

KI-gestützte Förderung selbstregulativer experimenteller Kompetenz

Motivation Experimentieren ist in den weiterentwickelten Bildungsstandards Chemie als zentraler Bestandteil der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung verankert und umfasst das Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten (KMK, 2024). Als wesentliche Teilstrategie wissenschaftlichen Denkens und damit experimenteller Kompetenz gilt die Variablenkontrollstrategie (VKS) – also die Fähigkeit, in Experimenten gezielt nur eine Variable zu verändern, um Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge valide zu prüfen (Chen & Klahr, 1999). Studien zeigen jedoch typische Fehlermuster bei Lernenden – etwa gleichzeitige Veränderung mehrerer Variablen, ungeeignete Vergleichsbedingungen oder fehlende Kontrollversuche (z. B. Arnold et al., 2014; Schwichow et al., 2016a).

Prozessnahe, individuelle Rückmeldungen lassen sich während Experimentierphasen im Unterrichtsalltag häufig nicht durchgehend realisieren. Umso bedeutsamer sind Ansätze, die typische VKS-Fehlermuster früh auffangen und strukturiert gegensteuern (Arnold et al., 2014; Schwichow et al., 2016a). KI-Chatbots bieten hier das Potenzial, adaptives und individualisiertes Feedback bereitzustellen und Lernende gezielt zu unterstützen (Guan et al., 2024; Holmes et al., 2019; Lin et al., 2023). Vor diesem Hintergrund untersucht die Studie, inwiefern ein didaktisch spezifizierter KI-Chatbot (KIVa) im Anfangsunterricht Chemie der Sekundarstufe I Lernende beim Anwenden der VKS unterstützt und so eine bislang wenig erforschte Perspektive auf den gezielten Einsatz dialogischer KI-Systeme zur Förderung experimenteller Kompetenz aufzeigt.

Theoretischer Hintergrund Zimmerman (2000) beschreibt selbstreguliertes Lernen (SRL) als zyklischen Prozess aus Planung, Handlung und Reflexion, in dem Lernende ihr Vorgehen selbstständig steuern, überwachen und bewerten. Diese Struktur spiegelt sich im wissenschaftlichen Experimentieren wider: Erfolgreiches Experimentieren setzt nicht nur fachlich-methodisches Wissen voraus, sondern ebenso die Fähigkeit, das eigene Vorgehen gezielt zu planen, zu überwachen und zu reflektieren (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018).

Aufbauend auf diesen theoretischen Bezügen wird das Zusammenspiel von experimenteller Kompetenz und SRL als konzeptioneller Rahmen herangezogen und in Abb. 1 veranschaulicht. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass experimentelles Handeln wissensbezogene, prozedurale und metakognitive Komponenten umfasst und Lernende ihr Vorgehen entlang der Phasen Planung, Handlung und Reflexion regulieren (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018; Zimmerman, 2000).

KI-basierte, dialogorientierte Lernsysteme – etwa in Form von Chatbots – bieten das Potenzial, Lernende in zentralen SRL-Phasen gezielt zu begleiten, indem sie adaptive Rückmeldungen geben, metakognitive Prozesse anregen und Reflexion strukturieren, wodurch individuelle Lernunterstützung in Echtzeit möglich wird (Guan et al., 2024; Holmes et al., 2019; Lin et al., 2023). Auf diesem Prinzip basiert der entwickelte KI-Chatbot KIVa, der für den spezifischen Lernkontext konfiguriert wurde. KIVa unterstützt Lernende mit fragend-entwickelnden Impulsen entlang der Phasen des Experimentierens – von der Planung

bis zur Reflexion – und regt sie dazu an, ihr Vorgehen selbstständig zu steuern und zu hinterfragen, ohne dabei Lösungen vorzugeben (vgl. Abb. 1).

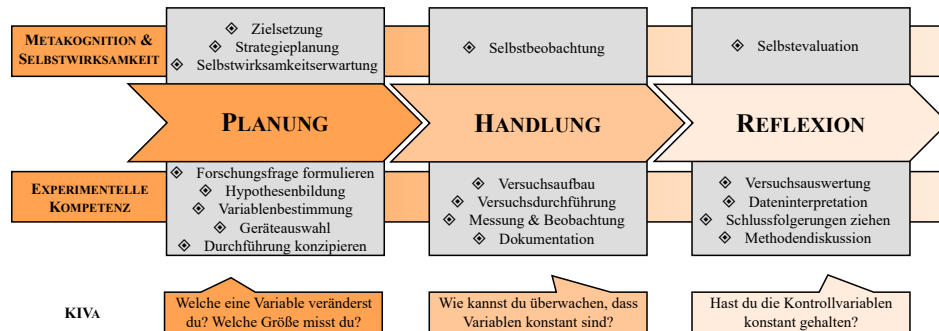


Abb. 1: Theoretisches Rahmenmodell: Dargestellt ist das Zusammenspiel von experimenteller Kompetenz, Prozessen des SRL und die Rolle eines KI-Chatbots bei der Unterstützung von Experimentierprozessen im Chemieunterricht (eigene Darstellung nach Zimmerman, 2000; Gut-Glanzmann & Mayer, 2018).

Darüber hinaus werden weitere Begleitvariablen berücksichtigt, die das Lernen mit KI-Chatbots prägen. Die kognitive Belastung beeinflusst, wie Lernende Informationen verarbeiten und Strategien anwenden. Lernprozesse sind dann besonders effektiv, wenn extrinsische Belastungen („extraneous cognitive load“) reduziert und lernbezogene Belastungen („germane cognitive load“) gefördert werden (Sweller et al., 2019). Die Technologieakzeptanz wird im Sinne des Technologieakzeptanzmodells (TAM, Davis, 1989) als Wahrnehmung der Nützlichkeit und Bedienfreundlichkeit einer Technologie verstanden. Lernende nehmen digitale Unterstützungen folglich eher an, wenn sie diese als nützlich, verständlich und lernförderlich erleben (Davis, 1989). Zusammen bilden diese Variablen ein differenziertes Verständnis der Bedingungen, unter denen KI-basiertes Feedback Lernprozesse fördern kann.

Forschungsfragen Aus dem theoretischen Rahmen ergeben sich vier Forschungsfragen, welche in der Studie empirisch adressiert werden. Es wird untersucht, **(1)** inwiefern ein KI-Chatbot die Anwendung der VKS im Chemieunterricht der Sekundarstufe I fördert – also ob Lernende seltener konfundierte Versuchspläne wählen und Variablen systematischer kontrollieren. Zudem wird analysiert, **(2)** wie der KI-Chatbot selbstregulierte Lernprozesse beeinflusst – darunter Zielsetzung, Strategieplanung, Selbstbeobachtung, Selbstevaluation sowie die Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren. Ferner wird aus kognitionspsychologischer Perspektive untersucht, **(3)** ob die Nutzung des KI-Chatbots die kognitive Belastung während des Erlernens und Anwendens der VKS reduziert oder erhöht. Ergänzend wird aus der Sicht der Lernenden erfasst, **(4)** wie das KI-gestützte Lernangebot subjektiv wahrgenommen und akzeptiert wird und ob sich die Bewertungen zwischen einer didaktisch spezifizierten Variante und einer generischen Version unterscheiden.

Forschungsdesign Die Studie folgt einem kontrollierten, randomisierten Interventionsdesign im Anfangsunterricht Chemie der Sekundarstufe I (vgl. Abb. 2). Insgesamt nahmen 181 Schüler:innen aus Rheinland-Pfalz teil, die zufällig einer von drei Untersuchungsgruppen

zugewiesen wurden. Der chemiedidaktische Kontext war für alle Gruppen identisch; die Variation lag ausschließlich in der Form der Unterstützungsleistung beim Experimentieren.

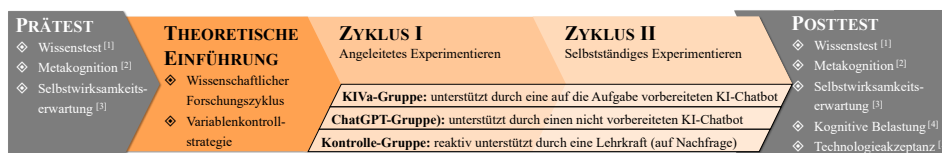


Abb. 2: Überblick über Studiendesign und Erhebungsinstrumente. Erhoben wurden experimentelle Kompetenz (adaptiert nach [1] Schwichow et al., 2016b), metakognitive Selbstregulation (adaptiert nach [2] Benick et al., 2021), Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren ([3] Schroedter & Körner, 2012), kognitive Belastung ([4] Klepsch et al., 2017) und Technologieakzeptanz ([5] adaptiert nach Schorr, 2020). Eigene Darstellung.

Zu Beginn erhielten alle Lernenden eine theoretische Einführung in den wissenschaftlichen Forschungszyklus und die VKS, da nicht davon ausgegangen werden konnte, dass diese Inhalte im Regelunterricht explizit behandelt wurden. Da auch die methodischen Vorerfahrungen im Anfangsunterricht noch begrenzt sind, wurde ein erster Experimentierzyklus stark angeleitet und es galt für alle drei Gruppen dieselbe Forschungsfrage zu beantworten: „Wie wirkt sich der Zerteilungsgrad von Brause auf die Lösegeschwindigkeit in Wasser aus?“. Zur Beantwortung dieser erhielten alle Gruppen identisches Material und ein strukturierendes Arbeitsblatt. Während die KIVA-Gruppe einen KI-Chatbot nutzte, der explizit für den Lernkontext konfiguriert wurde und die Lernenden über gezielte Impulse bei der Identifikation von Variablen und der Planung des Experiments begleitete, erhielt die ChatGPT-Gruppe einen KI-Chatbot, welcher didaktisch nicht spezifisch auf die Aufgabe vorbereitet wurde. Die Kontrollgruppe arbeitete eigenständig und erhielt durch eine Lehrkraft lediglich reaktive Unterstützung – also auf Nachfrage.

In einem zweiten Experimentierzyklus erfolgte der Übergang zu stärker selbstständigem Experimentieren, wobei die unterschiedlichen Unterstützungsformen nicht verändert wurden. Dabei untersuchten die Lernenden im gleichen Kontext selbst gewählte Forschungsfragen. Die hierbei entstandenen Protokolle wurden systematisch nach den vier Teilbereichen *Fragestellung*, *Hypothesenbildung*, *Versuchsplanung* und *Datenauswertung* kodiert und bewertet (angelehnt an Arnold, 2015).

Ausblick Die Auswertung erfolgt derzeit im Hinblick auf die Forschungsfragen zur Anwendung der VKS, metakognitiven Prozessen, kognitiver Belastung und der Technologieakzeptanz. Zudem wird untersucht, inwiefern die Lernenden die Experimentieraufgabe erfolgreich umsetzten und welche Unterschiede sich in der Qualität der Versuchsplanung und -durchführung zwischen den Gruppen zeigen.

Auf Basis dieser Befunde ist ein Re-Design von KIVA vorgesehen, in welchem adaptive Rückmeldungen und dialogische Strukturierungshinweise weiterentwickelt werden sollen, um die Lernprozesse gezielter zu unterstützen. Didaktisch sollen die Erkenntnisse dazu beitragen, Implikationen für die Gestaltung und Weiterentwicklung KI-gestützter Lernbegleitung beim Experimentieren im Chemieunterricht abzuleiten und zu prüfen, inwiefern solche Systeme Lehrkräfte entlasten sowie selbstregulative Lernprozesse fördern können.

Literatur

- Arnold, J. C., Kremer, K. & Mayer, J. (2014). Schülerexperimente verstehen – Welche Unterstützung benötigen sie bei Forschungsaufgaben? *International Journal of Science Education*, 36(16), 2719–2749.
- Arnold, J. C. (2015). *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen: Eine Interventionsstudie zur Förderung des wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe* (Bd. 10). Berlin: Logos Verlag.
- Benick, M., Dörrenbächer-Ulrich, L., Weißenfels, M. & Perels, F. (2021). Fostering self-regulated learning in primary school students: Can additional teacher training enhance the effectiveness of an intervention? *Psychology Learning & Teaching*, 20(3), 324–347.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098–1120.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340.
- Guan, R., Raković, M., Chen, G. & Gašević, D. (2024). How educational chatbots support self-regulated learning? A systematic review of the literature. *Education and Information Technologies*, 30(4), 4493–4518.
- Gut-Glanzmann, C. & Mayer, J. (2018). Experimentelle Kompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin/Heidelberg: Springer, 121–140.
- Holmes, W., Bialik, M. & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promise and implications for teaching and learning*. Boston, MA: Center for Curriculum Redesign.
- Klepsch, M., Schmitz, F. & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 8, 1997.
- KMK – Kultusministerkonferenz. (2024). *Weiterentwickelte Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. Beschluss vom 13.06.2024. Berlin: KMK.
- Lin, C. C., Huang, A. Y. Q. & Lu, O. H. T. (2023). Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: A systematic review. *Smart Learning Environments*, 10(1), 41.
- Schroedter, S. & Körner, H. (2012). Entwicklung eines Fragebogens zur Selbstwirksamkeitserwartung beim Experimentieren (SWE_EX). In S. Bernhold (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht*. Berlin/Münster: LIT-Verlag, 164–166.
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T. & Härtig, H. (2016a). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37–63.
- Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W. J. & Härtig, H. (2016b). The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of-variables strategy. *International Journal of Science Education*, 38(2), 216–237.
- 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.
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation*. San Diego: Academic Press, 13–39.