

David Wiedemann¹
Silke Mikelskis-Seifert¹
Josef Künsting¹

¹Pädagogische Hochschule Freiburg

Aufbau des Dichtekonzepts zum Modellieren des Schwimmens und Sinkens in einem digitalen ComicLab

Fragestellung: Die Ergebnisse der PISA-Studien verdeutlichen zentrale Herausforderungen des naturwissenschaftlichen Lernens. Zwar liegt Deutschland über dem OECD-Durchschnitt im Bereich Naturwissenschaften in der PISA-Studie 2022, verzeichnet hier aber im Vergleich zu 2018 einen Rückgang. Auffällig ist zudem, dass fast ein Viertel der Schüler:innen nicht über grundlegende naturwissenschaftliche Kenntnisse verfügt (Lewalter et al., 2023). Selbstreguliertes Experimentieren, das häufig mit eher offen gestalteten und minimalen Experimentieranleitungen verbunden ist, kann für Lernende eine Überforderung darstellen (Künsting et al., 2013). Ein weiteres Problem ist träges Wissen (Mandl et al., 1994): Lernende erwerben zwar Wissen, dieses bleibt jedoch häufig kontextgebunden und wird nicht flexibel auf neue Problemstellungen übertragen. Vor diesem Hintergrund stellt sich eine übergeordnete Frage: Wie kann flexibles Anwendungswissen (Anderson et al., 2001) beim naturwissenschaftlichen Lernen erfolgreich aufgebaut werden, insbesondere durch Experimentieren in digitalen Lernumgebungen? Als Teilprojekt von Di.ge.LL-2 (2024) wird dazu eine mehrphasige, digitale, comicbasierte Lernumgebung entwickelt. In Phase 1 erwerben Schüler:innen Wissen zum Dichtekonzept und der damit verbundenen Vorhersage des Schwimmverhaltens. Dieses Wissen kann als deklarativ-konzeptuelles Wissen bezeichnet werden (Künsting et al., 2008). Die Lernenden erwerben es selbstreguliert durch Experimente, die im Kontext Wasser stattfinden und durch eine Dichtematrix unterstützt werden (Jungbluth et al., 2023). Das in Phase 1 erworbene Wissen bleibt jedoch noch stark kontextgebunden und ist daher nur begrenzt flexibel einsetzbar. In Phase 2 wird das deklarativ-konzeptuelle Wissen in flexibles Anwendungswissen transformiert. Zur Dekontextualisierung werden Experimente mit Milch und Öl als Flüssigkeiten durchgeführt, ebenfalls unter Nutzung einer simulierten Dichtematrix. Um das Problem des trägen Wissens zu adressieren, kommen zusätzlich Selbsterklärungsprompts zum Einsatz, die in den Comicverlauf integriert sind. Vorwissensabhängig variiert werden offene vs. assistierende Prompts. Das heißt, für alle Lernenden werden dieselben Lerninhalte fokussiert durch die Prompts, welche aber für Lernende mit hohem Vorwissen offen und weniger unterstützend, hingegen für Lernende mit geringem Vorwissen als assistierende Bedingung mit zusätzlicher Unterstützung (z. B. in Form eines Lückentextes) gestaltet sind. Studien legen nahe, dass assistierende Selbsterklärungsprompts den Wissenserwerb besonders gut fördern (z. B. Berthold et al., 2009; Wang & Xu, 2024). Offen bleibt die Frage, inwiefern das Vorwissen der Lernenden mit der Art der Selbsterklärungsprompts (offen vs. assistierend) in Bezug auf den Wissenserwerb interagiert. Entscheidend ist auch die Nutzung der Variablenkontrollstrategie (VKS) als Prädiktor des Lernerfolgs beim selbstregulierten Experimentieren (Künsting et al., 2008). Es wird untersucht, inwiefern Selbsterklärungsprompts die Nutzung der VKS anregen und so zum Aufbau flexiblen Anwendungswissens beitragen. Fauth und Leuders (2018) betonen, dass das Ziel, Schüler:innen zur kognitiven Aktivität zu motivieren, nicht automatisch deren tatsächliche Aktivität garantiert. Sie unterscheiden zwischen kognitiver Aktivierung, die das Potenzial im Unterricht beschreibt, und kognitiver Aktivität, die die tatsächlichen

Lernhandlungen der Schüler:innen abbildet. Daraus ergibt sich eine weitere Frage: Führen die eingesetzten Selbsterklärungsprompts tatsächlich zu kognitiver Aktivität der Lernenden?

Theoretischer Rahmen: Das „CID-Framework“ (Composite Instructional Design; Loibl et al., 2024) dient dazu, die Interdependenzen zwischen Wissenskomponenten, Lernprozessen und Instruktionsdesign systematisch zu analysieren und bildet die Auswertungsgrundlage in diesem Projekt. Im CID-Modell wird das Wissen zwischen zwei Instruktionsphasen als intermediäres Wissen bezeichnet und kann verschiedene Funktionen erfüllen: Es beinhaltet aktiviertes Vorwissen, strategisches Wissen (z. B. zu Experimentierstrategien) für die folgende Phase und dient (z. B. als Konzeptwissen) der Korrektur. Für das vorliegende Projekt wird der Begriff jedoch enger gefasst: Unter intermediärem Wissen wird im Folgenden ausschließlich das in Phase 1 aufgebaute deklarativ-konzeptuelle Wissen zum Dichtekonzept und der damit verbundenen Vorhersage des Schwimmverhaltens verstanden. Dieses Wissen soll in der zweiten Phase mithilfe von selbstregulierten Experimenten und Selbsterklärungsprompts in flexibles Anwendungswissen transformiert werden. Selbsterklärungsprompts können die Tiefenverarbeitung stimulieren (Chi et al., 1994) und den Wissenstransfer fördern (Bisra et al., 2018). Im Rahmen des Projekts kommen sowohl „offene Selbsterklärungsprompts“ als auch „assistierende Selbsterklärungsprompts“ (Berthold et al., 2009) zum Einsatz. Letztere zielen laut Studienlage stärker auf die Förderung des Wissenserwerbs ab (z. B. Berthold et al., 2009; Wang & Xu, 2024). Es werden ATI-Effekte (ATI = Aptitude-Treatment-Interaction; Snow, 1991) erwartet. **H1:** Der Effekt der Selbsterklärungsprompts auf den Wissensanwendungserfolg wird durch das intermediäre Wissen moderiert. Lernende mit geringem Vorwissen – in diesem Fall das intermediäre Wissen – profitieren stärker von assistierenden Prompts, solche mit höherem intermediärem Wissen stärker von offenen Prompts. Diese Hypothese stützt sich auf den „Expertise Reversal Effect“ (Kalyuga & Sweller, 2018), der beschreibt, dass die Lernleistung von Experten unter Lehrbedingungen abnimmt, die für weniger erfahrene Lernende vorteilhaft sind. Nach der „Cognitive-Load-Theory“ (Sweller et al., 2019) liegt dies daran, dass erfahrene Lernende ihr Arbeitsgedächtnis unnötig belasten, wenn sie instruktionale Informationen verarbeiten, die für sie überflüssig (aber schwer zu ignorieren) sind. Nicht nur die Selbsterklärung, sondern auch das Planen und Durchführen von Experimenten sind zentral für den Lernprozess im vorliegenden Projekt. Künting et al. (2008) haben die Bedeutung des inhaltlichen Vorwissens für den Einsatz der VKS untersucht. Der Fokus lag dabei auf dem inhaltlichen Vorwissen zum Lerngegenstand, in Abgrenzung zum strategiebezogenen Vorwissen, wie etwa zu Experimentierstrategien wie der VKS selbst. Erfolgreiches strategisches Experimentieren wird z. B. erst ab einem bestimmten Wissensniveau möglich. Die Autor:innen zeigten, dass der Zusammenhang zwischen Strategienutzung und Lernerfolg bei Schüler:innen mit höherem Vorwissen stärker ist als bei denen mit geringerem Vorwissen. **H2:** Der Effekt der Variablenkontrollstrategie auf den Wissensanwendungserfolg wird durch das intermediäre Wissen moderiert. Der Einsatz von Selbsterklärungsprompts beruht auf der Annahme, dass Lernende zwar über das nötige Vorwissen und die entsprechenden Strategien verfügen können, um spontan Selbsterklärungen zu generieren, aber ohne die gezielte Anregung durch die Prompts nicht erkennen, dass die Anwendung dieses Wissens oder dieser Strategien in diesem Moment zielführend für ihren Lernprozess ist (Koenen, 2014). Strategiearmes oder -loses Experimentieren geht häufig einher mit der Durchführung konfundierter Experimente. Diese liefern keine zuverlässigen Erkenntnisse und führen somit zu einem Mangel an Lernerfolg. Lernerfolg in der zweiten Instruktionsphase ist nur zu erwarten, wenn die

Lernenden die Variablenkontrollstrategie (VKS) anwenden. Angenommen wird, dass Lernende, die durch Selbsterklärungsprompts angeregt werden, sich den Lerngegenstand selbst zu erklären, auch eine erhöhte Nutzung von Experimentierstrategien wie der VKS zeigen, was wiederum den Wissensanwendungserfolg fördert. **H3:** Der Effekt der Selbsterklärungsprompts auf den Wissensanwendungserfolg wird durch die Nutzung der Variablenkontrollstrategie mediiert. Selbsterklärungsprompts besitzen Potenzial zur kognitiven Aktivierung (Chi et al., 1994), führen jedoch nicht zwangsläufig zur gewünschten kognitiven Aktivität. Erwartet wird, dass die Selbsterklärungsprompts den Erwerb von Anwendungswissen in der zweiten Instruktionsphase nur dann signifikant fördern, wenn die Selbsterklärungsprompts tatsächlich ausreichend kognitive Aktivität bei den Lernenden anregen. **H4:** Der Effekt der Selbsterklärungsprompts auf den Wissensanwendungserfolg wird durch den Prozess kognitiver Aktivierung mediiert.

Methodik: Zur Überprüfung der Hypothesen wird ein Mischversuchsplan im 2×2-Design eingesetzt. Die Faktoren dieses Designs sind Selbsterklärungsprompts (offen vs. assistierend) als experimenteller Faktor und intermediäres Wissen (hoch vs. gering). Die Stichprobe umfasst Schüler:innen der 5. und 6. Klasse der Sekundarstufe I. In Abb. 1 wird das Methodendesign dargestellt. Die Wissensstände werden zu drei Zeitpunkten erhoben: vor und nach der ersten Instruktionsphase sowie nach der zweiten. Dabei wird das intermediäre Wissen nach Salim (2024) gemessen; das flexible Anwendungswissen wird erst ab dem zweiten Messzeitpunkt erhoben. Zu allen Messzeitpunkten wird außerdem das vorhandene Strategiewissen zur Variablenkontrolle nach (Brandenburger et al. 2022) erfasst, um zu prüfen, welches Ausmaß an Strategiewissen für die Instruktionsphasen vorliegt. Während der ersten Instruktionsphase erwerben die Lernenden das intermediäre Wissen. Im Anschluss werden die Lernenden nach ihrem Wissensstand (hoch vs. gering) gruppiert und sodann innerhalb dieser Gruppen randomisiert auf Individualebene den Bedingungen der Selbsterklärungsprompts (offen vs. assistierend) zugewiesen, sodass alle vier Kombinationen des 2×2-Designs entstehen. Die Lernprozesse werden in beiden Phasen zudem prozessbasiert analysiert. Der Fokus liegt dabei auf kognitiven Aktivierungsmerkmalen sowie auf der Anwendung der Variablenkontrolle, die sowohl über Logfiles als auch über Tonaufnahmen der Selbsterklärungen erfasst werden. Für die Datenanalyse werden Linear Mixed Models eingesetzt, wobei die Klasse als Zufallsfaktor berücksichtigt wird; zusätzlich werden Effektgrößen (Hedges' g) mit 95%-Konfidenzintervallen berichtet.

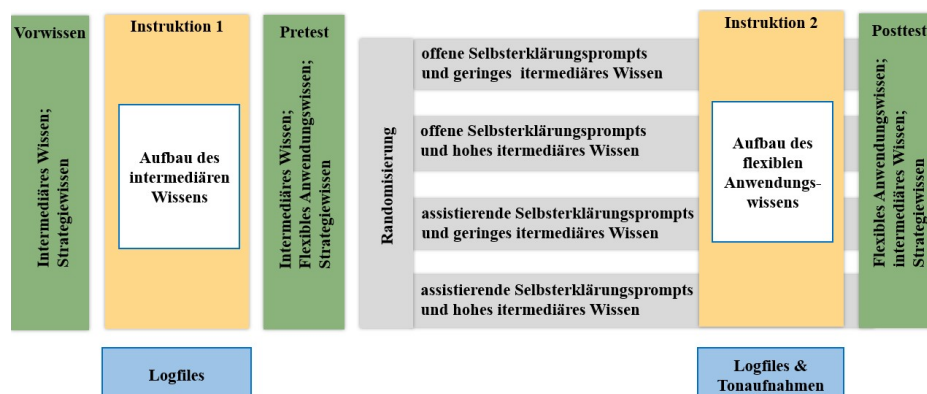


Abb. 1 Methodendesign

Literatur

- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Rath, J. & Wittrock, M. C. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Berthold, K., Eysink, T. H. S. & Renkl, A. (2009). Assisting self-explanation prompts are more effective than open prompts when learning with multiple representations. *Instructional Science*, 37, 345–363.
- Bisra, K., Liu, Q., Nesbit, J., Salimi, F. & Winne, P. (2018). Inducing self-explanation: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 30, 703–725. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9434-x>
- Brandenburger, M., Salim, A., Schwichow, M., Wilbers, J. & Mikelskis-Seifert, S. (2022). Modellierung der Struktur der Variablenkontrollstrategie und Abbildung von Veränderungen in der Grundschule. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28. <https://doi.org/10.1007/s40573-022-00140-x>
- Chi, M. T. H., DeLeeuw, N., Chiu, M.-H. & Lavancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439–477.
- Di.ge.LL-2. (2024). Forschungs- und Nachwuchskolleg „Didaktik des digitalen Unterrichts: Digital gestützte Lehr-Lernsettings zur kognitiven Aktivierung (Phase 2)“. KeBU – Kompetenzverbund empirische Bildungs- und Unterrichtsforschung. <https://www.kebu-freiburg.de/forschung/di-ge-ll-phase-2/>
- Fauth, B. & Leuders, T. (2018). Kognitive Aktivierung im Unterricht (Reihe Wirksamer Unterricht, Band 2). Institut für Bildungsanalysen Baden-Württemberg (ehem. Landesinstitut für Schulentwicklung).
- Jungbluth, T., Salim, C. A., Mikelskis-Seifert, S. & Künsting, J. (2023). Schwimmen und Sinken digital verstehen: Untersuchung des Schwimmverhaltens von Körpern im Comic Lab „Mission Aqua“. *MNU-Journal*, 76(5), 407–413.
- Kalyuga, S. & Sweller, J. (2018). Cognitive load and expertise reversal. In K. A. Ericsson, R. R. Hoffman, A. Kozbelt, & A. M. Williams (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 793–811). Cambridge University Press.
- Koenen, J. (2014). *Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen*. Studien zum Physik- und Chemielernen (Band 171). Logos Verlag.
- Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (2008). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 55(1), 1–15.
- Künsting, J., Kempf, J. & Wirth, J. (2013). Enhancing scientific discovery learning through metacognitive support. *Contemporary Educational Psychology*, 38(4), 349–360.
- Lewalter, D., Diedrich, J., Goldhammer, F., Köller, O. & Reiss, K. (Eds.). (2023). *PISA 2022: Analyse der Bildungsergebnisse in Deutschland*. Waxmann. <https://doi.org/10.25656/01:28666>
- Loibl, K., Leuders, T., Glogger-Frey, I. & Rummel, N. (2024). CID: A framework for the cognitive analysis of composite instructional designs. *Instructional Science*. <https://doi.org/10.1007/s11251-024-09665-9>
- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1994). Zum Problem der Wissensanwendung. *Unterrichtswissenschaft*, 22(3), 233–242.
- Salim, C. A. (2024). *Die Untersuchung adaptiver Lernsettings im Themenbereich „Schwimmen und Sinken“ im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Studien zum Physik- und Chemielernen (Band 375). Logos Verlag.
- Snow, R. E. (1991). Aptitude-treatment interaction as a framework for research on individual differences in psychotherapy. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 59(2), 205–216.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261–292.
- Wang, L. & Xu, G. (2024). Self-explanation prompts in video learning: An optimization study. *Education and Information Technologies*, 29, 23441–23462. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12806-9>