudium. Es besteht Hoffnung, dass Studierenden so einen Zuwachs der Fähigkeit erleben, mit Grundkonzepten zu reüssieren.

2.2. Aufgabe zur Fahrradmechanik in einer Veranstaltung zu Schulversuchen

Sie sollen als Fahrer ein Fahrrad (Kettenschaltung) auf einer Ebene aus dem Stand beschleunigen.

Wie funktioniert der Antrieb überhaupt?



Welche maximale Beschleunigung und welche maximale Geschwindigkeit erreichen Sie bei einem Verhältnis von 32 zu 32 Zähnen beziehungsweise bei 40 zu 11 Zähnen auf der Ebene?

Alle weiteren Informationen besorgen Sie sich aus Büchern, dem Internet oder durch Vermessen Ihres Fahrrads.

Abb. 4: Aufgabe zur Fahrradmechanik in Experimentalübungen

Diese Aufgabe wurde im Rahmen der Veranstaltung zu Schulversuchen (Rubitzko et al., 2019) gestellt, bei normalem Studienablauf also im Semester nach der Mechanikvorlesung. Sie greift auf die ein Semester

zuvor gestellte oben abgebildete Aufgabe zurück, bedarf aber weit darüber hinausgehender Überlegungen: So müssen externe Reibungskräfte berücksichtigt, das Konzept des Drehmoments eingebunden und Überlegungen zum Energieumsatz angestellt werden.

Methodisch wurde folgendermaßen verfahren: Die Studierenden sollten Selbsterklärungen (Chi et al., 1994) mit Bildern und Texten schriftlich formulieren. Danach erfolgte die Diskussionen in Kleingruppen (vgl. Springer, et al., 1999), deren Ergebnisse dann mit der Musterlösung verglichen werden sollten (angelehnt an Renkl & Schworm, 2002). Danach erfolgten ein Vortrag und die gemeinsame Überarbeitung an der Tafel mit mündlichen Prompts zu Grundkonzepten im Sinne der fokussierten aktiven Informationsverarbeitung nach Renkl (2011). Als letztes wurden die Versuche tatsächlich durchgeführt, mit den dann auftretenden Schwierigkeiten, die Beschleunigungen und Geschwindigkeiten adäquat zu bestimmen, Kräfteverhältnisse am Hinterrad und am Pedal zu messen, Luftwiderstände abzuschätzen und von Rollreibungskräften abzugrenzen.

Auch diese Aufgabe greift auf bereits vorhandene Konzepte zurück, stellt sie aber in einen neuen Kontext. Bei dieser offenen Aufgabe muss Einiges geschätzt und oder recherchiert werden (z.B. ist der Mensch in der Lage, etwa 120 Kurbelumdrehungen pro Minute zu treten, er hat eine maximale Leistungsfähigkeit für ein kurzes Zeitintervall in der Größenordnung von 500 Watt, auf dem Rad sitzend und quer zur Fahrtrichtung eine Querschnittsfläche von etwa einem halben Quadratmeter usw. ...)

Aber auch das Antriebsprinzip selbst ist zu modellieren. So ist zum Beispiel zu bedenken, dass die Masse der Kette so klein ist, dass zu deren Beschleunigung ebensowenig eine relevante Kraft notwendig ist wie es zur Rotationsbeschleunigung von Kettenblatt und Kurbel samt Pedalen keines relevanten Drehmoments bedarf. Anders verhält es sich beim Hinterrad. Sein Trägheitsmoment ist so groß, dass bei hohen Winkelgeschwindigkeiten durchaus relevante Energiemengen im Hinterrad gespeichert werden. All das ist es wert, diskutiert zu werden.

Insbesondere die immer wieder auch von Studierenden geäußerte hier alltagssprachlich formulierte Vermutung: „Die Übersetzung am Fahrrad verstärkt Kräfte, deshalb kann man damit schneller...“

Eine Messung durch zwei Kraftmesser und die genauen Überlegungen zur Übersetzung anhand einer geeigneten Zeichnung zeigen aber, dass die Kräfte, die vom Fuß auf das Pedal ausgeübt werden viel größer sind, als die Kräfte, die der Reifen als Folge dessen auf die Straße ausübt.

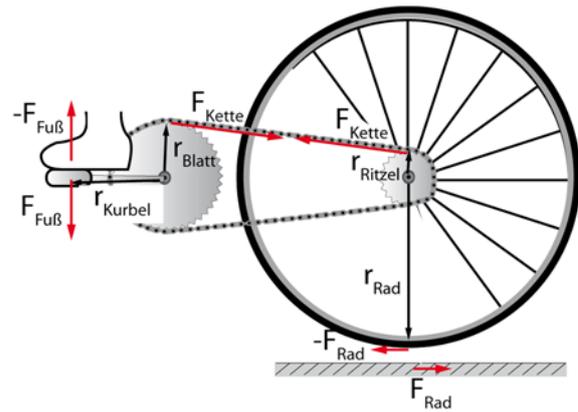


Abb. 5: Antriebskonzept des Fahrrades aus der Musterlösung

Das Antriebsprinzip des Fahrrades - ein klassisches Schulthema - wird auch nicht von allen Techniklehrern zu Gänze verstanden, wie eine aktuelle Studie von Nepper & Gschwendtner (2019) zeigt.

3. Literatur

- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. H., Lavancher, C. (1994): Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, Jg. 18, S. 439–477.
- John, T. & Staraschek, E. (2018). Kumulatives Lehren und Lernen im Lehramtsstudium Physik. Entwicklung eines Modells zur professionsorientierten Fachausbildung von Physik Lehrkräften. Didaktik der Physik Frühjahrstagung Würzburg 2018. *PhyDid B*.
- Leisen, J. (2005). Zur Arbeit mit Bildungsstandards. *Lernaufgaben als Einstieg und Schlüssel*. MNU 58/5, 308–313
- Leisen, J. (2006). Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. MNU 59/5 260–266.
- Müller, R. (2009). *Klassische Mechanik: Vom Weitsprung zum Marsflug*. Berlin: De Gruyter.
- Nepper, H. & Gschwendtner, T. (2019, in Vorbereitung): Identifizierung von Schüler- und Lehrervorstellungen zu physikalisch-technischen Grundlagen als Ansatz zur Optimierung der Sekundarlehrausbildung im Fach Technik. In: Geißel, B. & Gschwendtner, T. (Hrsg.): *Beiträge zur Technikdidaktik*, Bd. 5. Berlin: Logos.
- Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research Ansatz in der Lehr-Lernforschung. *Unterrichtswissenschaft* 1, 52–69.
- Renkl, A. & Schworm, S. (2002): Lernen, mit Lösungsbeispielen zu lehren. In: Prenzel, M. & Doll, J. (Hrsg.): *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen*. Weinheim: Beltz, S. 259–270.
- Renkl, A., (2011). Aktives Lernen: Von sinnvollen und weniger sinnvollen theoretischen Perspektiven zu einem schillernden Konstrukt *Unterrichtswissenschaft*. 39 (3), 197–212.

- Rubitzko, T.; Laukenmann, M. & Starauschek E. (2019). Kumulatives Lehren und Lernen in der Lehramtsausbildung am Beispiel der Veranstaltung „Schulversuche zur Mechanik“. In B. Zinn, B. & Starauschek, E. (Hrsg.): Ansätze für die natur- und technikwissenschaftliche Lehrerbildung an der Professional School of Education Stuttgart – Ludwigsburg. Eine Bestandsaufnahme im Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung. Logos Verlag Berlin.
- Rubitzko, T.; Laukenmann, M. & Starauschek, E. (2018). Kumulatives Lehren der Mechanik in der Lehramtsausbildung– PhyDid B - Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2018.
- Schecker, H. & Klieme, E. (2001) Mehr Denken, weniger Rechnen. Physikalische Blätter; 57, 7/8; 113-117
- 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, Jg. 69 (Heft 1), S. 21–51.

Danksagung

Die Entwicklung und Evaluation der Lehr-Lernformen zur Unterstützung von kumulativem Lernen von physikalischen Grundkonzepten ist ein Teilprojekt des Verbundvorhabens Lehrerbildung PLUS der PSE Stuttgart-Ludwigsburg.

Lehrerbildung PLUS wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung