

Tanja Mutschler¹
Stefan Sorge²
David Buschhüter³
Christoph Kulgemeyer⁴
Andreas Borowski¹

¹Universität Potsdam
²IPN Kiel
³Deutsches Forschungszentrum für
Künstliche Intelligenz
⁴Universität Bremen

Am Beispiel lernen: Der Einfluss der Strukturfolge auf den Lernerfolg

Hintergrund

Dass Beispiele für das Lernen neuer (physikalischer) Konzepte höchst bedeutsam sind, ist lerntheoretischer Konsens (Fischer et al., 2003). Durch ihre Verankerung in der Erfahrungswelt der Schüler*innen ermöglichen sie eine Anknüpfung an bestehende Wissensnetze (Kalyuga et al., 2010; Kircher et al., 2015; Schecker et al., 2018) und bilden so die Basis für den Erwerb von transferfähigem Wissen. Eine Auswahl angemessener Beispiele kann sich gleichermaßen positiv auf das Interesse bzw. die empfundene Interessantheit sowie die Motivation von Schülerinnen und Schülern auswirken und so den Verstehensprozess nachhaltig unterstützen (Muckenfuß, 1995; Habig et al., 2018). Obwohl sich Forschende darüber einig sind, *dass* Beispiele notwendig für das Lernen neuer Konzepte sind, so uneindeutig ist die theoretische und empirische Befundlage darüber, *wo* die optimale Position innerhalb der Strukturfolge ist. Lerntheoretische Zugänge wie die Basismodelltheorie (Oser & Baeriswyl, 2001) oder der concreteness fading approach (Fyfe et al., 2014) sehen die Einführung komplexer Konzepte anhand eines konkreten Beispiels, das dann (schrittweise) in die abstraktere Allgemeinform überführt wird, überlegen, führen aber nur indirekte Belege für ihr präferiertes Vorgehen an. Der Vergleich empirischer Studien ist zwar durch deren Verwendung unterschiedlicher Konstrukte und Designs erschwert, es deuten sich aber zwei Richtungen an: (i) die unterschiedlichen Strukturfolgen (Beispiel-Regel, Regel-Beispiel bzw. konkret-abstrakt, abstrakt-konkret) unterscheiden sich nicht in ihrer Effektivität für den Lernerfolg (Tomlinson & Hunt, 1971; Van Hout & Mettes, 1976; Jaakkola & Veermans, 2018; Kokkonen et al. 2022), (ii) das Vorgehen Regel-Beispiel zeigt sich überlegen (Seidel et al., 2013; Johnson et al., 2014¹) – besonders für leistungsschwächere Schüler*innen durch den höheren Grad an Vorstrukturierung (Tomlinson & Hunt, 1971). Physiknahe Studien stützen mehrheitlich das Ergebnis, dass keine Strukturfolge der anderen überlegen ist (Kokkonen et al., 2022; Jaakkola & Veermans, 2018; Johnson et al. 2014). Inhaltlich waren die bisher durchgeführten Studien im Bereich der Physik aber immer im Kontext der Elektrodynamik verankert, sodass ein Übertrag der Studienergebnisse auf andere physikalische Kontexte erst noch zu überprüfen ist. Ausgehend von der Relevanz der Newtonschen Mechanik für die physikalische Grundbildung von Schüler*innen und den hervorgehobenen Schwierigkeiten beim Erlernen des Wechselwirkungsgesetzes (WWG) (Wilhelm & Heuer, 2005; Savinainen & Scott, 2002) sowie der unklaren Befundlage bezogen auf eine präferierte Strukturfolge werfen wir die folgenden Forschungsfragen auf:

¹ Die Autor*innen können Regel-Beispiel als überlegene Strukturfolge für den Nahtransfer ausweisen. Für den Ferntransfer zeigen sich in der Studie beide Strukturfolgen gleich effektiv.

FF1: Inwieweit ist die eine Strukturfolge (Beispiel-Regel, Regel-Beispiel) der anderen beim Erlernen des WWG bezüglich des Lernerfolgs überlegen?

FF2: Inwieweit beeinflusst innerhalb dieses Themengebiets das Vorwissen den Zusammenhang zwischen Strukturfolge und Lernerfolg?

Design

Kernstück der Studie stellen zwei identische Lernvideos zum WWG dar, bei denen die Positionierung des Beispiels innerhalb der Strukturfolge variiert wurde (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 1). Die Videos folgen den Qualitätskriterien guter Erklärvideos (Kulgemeyer, 2018), berücksichtigen typische Lernendenvorstellungen zur Newtonschen Mechanik (Schecker et al., 2018) und haben durch die Ergänzung einer geführten Anwendungs- und Transferphase eine Länge von circa 25 Minuten. Bei der Auswahl des prototypischen Beispiels und der Darstellung des allgemeinen Konzepts wurde darauf geachtet, die von Bao und Fritchmann (2021) herausgearbeiteten Schlüsselemente (z.B. Gleichzeitigkeit von Aktion/ Reaktion, Gleichartigkeit der Kräfte, keine *verursachende* Kraft) aufzuzeigen. Die Einhaltung der Qualitätskriterien sowie die adressaten- und curriculumsgerechte Passung an die Jahrgangsstufe 9/10 wurde durch eine Interviewstudie mit Lehrkräften (Börner,

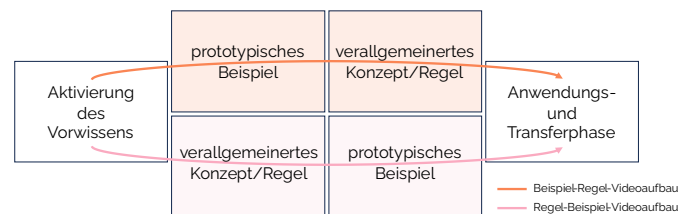


Abbildung 1 - Aufbau und Strukturfolge der beiden Lernvideos

2021) überprüft.

Die Lernvideos wurden mit Hilfe der Plattform *limesurvey* online zugänglich gemacht und in eine Prä-Post-Testung eingebettet. In dieser werden allgemeine Inhalte der Mechanik als Vorwissen und das Wissen zum WWG im Post-Test (u.a. Hestenes et al., 1992) erhoben. Um mögliche Filtervariablen auf Schüler*innenseite, die Einfluss auf das Lernen nehmen können (Kunter & Trautwein, 2013), zu erfassen, haben wir ebenfalls Fragen zum Fachinteresse, zur Motivation sowie zur empfundenen Strukturiertheit in das Instrument integriert (Berger, 2000; Deci & Ryan, 2003; Maurer 2016). Die Cronbachs Alpha-Werte für die fachwissensbezogenen Items liegen zwischen $\alpha = 0.66$ für das Vorwissen und $\alpha = 0.69$ für das Wissen zum WWG und sind damit akzeptabel. Für die nicht-kognitiven Konstrukte erreichen wir Werte zwischen $\alpha = 0.71$ und $\alpha = 0.96$ und befinden uns damit im guten bis exzellenten Bereich. Die Dauer der Durchführung mit Instruktion, Lerneinheit und Testung entspricht genau einer Doppelstunde, sodass Lehrkräfte unsere Einheit als Alternative zum eigenen Unterricht einsetzen konnten. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte klassenweise.

An der Studie nahmen 399 Schüler*innen aus weiterführenden Schulen in Brandenburg und Bremen teil. Nach Abzug der Personen, die das Instrument nicht bis zum Ende durchlaufen haben, umfasst die finale Stichprobe 258 Teilnehmende (77% Gymnasium, 12% Haupt-, Realschule, 11% Gesamtschule). Eine Überprüfung der Vorwissensleistung des Drop-Outs ergab, dass kein signifikanter Unterschied ($p = 0.85$) zu den Personen, die das Instrument abgeschlossen haben, festgestellt werden konnte. Damit liegt keine Positivauswahl vor. Die

Teilnehmenden teilen sich annähernd gleich auf die beiden Gruppen (Beispiel-Regel: $N = 135$, Regel-Beispiel: $N = 123$) auf.

Ergebnisse

Die Prüfung der Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test) ergab, dass diese weder beim Vorwissen noch beim Lernzuwachs zum WWG vorliegt. Für die folgenden Mittelwertevergleiche wurde deswegen der Mann-Whitney-U-Test angewendet. In Bezug auf das Vorwissen unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht signifikant ($U = 8219$, $p = 0.89$), sodass von einer für die Beantwortung der Forschungsfragen relevante Vergleichbarkeit beider Gruppen ausgegangen wird. Die Auswertung des Post-Tests über alle Personen legt mit $M = 4.91$ ($SD = 2.83$) bei 13 möglichen Punkten einen eher geringen Mittelwert für den Lernzuwachs zum WWG offen, der nah an der Ratewahrscheinlichkeit ist. Der Vergleich der beiden Gruppen zeigt keinen signifikanten Unterschied zugunsten einer Strukturfolge ($Md_{BR} = 5$, $Md_{RB} = 4$, $U = 7314$, $Z = -1.66$, $p = 0.10$). Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage unterteilten wir unsere Stichprobe auf Basis der Vorwissensleistung in leistungsschwache, durchschnittliche und leistungsstarke Schüler*innen. Für die leistungsschwachen Schüler*innen ($N = 37$) deutet sich aber ebenfalls kein Effekt zugunsten einer Strukturfolge an ($Md_{BR} = 3$, $Md_{RB} = 3$, $U = 213$, $Z = -1.42$, $p = 0.18$).

Um den Einfluss des Vorwissens auf den Effekt zwischen Strukturfolge und Lernzuwachs weiter zu überprüfen, führten wir eine Moderationsanalyse durch. Diese zeigt zwar, dass das Vorwissen als Faktor allein signifikant wird ($p < 0.01$), nicht aber der Interaktionsterm Vorwissen \times Strukturfolge ($p = 0.11$). Das Modell weist mit $R^2 = 0.19$ eine moderate Varianzaufklärung auf und wird als Ganzes signifikant ($F(3, 260) = 19.82$, $p < 0.01$), diese Parameter sind vor allem aber auf den Zusammenhang zwischen Vorwissen und Wissen zum WWG zurückzuführen. Korrelationsanalysen zwischen dem Wissen zum WWG und den nicht-kognitiven Konstrukten zeigen, dass das Fachinteresse ($r = 0.16$, $p = 0.01$) und die wahrgenommene Strukturiertheit ($r = 0.14$, $p = 0.02$) positiv und die Empfindung von Pressure/ Tension ($r = -0.31$, $p < 0.01$) negativ mit dem Wissen zum WWG zusammenhängen.

Diskussion

Unsere Ergebnisse zeigen zusammengefasst, dass der Lernerfolg stark vom Vorwissen der Lernenden abhängt und sich die Konstrukte Fachinteresse, empfundene Strukturiertheit, sowie die Abwesenheit von Druck/Anspannung dabei positiv auf diesen auswirken. Für das Erlernen des WWG innerhalb unserer Einheit zeigen sich beide Strukturfolgen (Beispiel-Regel, Regel-Beispiel) gleich effektiv. Damit reiht sich die vorliegende Studie in die empirische Befundlage physiknaher (Kokkonen et al., 2022; Jaakkola & Veermans, 2018; Johnson et al. 2014) und disziplinärer (Kaminski et al, 2008; Van Hout & Mettes, 1976; Tomlinson & Hunt, 1971) Studien ein, die ebenfalls keinen (bzw. nur eingeschränkt) hervorgehobenen Effekt für eine Strukturfolge feststellen konnten. Als Erweiterung zu Kokkonen et al. (2022), Jaakkola und Veermans (2018) sowie Johnson et al. (2014), die den Einfluss der Strukturfolge bei der Vermittlung elektrodynamischer Inhalte untersuchten, können wir dieses Ergebnis nun auch in einem anderen physikalischen Kontext, der Newtonschen Mechanik, festhalten. Limitierend wirkt hier jedoch der geringe Mittelwert beim Lernzuwachs zum WWG. Folgend Bao und Fritchman (2021) ist anzunehmen, dass Fehlvorstellungen auch nach der halbstündigen Lerneinheit bei den Schüler*innen präsent waren und sich in der Auswahl attraktiver Distraktoren zeigten. Mögliche Effekte könnten so vor allem bei leistungsschwächeren Schüler*innen

verwischt worden sein. Nachfolgende Studien sollten daher diese hervorgehobene Rolle sowohl in ihrer Stichprobenszusammensetzung als auch in der Instrumententwicklung beachten sowie in längeren Interventionsstudien überprüfen.

Literatur

- Bao, L. & Fritchman, J.C. (2021). Knowledge integration in student learning of Newton's third law: Addressing the action-reaction language and the implied causality. *Physical Review Physics Education Research* 17, 020116.
- Berger, R. (2000). *Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik – Ein Weg zu interessanterem Physikunterricht*. Berlin: Logos.
- Börner, H. (2021). *Qualitätskriterien für Lernvideos – eine qualitative Analyse zweier Lernvideos zum Newton'schen Wechselwirkungsgesetz*. Potsdam: Universität Potsdam.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2003). *Intrinsic Motivation Inventory*. Retrieved from <https://selfdeterminationtheory.org/intrinsic-motivation-inventory/>
- Fischer, H.E., Klemm, K., Leutner, D., Sumfleth, E., Tiemann, R. & Wirth, J. (2003). Naturwissenschaftsdidaktische Lehr-Lernforschung: Defizite und Desiderata. *ZfdN* 9, 179–208.
- Fyfe, E. R., McNeil, N. M., Son, J. Y., & Goldstone, R. L. (2014). Concreteness fading in mathematics and science instruction: A systematic review. *Educational Psychology Review*, 26(1), 9–25.
- Habig, S., van Vorst, H. & Sumfleth, E. (2018). Merkmale kontextualisierter Lernaufgaben und ihre Wirkung auf das situationale Interesse und die Lernleistung von Schülerinnen und Schüler. *ZfDN* 24, 99–114.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhammer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher* 30, 141–158.
- Jaakkola, T., Veermans, K. (2018). Exploring the effects of concreteness fading across grades in elementary school science education. *Instr Sci* 46, 185–207. <https://doi.org/10.1007/s11251-017-9428-y>
- Johnson, A. M., Reisslein, J. & Reisslein, M. (2014). Representation sequencing in computer-based engineering education. *Computers & Education* 72, 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.11.010>
- Kalyuga, S., Renkl, A. & Paas, F. (2010). Facilitating Flexible Problem Solving: A Cognitive Load Perspective. *Educ Psychol Rev* 22, 175–186.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). (2015). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kokkonen, T., Lichtenberger, A. & Schalk, L. (2022). Concreteness fading in learning secondary school physics concepts. *Learning and Instruction*, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101524>.
- Kulgemeyer, C. (2018). A Framework of Effective Science Explanation Videos Informed by Criteria for Instructional Explanations. *Research in Science Education* 50, 2441–2462.
- Kunter, M. & Trautwein, U. (2013). *Psychologie des Unterrichts*. Paderborn: Schöningh.
- Maurer, C. (2016). *Strukturierung von Lehr-Lern-Sequenzen*. Berlin: Logos.
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin: Cornelsen.
- Oser, F. & Baeriswyl, F.J. (2001). Choreographies of Teaching: Bridging Instruction to Learning. In V. Richardson (Eds.), *Handbook of Research on Teaching*. Washington: American Educational Research Association, 1031–1065.
- Savinainen, A. & Scott, P. (2002). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. *Physics Education* 37(1), 53–58.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.) (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin: Springer.
- Seidel, T., Blomberg, G., & Renkl, A. (2013). Instructional strategies for using video in teacher education. *Teaching and Teacher Education* 34, 56–65.
- Tomlinson, P. D., & Hunt, D. E. (1971). Differential effects of rule-example order as a function of learner conceptual level. *Canadian Journal of Behavioural Science*, 3(3), 237e245. <http://dx.doi.org/10.1037/h0082265>.
- Wilhelm, T. & Heuer, D. (2005). Verständnis der newtonschen Mechanik bei bayerischen Elftklässlern – Ergebnisse beim Test „Force Concept Inventory“ in herkömmlichen Klassen und im Würzburger Kinematik-/Dynamikunterricht. *Didaktik der Physik, Frühjahrstagung Berlin 2005*.