

Tilman Steinmetz¹
Peter Gerjets²
Andreas Lachner¹
Walther Paravicini¹
Jan-Philipp Burde¹

¹Eberhard Karls Universität Tübingen
²Leibniz-Institut für Wissensmedien Tübingen

Lernen mit KI in der E-Lehre: Ein KI-Tutor für das EPo-Konzept in der Sekundarstufe I

Einleitung

Für das Fach Physik gibt es zahlreiche etablierte Unterrichtskonzeptionen (vgl. Wilhelm et al., 2021), die jedoch die Heterogenität der Lernenden nicht explizit berücksichtigen und daher an ihre Grenzen stoßen. Ein Beispiel ist die Elektrizitätslehre, insbesondere das Thema einfacher Stromkreise. Obwohl mit dem EPo-Konzept (Elektrizitätslehre mit Potenzial, Burde & Wilhelm, 2021) eine effektive Unterrichtskonzeption vorliegt, bleibt die Heterogenität von Lernenden in der Konzeption bislang unberücksichtigt. Digitale Technologien, insbesondere Künstliche Intelligenz (KI), bieten hier neue Möglichkeiten, Lernprozesse individuell zu unterstützen. Das vorliegende Forschungsprojekt, das im Rahmen des Postdoc-Kollegs TEIFUN (Technologiegestützte Innovationen in fachspezifischen Unterrichtssettings) durchgeführt wird, zielt darauf ab, das EPo-Konzept um einen KI-gestützten Tutor zu erweitern und dessen Potenzial für personalisiertes Lernen in der Sekundarstufe I empirisch zu untersuchen. Eine besondere Stärke des Projekts liegt in der theoriegeleiteten Entwicklung sowohl der tutoriellen als auch der fachdidaktischen Vorgaben an den KI-Tutor. Da der Einsatz generativer KI im Bildungsbereich relativ neu ist, soll mit einer explorativen Vorstudie zunächst die Nutzung der Technologie durch Lernende und dessen Einfluss auf Lernprozesse erforscht werden.

Forschungsstand: KI-basiertes Tutoring

Tutoring gilt als besonders effektive Lehr- und Lernform, da es eine interaktive und personalisierte Lernumgebung schafft (Chi et al., 2001; vanLehn, 2011). So stellen Lernende in tutoriellen Umgebungen deutlich häufiger vertiefende Fragen als im traditionellen Unterricht, was als förderlich für ein vertieftes Verständnis von Fachwissen gilt (Graesser & Person, 1994). Kriterien für gutes menschliches Tutoring sind bereits gut untersucht. Beispielsweise wird nach Chi et al. (2001) Tutoring besonders erfolgreich, wenn der Tutor die Lernenden durch gezielte Unterstützung (Scaffolding) anregt, eigene Fragen und Überlegungen zu formulieren (schülerzentriertes Tutoring), anstatt auf Erklärungen zu fokussieren (tutorzentriertes Tutoring). Mit KI-basierten Tutoren ist es potenziell möglich, die Vorteile tutorieller Lernumgebungen einfacher und in größeren Lerngruppen umzusetzen, da sie von mehreren Lernenden gleichzeitig genutzt werden können (Skalierbarkeit) und sogar von zu Hause aus zugänglich sind. Aktuell entsteht eine neue Generation von KI-Tutoren, die auf Large Language Models (LLMs) basieren und so eine Interaktion in natürlicher Sprache ermöglichen. Dies erleichtert Lernenden den Zugang zu fachlichen Gesprächen, die besonders förderlich für eine kognitive Aktivierung sind (Graesser, 2016), denn anders als bei anderen interaktiven digitalen Lernumgebungen können Lernende in Dialogen ihre eigenen Fragen und Gedanken äußern und erhalten daraufhin individualisierte Rückmeldungen und Unterstützung. Darüber hinaus bieten generative KI-Systeme weitere Vorteile, die in Bildungsprozessen genutzt werden können (vgl. Tab. 1), etwa die Förderung von eher schüchternen Lernenden, die sich möglicherweise eher

Tabelle 1: Eigenschaften und Funktionen generativer KI (GAI) in der Bildung

Eigenschaften von GAI	Funktionen von Lernsystemen mit GAI
- <i>Generativ</i> (erzeugt dynamisch Texte, Aufgaben, Diagramme, Formeln etc.)	- <i>Tutor für zuhause</i>
- <i>Just-in-time</i> Antworten	- <i>Fachbezogenes Feedback</i>
- <i>Schneller Informationszugriff</i>	- <i>Scaffolding</i>
- <i>Ubiquitär</i> (überall verfügbar)	- <i>Dialogischer Lernpartner</i>
- <i>Natürliche Sprache</i> (ermöglicht intuitive Kommunikation)	- <i>Diagnostik und angepassten Aufgaben</i> (passgenaue Aufgabenerstellung für individuelles Lernen)
- <i>Skalierbar</i> (kann viele Lernende gleichzeitig betreuen)	- <i>Barrierearmer Lernraum</i> (niederschwelliger Zugang, insbesondere für schüchterne Lernende)
- <i>Adaptiv</i> (passt sich an das individuelle Lernniveau an)	- <i>Erstellung wissenschaftlicher Diagramme</i> (vereinfachte Analyse und Darstellung von digitalen Daten durch sprachbasierte Anweisung)
- <i>Flexibel</i> (vielfältige Anwendungsmöglichkeiten durch Engineered Prompts)	- <i>Schneller Informationszugriff</i> (z. B. für Rechercheaufgaben)
- <i>Interaktiv und dialogisch</i>	
- <i>Immersiv</i> (schafft eine tiefere Lernerfahrung)	

trauen, Fragen an einen KI-Tutor zu stellen (Inoferio et al., 2024). Inwiefern sich diese Eigenschaften KI-basierter Tutoren in realen Lernumgebungen auch wirksam umsetzen lassen, ist Gegenstand aktueller Forschung.

Der Einsatz generativer KI im Bildungsbereich befindet sich dabei noch in einer frühen Entwicklungsphase, in der Erfahrungen mit dem Verhalten der KI in Lehr- und Lernprozessen gesammelt werden müssen. In den letzten Jahren sind verschiedene KI-basierte Tutorsysteme entstanden, wie zum Beispiel Open Tutor (Nye et al., 2023), Khanmigo (Shetye, 2024) und LEAP (Steinert et al., 2023). Diese Systeme bieten vielversprechende Möglichkeiten für den Schulunterricht, sind jedoch auch mit technischen Herausforderungen und Problemen konfrontiert. Ein häufig genanntes Problem sind fachliche Ungenauigkeiten und sogenannte "Halluzinationen", bei denen die KI falsche oder erfundene Informationen generiert. Darüber hinaus wird oft unangemessenes oder übermäßig positives Feedback kritisiert, das den Lernprozess eher behindern als fördern kann (Küchemann et al., 2024). Die Forschung zu den Lerneffekten in KI-gestützten Lernumgebungen ist dementsprechend uneinheitlich. Während einige Studien positive Auswirkungen von KI-Tutoren auf den Lernerfolg zeigen (z. B. Kestin et al., 2024), weisen andere sogar auf negative Effekte hin (Bastani et al., 2024), wobei der Zugang zu einem KI-Tutor vertieftes Lernen eher verhindert.

Unser Ansatz: Ein theoriebasierter KI-Tutor für das EPo-Konzept

Zur Verbesserung der Qualität unseres KI-Tutors wird in diesem Projekt ein theoriebasierter Ansatz für die Entwicklung eines KI-Tutors zu einfachen Stromkreisen erfolgt. Dieser Ansatz basiert auf zwei zentralen Dimensionen: der tutoriellen und der fachdidaktischen Dimension des KI-Tutors.

In der tutoriellen Dimension wird der KI-Tutor gemäß dem Five-Step-Modell von Chi et al. (2001) entwickelt, das als bewährtes Modell für effektives menschliches Tutoring gilt. Dieses Modell beschreibt eine spezifische Abfolge im Lehr-Lern-Prozess: (1) Begrüßung, (2) eine initiale Frage, (3) korrigierendes Feedback ohne zusätzliche Erklärungen, (4) Scaffolding zur Unterstützung der Lernenden bei der Erarbeitung einer fachlich korrekten Antwort und

(5) eine Überprüfung des Verständnisses in Form einer Zusammenfassung des Gesagten, gegebenenfalls ergänzt durch eine Transferaufgabe.

Um die fachdidaktische Qualität zu gewährleisten, soll der KI-Tutor auf Basis eines fachdidaktisch erprobten Unterrichtskonzepts entwickelt werden. Während dies den Tutor stärker spezifiziert und weniger generisch macht, dient es der fachlichen und fachdidaktischen Qualitätssicherung. Ein geeignetes Beispiel hierfür ist das sogenannte EPo-Konzept (Burde & Wilhelm, 2021), das theoriegeleitet entwickelt und empirisch evaluiert wurde (Burde & Wilhelm, 2020). Die Motivation hinter dem EPo-Konzept besteht darin, dass viele Lernende auch nach der Sekundarstufe I oftmals über kein konzeptionelles Verständnis elektrischer Stromkreise verfügen. Als Kernproblem gilt dabei die unzureichende Vermittlung des Spannungskonzepts, welches häufig zugunsten des Strombegriffs vernachlässigt wird (Cohen et al., 1983). Im EPo-Konzept wird die elektrische Spannung als Potenzialdifferenz in den Mittelpunkt gestellt und als „elektrischer Druckunterschied“ eingeführt, um an bestehende Vorstellungen der Lernenden zum Luftdruck anzuknüpfen. Der elektrische Strom wird anschließend als „Elektronenströmung“ eingeführt.

Geplante Vorstudie: Angebot und Nutzung von Lernumgebungen mit KI-Tutor

Im Rahmen einer Vorstudie soll ein erster Prototyp des KI-Tutors zunächst mit Erstsemesterstudierenden der Physik erprobt werden. Ausgehend vom Angebots-Nutzungs-Modell (Helmke, 2012) steht die Frage im Mittelpunkt, wie Lernende den KI-Tutor bei der Bearbeitung von Aufgaben nutzen. Die explorative Studie greift den uneindeutigen Forschungsstand auf, wonach der Zugang zu KI-Tutoren nicht zwangsläufig zu höheren Lernerfolgen führt (z. B. Bastani et al., 2024). Daher wird untersucht, wie Lernende das Angebot des Tutors konkret nutzen – etwa, wie sie auf die Antworten des KI-Tutors reagieren, ob sie gezielt Fragen stellen und in welchem Maße dies zu einem besseren Verständnis führt. Zudem wird evaluiert, ob das Verhalten des KI-Tutors den tutoriellen und fachdidaktischen Vorgaben entspricht oder ob Anpassungen erforderlich sind. Methodisch werden hierzu Chatverläufe, die in realen Lernsituationen entstehen, inhaltlich analysiert. Um eine reale Lernsituation zu realisieren, können die teilnehmenden Studierenden den KI-Tutor in Rahmen dieser Studie zur Auffrischung ihres physikalischen Schulwissens nutzen und sich so auf ihr Fachstudium vorbereiten.

Ausblick: Weiterentwicklung des KI-Tutors und langfristige Ziele

Die Vorstudie soll die Grundlage für die Weiterentwicklung des KI-Tutors und die Entwicklung geeigneter Lernumgebungen schaffen. Langfristig wird angestrebt, den KI-Tutor in der Sekundarstufe I einzusetzen. Dafür soll spezifisches Unterrichtsmaterial entwickelt werden, das auf die Nutzung des KI-Tutors im Rahmen des EPo-Konzepts zugeschnitten ist. Besonders geeignet sind Lernaufgaben, die nicht nur auf Leistung, sondern auf die Entwicklung von Kompetenzen abzielen (Leisen, 2010), um das Potenzial von KI-Tutoren voll auszuschöpfen. Diese Aufgaben sollen den Lernenden ermöglichen, Problemstellungen eigenständig zu entdecken und eigene Vorstellungen zu entwickeln. Solche Lernaufgaben gelten als besonders effektiv für einen nachhaltigen Lernerfolg, sind jedoch ohne technische Unterstützung, wie sie ein KI-Tutor mit individuell angepassten Hilfestellungen anbieten kann, mit einem hohen Betreuungsaufwand verbunden. In einer größer angelegten empirischen Studie soll schließlich untersucht werden, inwiefern das Zusammenspiel zwischen dem KI-Tutor und dem fachdidaktischen EPo-Konzept mit Lernaufgaben Lernprozesse beeinflusst und das Verständnis der Schülerinnen und Schüler zu einfachen Stromkreisen verbessert.

Literatur

- Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakcı, Ö., & Mariman, R. (2024). Generative AI Can Harm Learning. Preprint. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4895486>
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2020). Results of a Design-Based-Research Study to Improve Students' Understanding of Simple Electric Circuits. In J. Guisasola & K. Zuza (Hrsg.), *Research and Innovation in Physics Education: Two Sides of the Same Coin* (S. 119–133). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51182-1_10
- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2021). Vom Luftdruck zur Spannung. *MNU Journal* 74, Nr. 1, 2021, S. 34 - 39
- Chi, M. T. H., Siler, S. A., Jeong, H., Yamauchi, T. & Hausmann, R. G. (2001). Learning from human tutoring. *Cognitive Science*, 25(4), 471–533. https://doi.org/10.1207/s15516709cog2504_1
- Cohen, R., Eylon, B. & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51(5), 407–412. <https://doi.org/10.1119/1.13226>
- Graesser, A. C. & Person, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal*, 31, 104–137
- Graesser, A. C. (2016). Conversations with AutoTutor Help Students Learn. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(1), 124–132. <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0086-4>
- Helmke, A. (2012): *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität*. Seelze: Klett Kallmeyer
- Inoferio, H. V., Espartero, M., Asiri, M., Damin, M., Chavez, J. V., Inoferio, H. V., Espartero, M., Asiri, M., Damin, M. & Chavez, J. V. (2024). Coping with math anxiety and lack of confidence through AI-assisted Learning. *Environment and Social Psychology*, 9(5). <https://doi.org/10.54517/esp.v9i5.2228>
- Kestin, G., Miller, K., Klales, A., Milbourne, T., & Ponti, G. (2024). AI Tutoring Outperforms Active Learning. Preprint. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4243877/v1>
- Küchemann, S., Steinert, S., Kuhn, J., Avila, K. & Ruzika, S. (2024). Large language models—Valuable tools that require a sensitive integration into teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 62(5), 400–402. <https://doi.org/10.1119/5.0212374>
- Leisen, J. (2010). Lernprozesse mithilfe von Lernaufgaben strukturieren: Informationen und Beispiele zu Lernaufgaben im kompetenzorientierten Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 21(117/118), S. 9-13.
- Nye, B. D., Mee, D. & Core, M. G. (2023). Generative Large Language Models for Dialog-Based Tutoring: An Early Consideration of Opportunities and Concerns. *LLM@ AIED*, 78–88.
- Shetye, S. (2024). An Evaluation of Khanmigo, a Generative AI Tool, as a Computer-Assisted Language Learning App. *Studies in Applied Linguistics and TESOL*, 24(1), Article 1. <https://doi.org/10.52214/salt.v24i1.12869>
- Steinert, S., Avila, K. E., Ruzika, S., Kuhn, J. & Küchemann, S. (2023). Harnessing Large Language Models to Enhance Self-Regulated Learning via Formative Feedback (arXiv:2311.13984). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2311.13984>
- VanLehn, K. (2011). The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems. *Educational Psychologist*, 46(4), 197–221. <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>
- Wilhelm, T., Schecker, H. & Hopf, M. (2021). *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht*. Berlin: Springer.