

Cognitive Load und Lernerfolg bei verschiedenen Versuchsanleitungen

Einleitung

Im Physikunterricht werden oft Versuche eingesetzt, die Lernende eigenständig und in kurzer Zeit erarbeiten sollen. Diese Versuche umfassen meist wenige Arbeitsschritte und können innerhalb weniger Minuten abgeschlossen werden. In diesem Kontext dient der Schulversuch als wichtiges Mittel, physikalische Phänomene und Konzepte zu veranschaulichen (Girwidz, 2020a). Besonders im Anfangsunterricht werden häufig instruktionsorientierte Schüler:innenversuche verwendet, die durch eine vorgegebene Fragestellung und einen festgelegten Ablauf strukturiert sind (Hopf, 2007). Für die Durchführung der Versuche benötigen die Lernenden Anleitungen, die oftmals mündlich oder schriftlich zur Verfügung gestellt werden. Diese Versuchsanleitungen konfrontieren die Lernenden mit zahlreichen Anforderungen, die leicht zu Überforderung führen können. Die simultane Umsetzung der Anleitung, der Versuchsaufbau und die Beobachtung des Phänomens fordern eine hohe Konzentration (Rincke, 2016). In diesem Prozess ist es entscheidend, die Lernenden so zu unterstützen, dass sie sich auf die Beobachtung des Phänomens konzentrieren können, anstatt primär mit dem Aufbau des Versuchs beschäftigt zu sein.

Die vorliegende Forschungsarbeit setzt hier an und untersucht die Rolle von Versuchsanleitungen. Diese sind von zentraler Bedeutung für den Aufbau eines Versuchs, da ihre Gestaltung entscheidend dafür ist, ob sie kognitive Ressourcen freisetzen oder binden – ein Aspekt, der die Verarbeitung des beobachteten Phänomens und somit auch den Lernerfolg unmittelbar beeinflussen kann. Aus diesem Grund steht die Frage im Fokus, wie sich multimediale Anleitungen auf die kognitive Belastung und die Lernwirksamkeit der Lernenden auswirken.

Die in der Studie untersuchten Anleitungen wurden unter Einbezug der Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2021; Moreno & Mayer, 1999) entwickelt. Zwei zentrale Designprinzipien aus der Kognitionspsychologie und dem Instruktionsdesign – das Multimedia- und das Modalitätsprinzip – wurden hierbei besonders berücksichtigt (vgl. Amacker, Wilhelm, Bollmann & Brovelli, 2024). Zum Einsatz kamen Bild-Text-Anleitungen im Stil eines Arbeitsblatts, Bild-Instruktions-Anleitungen, angelehnt an den Frontalunterricht, und Video-Anleitungen, die die mediale Erfahrungswelt der Jugendlichen aufgreifen.

Theoretischer Hintergrund

Die Kognitionswissenschaft, die sich u.a. mit dem multimedialen Lernen befasst, untersucht, wie Informationen präsentiert und verarbeitet werden. Der Begriff „multimedial“ bezieht sich hierbei auf die Nutzung verschiedener Repräsentationsmodi, primär verbal und bildlich. Das Lernen wird auf die Sinnesmodalitäten (visuell und auditiv) und die Kodalität (symbolisch und/oder analog) von Repräsentationen ausgelegt (Scheiter, Richter & Renkl, 2018, S. 2).

Den verschiedenen Theorien multimedialen Lernens (vgl. Ainsworth, 2006; Mayer, 2021; Schnotz & Bannert, 2003) liegen drei Annahmen zugrunde: Erstens erfolgt die Informationsaufnahme über zwei Kanäle; zweitens ist deren Verarbeitungskapazität begrenzt; drittens gelingt Lernen nur, wenn Informationen aktiv verarbeitet werden. Nach der Cognitive

Theory of Multimedia Learning gelangen multimedial präsentierte Informationen über die Sinne ins sensorische Gedächtnis, wo sie gefiltert und relevante Informationen ins Arbeitsgedächtnis weitergeleitet werden. Im Arbeitsgedächtnis erfolgt deren aktive Verarbeitung durch den auditiven und visuellen Kanal: Auditive Informationen werden als verbale, visuelle als bildliche Modelle organisiert, die sich mit dem Vorwissen im Langzeitgedächtnis abgleichen und zu neuen Schemata abspeichern lassen.

Ein Ziel der Forschung zum multimedialen Lernen ist die Entwicklung von Materialien, die kognitive Ressourcen optimal für lernförderliche Prozesse nutzen. Designprinzipien (Girwidz, 2020b) helfen dabei, nicht-lernförderliche Verarbeitungsprozesse zu minimieren. Das Multimediaprinzip beispielsweise fördert durch die Kombination von Text und Bild die Kapazitätsauslastung des auditiven und visuellen Kanals (Mayer, 2021), während das Modalitätsprinzip gesprochene Texte bevorzugt, um den visuellen Kanal gezielt für Bildinformationen freizuhalten (Castro-Alonso & Sweller, 2021).

Die Cognitive Load Theory (Sweller, 1994) ergänzt diese Ansätze, indem sie die Begrenzung des Arbeitsgedächtnisses und die daraus resultierende Belastung thematisiert. Die Theorie geht davon aus, dass die kognitive Belastung durch die Inhaltskomplexität und die Darstellungsweise des Lernmaterials beeinflusst wird. Die inhaltsbedingte kognitive Belastung (Intrinsic Cognitive Load, ICL) ist dabei lerninhärent, während die sachfremde Belastung (Extraneous Cognitive Load, ECL) durch das Design steuerbar ist (Leahy & Sweller, 2016). Die lernrelevante kognitive Belastung (Germane Cognitive Load, GCL) fördert das Verständnis und unterstützt die Speicherung in Schemata im Langzeitgedächtnis (Moreno & Park, 2012). Ein niedriger ECL ermöglicht eine bessere Nutzung der Arbeitsgedächtniskapazität für lernförderliche Prozesse.

Forschungsfragen und Hypothesen

Forschungsfrage 1: Welcher Präsentationsmodus eignet sich für eine Anleitung am besten, damit Lernende selbständig und lernwirksam einen Versuch durchführen können?

Es wird erwartet, dass Bild-Instruktions- und Video-Anleitungen den Lernprozess stärker unterstützen als Bild-Text-Anleitungen. Gemäß Mayers (2021) Annahme müsste effektives Lernen über die gleichzeitige Nutzung des visuellen und auditiven Kanals erfolgen, da beide Kanäle nur begrenzt Informationen verarbeiten können (Sweller, 1994). Da Bild-Text-Anleitungen den visuellen Kanal allein beanspruchen, während Bild-Instruktions- und Video-Anleitungen auch den auditiven Kanal einbinden, sollten letztere für eine effizientere Informationsverarbeitung sorgen.

Forschungsfrage 2: Mit welcher Anleitungsvariante können die Lernenden den ECL möglichst niedrig halten und welchen Einfluss hat das auf den Lernzuwachs?

Nach dem Modalitätsprinzip sollten Bild-Instruktions- und Video-Anleitungen den ECL minimieren, da durch den gesprochenen Text der visuelle Kanal gezielt für die Bildverarbeitung frei bleibt (Leahy & Sweller, 2016). Ein reduzierter ECL erhöht die verfügbare Arbeitsgedächtniskapazität für die Auseinandersetzung mit dem Phänomen, was zu einem stärkeren Lernzuwachs führt.

Studiendesign und Methodik

An der Studie nahmen 820 Schüler:innen der Sekundarstufe I teil (50.1% weiblich, 49.9% männlich; $M = 13.7$ Jahre, $SD = 1.1$ Jahre). Die Lernenden besuchten einen 90-minütigen Workshop mit dem Titel „(Unsichtbares) Licht – mit dem Smartphone entdeckt“, in dem physikalische Phänomene mithilfe diverser Smartphone-Sensoren beobachtet und daraus

physikalische Gesetzmäßigkeiten abgeleitet wurden (vgl. Amacker, Wilhelm & Brovelli, 2022). Hierfür erarbeiteten sie drei Versuche zur Optik und drei Versuche zur Infrarotstrahlung. Der direkte Vergleich der Versuche zur Optik mit denen zur Infrarotstrahlung kontrastierte Phänomene zur Reflexion und Transmission, wodurch eine aktive Auseinandersetzung mit den Inhalten initiiert werden sollte.

Der Wissensstand und Lernzuwachs wurden mithilfe eines Konzepttests mit 15 Items zu Reflexion und Transmission von Licht und Infrarotstrahlung eine Woche vor, unmittelbar nach und sechs Wochen nach dem Workshop-Besuch erfasst (vgl. Amacker, Lohse-Bossenz, Wilhelm & Brovelli, 2023). Der Cognitive Load (CL) wurde am Ende der Workshopdurchführung mit dem Fragebogen von Klepsch, Schmitz und Seufert (2017) differenziert in ICL, GCL und ECL erhoben. Die Variablen wurden durch konfirmatorische Faktorenanalyse latent modelliert und die daraus resultierenden Faktorwerte für die Folgeanalysen herangezogen.

Ergebnisse und Diskussion

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde anfangs ein Modell auf Basis einer multiplen linearen Regression erstellt, wobei die Anleitungsvariante als Prädiktor und die Bild-Text-Anleitung als Referenzkategorie festgelegt wurden. Die Analyse des Modells mit der abhängigen Variable CL (unterteilt in ICL, GCL und ECL) ergab, dass allein der ECL durch die Anleitungsvariante beeinflusst wird. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Bild-Instruktions-Anleitung ($\beta = 0.28$, $SE = .14$, $p = .042$) als auch die Video-Anleitung ($\beta = 0.38$, $SE = .15$, $p = .008$) im Vergleich zur Bild-Text-Anleitung signifikant höhere ECL-Werte erzeugen. Diese Befunde widersprechen der aufgestellten Hypothese, da Anleitungen mit mündlicher Komponente einen höheren ECL generieren. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass die zeitliche Kontiguität und das Segmentierungsprinzip bei Bild-Instruktions- und Video-Anleitungen schwieriger umzusetzen sind. Damit ergibt sich für Forschungsfrage 2, dass Bild-Text-Anleitungen den ECL am niedrigsten halten.

Die Auswirkungen des ECL auf den Lernzuwachs wurden mithilfe eines Random-Intercept-Modells untersucht, wobei die abhängige Variable Wissen und die Anleitungsvarianten (mit Bild-Text-Anleitung als Referenzkategorie) einbezogen wurden. Die Analyse zeigt einen signifikanten Wissenszuwachs nach dem Workshop ($\beta = 1.12$, $SE = .16$, $p < .001$), jedoch keinen signifikanten Haupteffekt der Anleitungsvarianten auf den Lernzuwachs (Bild-Instruktions-Anleitung: $\beta = -0.06$, $SE = .20$, $p = .776$; Video-Anleitung: $\beta = -0.19$, $SE = .21$, $p = .374$). Somit lässt sich auch Forschungsfrage 1 beantworten: Keine Anleitungsvariante ist hinsichtlich des Lernzuwachses der anderen überlegen.

Des Weiteren zeigte sich kein direkter Einfluss des ECL auf den Lernzuwachs ($\beta = -0.03$, $SE = .09$, $p = .760$). Ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Zeit und ECL ($\beta = 0.21$, $SE = .10$, $p = .036$) deutet jedoch darauf hin, dass der ECL über die Zeit den Wissenszuwachs beeinflusst. Insbesondere die dreifachen Interaktionseffekte zwischen ECL, Zeit und den Anleitungsvarianten sind signifikant (Bild-Instruktions-Anleitung: $\beta = -0.31$, $SE = .14$, $p = .030$; Video-Anleitung: $\beta = -0.28$, $SE = .14$, $p = .036$). Dies deutet darauf hin, dass der Wissenszuwachs bei den Anleitungsvarianten mit mündlicher Komponente im Vergleich zur Bild-Text-Anleitung geringer ausfällt, wenn ein höherer ECL vorhanden ist. Diese Ergebnisse bestätigen, dass ein niedriger ECL den Lernzuwachs fördert und dass die Bild-Text-Anleitungen im Vergleich zu den Varianten mit mündlicher Komponente den ECL am effektivsten niedrig halten.

Literatur

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Amacker, V., Lohse-Bossenz, H., Wilhelm, M. & Brovelli, D. (2023). Concept test on reflection and transmission in the range of visible and infrared optics. *International Journal of Science Education*, 46(9), 913-933. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2263917>
- Amacker, V., Wilhelm, M., Bollmann, S. & Brovelli, D. (2024). Der Einfluss multimedialer Versuchsanleitungen auf die Lernwirksamkeit und die Selbstwirksamkeitserwartung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 30(5), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s40573-024-00170-7>
- Amacker, V., Wilhelm, M. & Brovelli, D. (2022). Entwicklung eines Workshops zur Infrarot-Optik nach dem Basismodell «Konzeptbildung». *Progress In Science Education*, 5(1), 61-75. <https://doi.org/10.25321/prise.2022.1283>
- Castro-Alonso, J. C. & Sweller, J. (2021). The modality principle in multimedia learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press, 261-267. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.026>
- Girwidz, R. (2020a). Experimente im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik | Grundlagen*. Berlin, Heidelberg: Springer, 263-291. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_7
- Girwidz, R. (2020b). Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik | Grundlagen*. Berlin, Heidelberg: Springer, 457-527. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_13
- Hopf, M. (2007). *Problemorientierte Schülerexperimente. Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 68*. Berlin: Logos.
- Klepsch, M., Schmitz, F. & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in psychology*, 8, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
- Leahy, W. & Sweller, J. (2016). Cognitive load theory and the effects of transient information on the modality effect. *Instructional Science*, 44(1), 107-123. <https://doi.org/10.1007/s11251-015-9362-9>
- Mayer, R. E. (2021). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press, 57-72. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.008>
- Moreno, R. & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 358-368. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.2.358>
- Moreno, R. & Park, B. (2012). Cognitive load theory: Historical development and relation to other theories. In J. L. Plass, R. Moreno & R. Brünken (Hrsg.), *Cognitive Load Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 9-28. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511844744.003>
- Rincke, K. (2016). *Experimente in ihren Funktionen für das Lernen*. Regensburg: Universität Regensburg. <https://doi.org/10.5283/epub.36410>
- Scheiter, K., Richter, J. & Renkl, A. (2018). *Multimediales Lernen: Lehren und Lernen mit Texten und Bildern*. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Lernen mit Bildungstechnologien*. Berlin, Heidelberg: Springer, 1-26. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54373-3_4-1
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00017-8](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00017-8)
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90003-5)