

Wie nutzen Schüler/innen künstliche Intelligenz für den (Chemie-)Unterricht?



FELIX PAWLAK – BENJAMIN PÖLLOTH – STEFAN SCHWARZER

Die Risiken und Möglichkeiten künstlicher Intelligenz (KI) – auch für die Schule – werden derzeit intensiv diskutiert. Dabei steht die Frage im Raum, inwiefern Schüler/innen bereits KI-basierte Anwendungen für die Schule im Allgemeinen und den Chemieunterricht im Besonderen nutzen. Es wurden 211 Schüler/innen unter anderem dazu befragt, wie häufig sie KI nutzen, welche Anwendungen sie verwenden und welche Aufgabenbereiche mit Hilfe von KI wie z.B. ChatGPT bearbeitet werden.

1 Neue Möglichkeiten durch KI und Fragestellungen für den Unterricht

Die mediale Aufmerksamkeit, die künstliche Intelligenz (KI) seit dem Erscheinen von ChatGPT im November 2022 erhält, ist immens. Ob in allgemeinen Nachrichtformaten, wie der Tagesschau (MANNWEILER, 2023) oder in Meldungen im jeweiligen Fachbereich, wie zum Beispiel in den „Nachrichten aus der Chemie“ (BOJDYS, 2023) oder im MNU-Journal (GRAF, 2023), KI und ChatGPT sind in den Medien und in alltäglichen Gesprächen omnipräsent.

Bereits der britische Logiker und Mathematiker ALAN TURING beschäftigte sich in den 1930er Jahren mit der Lösung komplexer Aufgaben durch Maschinen (MIRFENDRESKI, 2022). Als Folge dieser Überlegungen schuf er 1950 den bekannten TURING-Test als Messmethode für KI. Bei dem TURING-Test wird untersucht, ob Personen unterscheiden können, ob sie sich mit einem Menschen oder KI unterhalten. Hierzu führt die Person eine kurze, schriftliche Unterhaltung mit einer KI sowie mit einem Menschen. Sollte die KI nicht eindeutig zu identifizieren sein, gilt der Turing-Test als bestanden. Diesen Test kann ChatGPT durchaus bestehen (BIEVER, 2023). Mit einem eigenen „Mini-Turing-Test“ kann jede/r überprüfen, ob ein Chat mit ChatGPT wie ein Gespräch mit einer realen Person erscheinen kann.

Für die Beantwortung von Fragen liegt ChatGPT ein Sprachmodell (GPT-3.5 bzw. GPT-4) zu Grunde (OpenAI, 2023). Solche Sprachmodelle basieren zunehmend auf künstlichen neuronalen Netzen, die mit einer großen Menge an Daten in Form von Text gespeist werden (*Large Language Models*) und anhand dieser Daten maschinell lernen (genauer: *Deep Learning*) (BRANTS, POPAT, XU, OCH & DEAN, 2007; JURAFSKY & MARTIN, 2023).

Durch ChatGPT eröffnet sich somit ein breites Feld an Möglichkeiten, um zum Beispiel Texte schreiben zu lassen (Essays, Zusammenfassungen usw.) oder Websites zu programmieren. Was mit dieser freien Nutzung von ChatGPT einhergeht, sind die (kritischen) Fragen nach den Auswirkungen von KI auf die

Schule (SCHLEISS et al., 2023) und welchen Einfluss KI auf Prüfungsformate hat. In diesem Zusammenhang wird auch untersucht, wie ChatGPT selbst in Prüfungen abschließen würde. Hierbei antwortet ChatGPT beispielsweise deutlich schlechter (44% korrekte Antworten) als Studierende (durchschnittlich 66%) in einer Prüfung zur allgemeinen Chemie (CLARK, 2023). Außerdem wird diskutiert, inwiefern ChatGPT hilfreich für Schüler/innen bei der Lösung von Aufgaben des Chemieunterrichts ist und inwiefern das Lernen der Schüler/innen zukünftig beeinflusst wird (PAWLAK, 2023).

Während über potenzielle Chancen und Risiken anhand von ChatGPT schon vielfach diskutiert wird, sind die folgenden Fragen oft noch unklar: Wie sieht die Nutzung von KI durch die Schüler/innen derzeit überhaupt aus? Inwiefern nutzen Schüler/innen KI bereits für Ihre Hausaufgaben o.Ä.? Welche Anwendungen werden genutzt? Oder werden Texte für den Unterricht generiert?

Hierbei ist es oft schwierig von Schüler/inne/n ehrliche Antworten zu erhalten, da die Nutzung von KI gegen Vorgaben der Schule verstoßen kann, beziehungsweise die eigene Urheberschaft an Beiträgen zum Unterricht (z.B. Hausarbeit mit Präsentation) untergräbt.

Um erste Einblicke in die Nutzung von KI durch Schüler/innen zu gewinnen, wurden sie mit Hilfe einer Umfrage anonymisiert befragt, ob und wie KI für den Unterricht im Allgemeinen und für den Chemieunterricht im Speziellen genutzt wird.

2 Eine Umfrage zur Nutzung von KI

Das Ziel der Umfrage war es, die Nutzung von KI durch Schüler/innen zu untersuchen. Dabei wird zwischen der allgemeinen Nutzung für den Unterricht und der Nutzung für den Chemieunterricht differenziert, um überprüfen zu können, inwiefern sich hier Unterschiede zwischen den Fächern zeigen. Im Zuge der Umfrage soll den folgenden Untersuchungsfragen nachgegangen werden:

Künstliche Intelligenz (KI bzw. AI) im Chemieunterricht

Wir würden nun gerne erfahren, ob und wie du künstliche Intelligenz im Chemieunterricht nutzt.

* Wie häufig nutzt du künstliche Intelligenz für den Chemieunterricht?

i Bitte wähle eine der folgenden Antworten:

mehrmals in der Woche

mehrmals im Monat

seltener

nie

Abb. 1. Frage zur Nutzung von KI für den Chemieunterricht

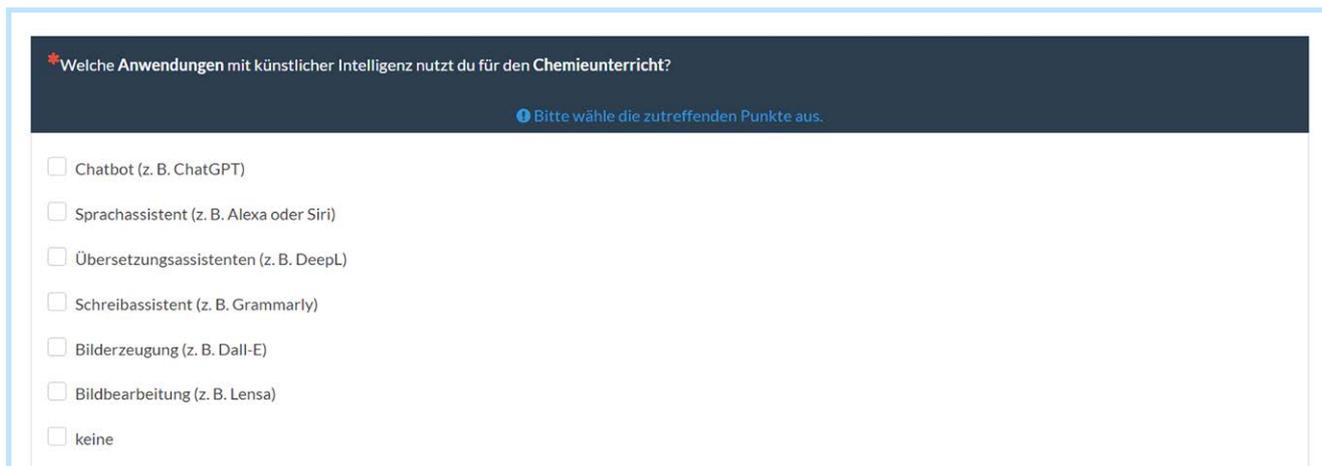


Abb. 2. Frage zur Nutzung der Anwendungen von KI für den Chemieunterricht

1. Wie nutzen Schüler/innen künstliche Intelligenz für die Schule im Allgemeinen?
 - a. Wie häufig nutzen Schüler/innen KI?
 - b. Welche KI-basierten Anwendungen nutzen Schüler/innen?
 - c. Welche Aufgaben des Unterrichts bearbeiten Schüler/innen mit Hilfe von KI?
2. Wie nutzen Schüler/innen künstliche Intelligenz für den Chemieunterricht im Speziellen?
 - a. Wie häufig nutzen Schüler/innen KI für den Chemieunterricht?
 - b. Welche KI-basierten Anwendungen nutzen Schüler/innen für Chemieunterricht?
 - c. Welche Aufgaben des Chemieunterrichts bearbeiten Schüler/innen mit Hilfe von KI?

Dafür wurden die Aspekte der Nutzung von KI im (Chemie-)Unterricht (Häufigkeit, Anwendungen und Aufgaben) als geschlossene Fragestellungen in einem Online-Fragebogen (LimeSurvey, Version 5.6.31) erhoben (DÖRING & BORTZ, 2016; TIEMANN & KÖRBS, 2014). Die Häufigkeit der Nutzung und die Einschätzung, wie hilfreich KI für den Chemieunterricht sei, wurde per Single-Choice erfasst (Abb. 1). Zudem wurde im Allgemeinen nach der Nutzung für die Schule (und nicht nach dem Unterricht) gefragt, um eine erkennbare Unterscheidung vom Chemieunterricht zur Schule zu erreichen.

Die Fragen zu den KI-basierten Anwendungen und den Aufgabenbereichen des (Chemie-)Unterrichts wurden per Multiple-Choice beantwortet (Abb. 2).

Außerdem wurden zwei Aufgabenstellungen per offenem Antwortformat beantwortet: „Nenne Beispiele für Fragen, die du mit Bezug zum Chemieunterricht schon von künstlicher Intelligenz beantworten lassen hast.“ und „Formuliere mind. eine mögliche Frage mit Bezug zum Chemieunterricht, für die deiner Meinung nach

ein Chatbot (z.B. ChatGPT) hilfreich sein könnte“. Der Fragebogen wurde mit Erfassung der demografischen Daten der Schüler/innen abgeschlossen.

Insgesamt wurden mit Hilfe des Online-Fragebogens $N_{\text{Schüler/innen}} = 211$ im Zeitraum Juni bis Juli 2023 befragt. Hierzu bearbeiteten die Schüler/innen während des Besuchs im TüChem-Lab (Schülerlabor, Didaktik der Chemie, Universität Tübingen) den Fragebogen. Die Stichprobe setzt sich aus Schüler/inne/n der achten bis zwölften Klasse zusammen, die größtenteils (82%) das Gymnasium besuchten.

3 Ergebnisse der Umfrage

3.1 Befunde

Es zeigt sich, dass viele Schüler/innen bereits Anwendungen mit KI nutzen. 75% der befragten Schüler/innen geben an, KI bereits für die Schule genutzt zu haben (Abb. 3). Davon nutzen 37% der Schüler/innen KI mehrmals im Monat oder häufiger.

Die Häufigkeit der Nutzung von KI im Chemieunterricht unterscheidet sich erkennbar von der allgemeinen Nutzung für die

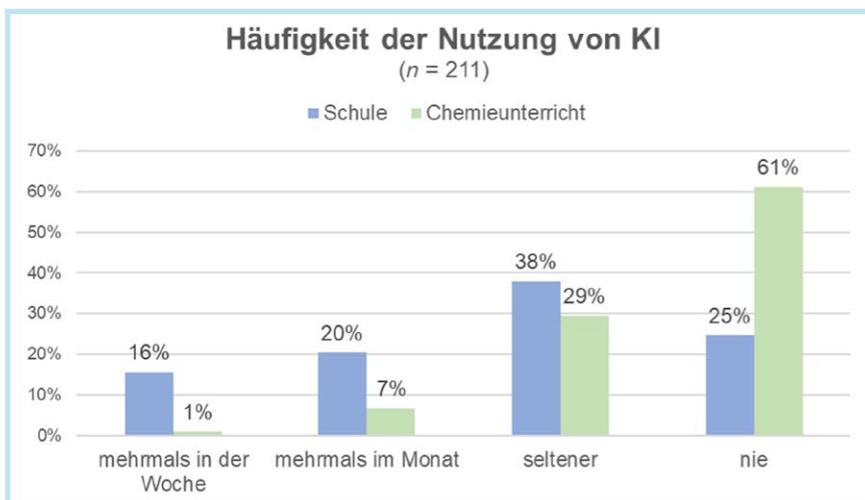


Abb. 3. Häufigkeit der Nutzung von KI im Allgemeinen und für den Chemieunterricht

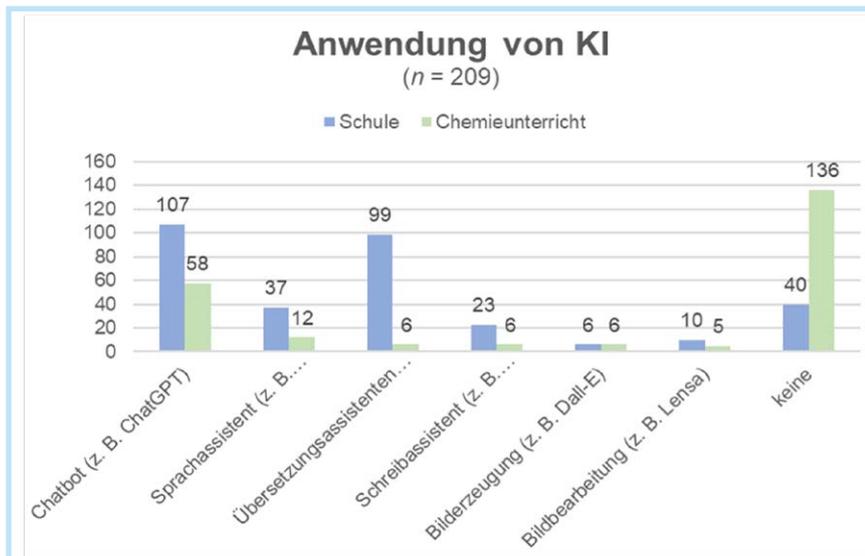


Abb. 4. Anwendungen von KI im Allgemeinen und für den Chemieunterricht (Mehrfachnennung möglich)

am häufigsten genutzten KI-Anwendungen sind (27%), werden sie für Chemie deutlich seltener genutzt als allgemein im Unterricht. Alle anderen Anwendungen umfassen in der Summe nur 17% (Mehrfachnennungen sind möglich).

Bei einem Blick auf die Aufgaben, die die Schüler/innen mit Hilfe von KI lösen, zeigt sich, dass KI im Chemieunterricht hauptsächlich für die Recherche (23%) und für Hausaufgaben (20%) genutzt wird (Abb. 5).

Für die Schule im Allgemeinen geben die Schüler/innen mit einer ähnlichen Häufigkeit an KI zu nutzen, um Hausaufgaben zu erledigen (42%), Referate zu erarbeiten (39%), Unterrichtsthemen zu recherchieren (39%) und Texte zu schreiben (38%). Unter „Sonstiges“ für die Schule werden Übersetzung (9 Nennungen) und Vokabeln (3 Nennungen) am häufigsten genannt. Diese Nennungen stehen im Einklang mit der häufigen Nutzung von Sprach-, Übersetzungs- und Schreibassistenten für die Schule (Abb. 4).

Um ein noch klareres Bild über die Nutzung von KI für den Chemieunterricht zu gewinnen, wurden die Schüler/innen gebeten, Aufgaben zu nennen, die sie schon an KI gerichtet hatten. Hier wurden 39 inhaltlich sinnvolle Antworten (Ausschluss von Antworten wie „keine“ o. Ä.) gegeben. Diese Antworten werden inhaltlich nach ihrem Anforderungsniveau und Aufgabenstellung geordnet, zur Illustration sind jeweils originale Schüler/innenfragen angegeben:

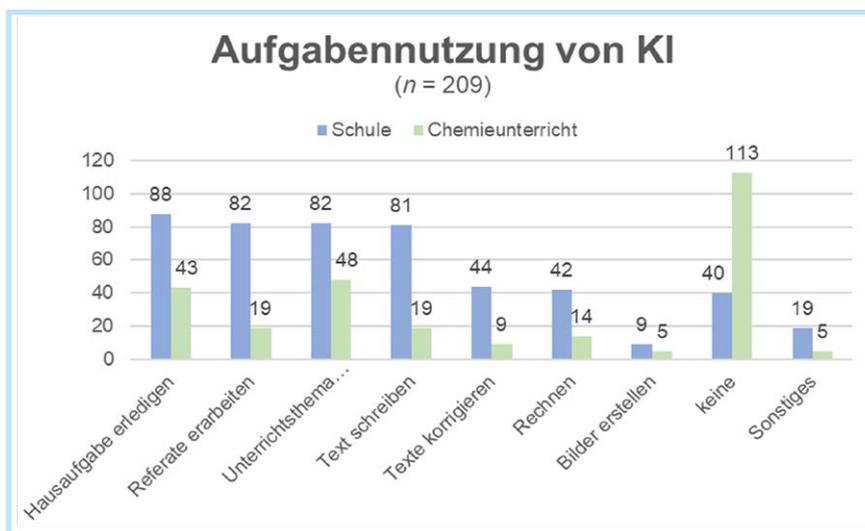


Abb. 5. Aufgabennutzung von KI im Allgemeinen und für den Chemieunterricht (Mehrfachnennung möglich)

Schule. Immerhin 38% der Schüler/innen nutzen bereits KI für den Chemieunterricht. Auch wenn die Eingrenzung der Fragestellung auf ein Fach (Chemie) zwangsweise den Anteil der KI-Nutzer/innen reduziert, sind die Unterschiede in Abbildung 3 dennoch auffällig. Fast zwei Drittel (62%) der Schüler/innen geben an, KI noch nie für den Chemieunterricht genutzt zu haben – für die Schule im Allgemeinen gibt dies nur ein Viertel an.

Bei einem Blick auf die Art der Anwendungen lassen sich potenzielle Gründe für die großen Unterschiede erkennen. Generell werden Chatbots wie ChatGPT zwar am häufigsten genutzt (51%), aber auch Sprach-, Übersetzungs- und Schreibassistenten finden eine breite Anwendung (Abb. 4).

Im Chemieunterricht spielen die Sprach-, Übersetzungs- und Schreibassistenten (verständlicherweise) eine untergeordnete Rolle. Obwohl Chatbots im Chemieunterricht die mit Abstand

- Ein Drittel (35%) der Aufgaben fragten Fachwissen ab, wie beispielsweise:
 - „Was sind Alkane?“
 - „Stof[f]eigenschaften von Eisen“
- Ein Fünftel (20%) der Aufgaben forderten von der KI die Anwendung von Wissen:
 - „Erstelle mir eine Redox-Gleichung von...“
- Ein weiteres Drittel (35%) der Aufgaben zielt auf sprachbasierte Erklärungen ab:
 - „Erkläre stöch[i]ometrisches Rechnen“.
 - „Was passiert, wenn man Wasser in heißes [...] Öl gibt“
- Lediglich vier Schüler/innen in der gesamten Stichprobe geben an, dass sie KI für die Generierung von Texten, Referaten o. Ä. genutzt hatten. Alle diese Aufgaben sind sehr allgemein gehalten und an kein spezifisches Problem angelehnt:
 - „Schreibe einen Text für...“

Anschließend wurden alle Schüler/innen der Stichprobe gebeten, potenzielle Fragen mit Bezug zum Chemieunterricht zu formulieren, für die ein Chatbot hilfreich sein könnte. 160 Schüler/innen gaben hierfür eine geeignete Antwort (ohne leere Antworten, „keine Ahnung“, „Nix“, reine Nennung von Begriffen etc.). Diese Aufgaben lassen sich wie folgt ordnen und zusammenfassen:

- Ein Fünftel der vorgeschlagenen Aufgaben (22 %) können dem Bereich „Faktenwissen“ zugeordnet werden:
 - „Was ist die Schmelztemperatur von Silber?“
 - „Definiere den Begriff chemische Reaktion.“
- Bei einem weiteren Fünftel (21 %) handelt es sich um Anwendungsaufgaben:
 - „Stelle eine Reaktionsgleichung auf zu einem Element.“
- Knapp die Hälfte aller Fragen (48 %) verlangen eine sprachbasierte Erklärung:
 - „Welche Reaktionen sind am häufigsten im Gift? [sic]“
 - „Fasse mir den Aufbau von Silber Atomen kurz und verständlich zusammen. [sic]“
 - „Wie kann man Chemiewissen im Alltag verwenden?“
 - „Inwiefern hat Chemie mit KI zu tun[?]“
- 14 Schüler/innen (9 % der vorgeschlagenen Aufgaben) forderten die Generierung von Text:
 - „Schreibe einen Aufsatz über Kupfer.“
 - „Schreibe einen Text über die Reaktion von Eisen mit Schwefel.“
 - „Formuliere mind. eine mögliche Frage mit Bezug zum Chemieunterricht, für die deiner Meinung nach ein Chatbot (z. B. ChatGPT) hilfreich sein könnte.“

Abschließend wurden die Schüler/innen gefragt, wie hilfreich sie KI für den Chemieunterricht einschätzen (Abb. 6).

3.2 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass Schüler/innen künstliche Intelligenz bereits für die Schule nutzen – im Chemieunterricht allerdings deutlich seltener als im Allgemeinen. Dies könnte zum einen auf eine beschränktere Auswahl von KI-Anwendungen

(Ausschluss von Übersetzungsassistenten) oder auf Spezifika der Chemie (Formel- und Symbolsprache, Schwierigkeiten bei der Eingabe) zurückgeführt werden. Hierzu könnten weitere Befragungen, beispielsweise zu den Gründen der Nicht-Nutzung, aufschlussreich sein. Außerdem sei bei der Skalierung zur Häufigkeit die Limitation anzuführen, dass die Antwortmöglichkeiten „mehrmals in der Woche“ und „mehrmals im Monat“ nicht eindeutig sind und sich durchaus überschneiden.

Die Auswertung der offenen Fragen zeigt, dass viele Schüler/innen bei der Nutzung von Chatbots häufig nicht deren spezifische Vorteile nutzen. So sind Chatbots gerade für die Abfrage von Fachwissen weniger geeignet als klassische Suchmaschinen oder aufgearbeitete und informative Webseiten, wie z.B. Wikipedia oder Studyflix. Im Gegensatz zu vielen Webseiten erlaubt es ChatGPT nur sehr bedingt, die Quellen bezüglich ihrer Qualität zu prüfen. Beispielsweise gibt ChatGPT die Quellen meist nur auf Nachfrage an und erfindet diese teilweise sogar (KUBACKA, 2023). Auch während der Recherche der Autoren wurden mehrfach von ChatGPT wissenschaftliche Quellen (inklusive Autoren, Titel, Zeitschrift und Jahr) fingiert, die tatsächlich nicht existieren. So zeigt das untenstehende Beispiel, wie ChatGPT ausgehend von einer Schülerfrage wissenschaftlich klingende Quellen erfindet (Abb. 7).

Während Schüler/innen ChatGPT also durchaus für Aufgaben nutzen, für die andere Online-Ressourcen besser geeignet sind, werden die originären Fähigkeiten von ChatGPT (z.B. kreative Textgenerierung oder sprachbasierte Erklärungen) bisher eher selten eingesetzt. Dies mag auch an fachspezifischen Charakteristika, wie der Formelsprache, liegen. Dennoch zeigen die zahlreichen Vorschläge für potenzielle Fragen, dass einem Großteil der Schüler/innen die besonderen Fähigkeiten von ChatGPT durchaus bewusst sind und sie KI als hilfreich für den Chemieunterricht einschätzen.

Im Rahmen der erhobenen Daten lässt sich allerdings nicht feststellen, weshalb die Schüler/innen in der Stichprobe solche Aufgaben bisher nur selten an ChatGPT gestellt haben.

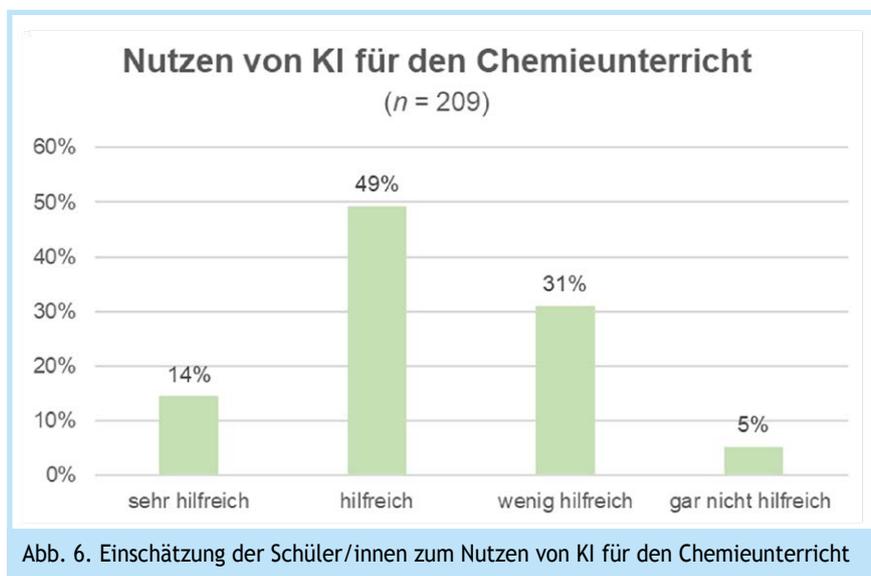


Abb. 6. Einschätzung der Schüler/innen zum Nutzen von KI für den Chemieunterricht

4 Fazit und Implikationen für die Praxis

Insgesamt zeigt sich, dass Schüler/innen KI im Allgemeinen für die Schule bereits sehr regelmäßig nutzen. Es bleibt außerdem festzuhalten, dass die Schüler/innen zumindest derzeit und in der vorliegenden Stichprobe Chatbots sehr selten umfangreich und zielführend für den Chemieunterricht nutzen. Schüler/innen scheinen dagegen momentan KI eher für spezifische Aufgaben (z.B. für Übersetzungen, Textgenerierung) oder sporadisch zum „Ausprobieren“ einzusetzen. Es ist aber noch unabsehbar, wie sich die Situation bei einer zukünftigen Etablierung von KI ver-

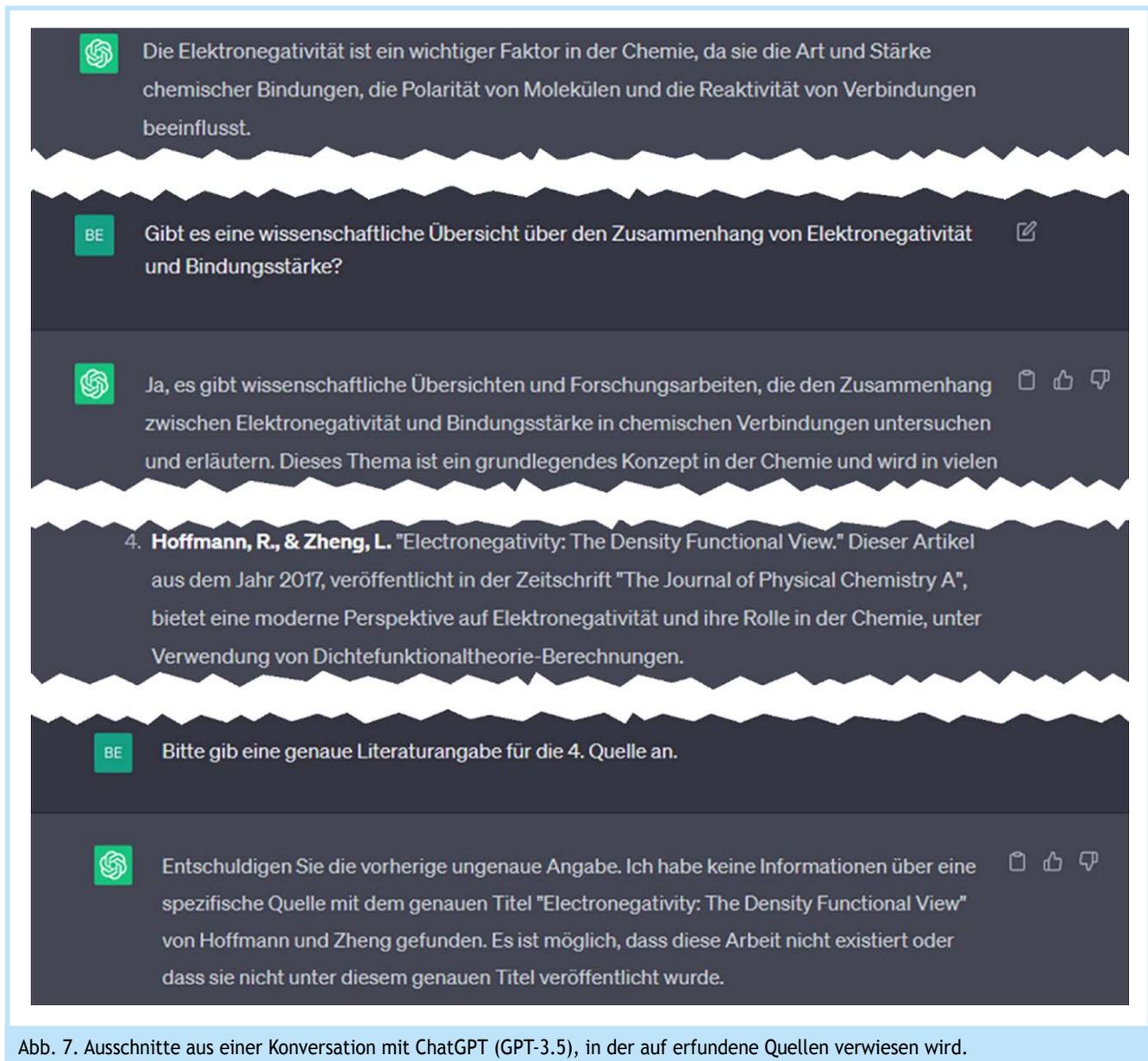


Abb. 7. Ausschnitte aus einer Konversation mit ChatGPT (GPT-3.5), in der auf erfundene Quellen verwiesen wird.

ändern wird. Generell kommen aktuell fast täglich neue Anwendungen hinzu. Ob KI-gestützte Bilderarbeitung in Adobe Photoshop, Vorschläge für Präsentationsfolien bei Microsoft PowerPoint oder Schreibassistenten bei Grammarly – die Liste ließe sich beliebig erweitern.

Nach dem großen Aufsehen und der Hochphase durch ChatGPT ist jedoch durchaus auch mit Ernüchterungen und Rückschlägen zu rechnen, da beispielsweise auch die Leistungsfähigkeit (zumindest temporär) abnimmt. So konnten CHEN et al. (2023) zeigen, dass vom März 2023 zu Juni 2023 die Anzahl korrekter Antwort für die Frage, ob 17077 eine Primzahl ist von 84 % auf 51,1 % abnahm.

Aufgabenstellungen zur Bildgenerierung mit Hilfe von Dall-E zeigen zudem große Schwierigkeiten der Formelsprache (symbolische Ebene nach JOHNSTONE, 1991) bei der Darstellung von Strukturformeln (Abb. 8).

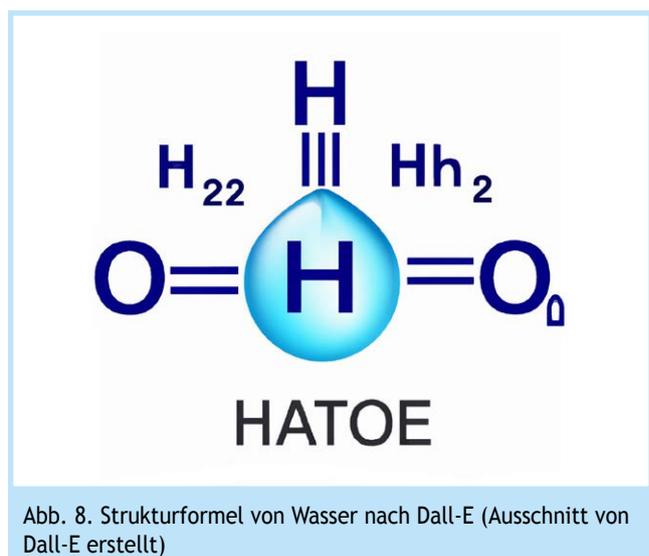


Abb. 8. Strukturformel von Wasser nach Dall-E (Ausschnitt von Dall-E erstellt)

Die genannten Herausforderungen bezüglich der Qualität von Antworten (u.a. Bild und Text) stellen hervorragende Lehr-Lern-Settings zur Förderung der Bewertungskompetenz dar. ChatGPT-genierte Antworten können von Schüler/innen z.B. in Wiederholungen, Prüfungen oder anderen Situationen bewertet und korrigiert werden. So soll auch am chemischen Inhalt die Medienbildung adressiert werden (KM BW, 2022). Hierbei können Schüler/innen die Schwächen und Nachteile künstlicher Intelligenz erarbeiten. In diesem Zusammenhang sollte auch der unwissenschaftliche Umgang von ChatGPT mit Quellen diskutiert werden. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung von KI sollte es im (Chemie-)Unterricht das Ziel sein, die neuen Entwicklungen kritisch aufzugreifen und zu reflektieren, um naturwissenschaftliche mit digitaler Grundbildung zu vernetzen.

Literatur

BIEVER, C. (2023). ChatGPT broke the Turing test – the race is on for new ways to assess AI. *Nature*, 619(7971), 686-689.

BOJDYS, M. (2023). Publizieren und KI: Vom Niedergang der akademischen Groschenromane. *Nachrichten aus der Chemie*, 71 (7-8), 10-14.

BRANTS, T., POPAT, A. C., XU, P., OCH, F. J. & DEAN, J. (2007). Large language models in machine translation. *Proceedings of the 2007 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning*, 858-867.

CHEN, L., ZAHARIA, M. & ZOU, J. (2023). How is ChatGPT’s behavior changing over time? *arXiv*. <http://arxiv.org/abs/2307.09009> (15.10.2023)

CLARK, T. M. (2023). Investigating the Use of an Artificial Intelligence Chatbot with General Chemistry Exam Questions. *Journal of Chemical Education*, 100(5), 1905-1916. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00027>

DÖRING, N. & BORTZ, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin & Heidelberg: Springer.

GRAF, D. (2023). Ist ChatGPT ein Fabulant? *MNU-Journal*, 76(2), 92-93.

JOHNSTONE, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>

JURAFSKY, D. & MARTIN, J. H. (2023). *Speech and Language Processing*. <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/3.pdf> (15.10.2023)

KUBACKA, T. (2023). *Twitter-Tweet zum Thema „ChatGPT about the topic I wrote my PhD about“*. https://twitter.com/paniterka_ch/status/1599893718214901760 (15.10.2023)

MANNWEILER, A. (2023). *Künstliche Intelligenz: Was kann der Chatbot ChatGPT?* tagesschau.de. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/technologie/chatgpt-microsoft-ki-texte-101.html> (10.10.2023)

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (KM BW) (2022). *Bildungsplan des Gymnasiums. Chemie – Überarbeitete Fassung vom 25. März 2022*. Neckar-Verlag. <https://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/LS/BP2016BW/ALLG/GYM/CH.V2> (15.10.2023)

MIRFENDRESKI, A. (2022). *Künstliche Intelligenz für die Entwicklung von Antrieben: Historie, Arbeitsprozesse, Konzepte, Methoden und Anwendungsbeispiele*. Berlin & Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63495-0>

OpenAI (2022). *ChatGPT: Optimizing Language Models for Dialogue*. <https://openai.com/blog/chatgpt/> (15.10.2023)

PAWLAK, F. (2023). *ChatGPT - ein Paradigmenwechsel für das Lehren und Lernen im Chemieunterricht?! CHEMKON*. <https://doi.org/10.1002/ckon.202300010>

SCHLEISS, J., MAH, D.-K., BÖHME, K., FISCHER, D., MESENHÖLLER, J., PAASSEN, B., SCHORK, S., & SCHRUMPF, J. (2023). *Künstliche Intelligenz in der Bildung. Drei Zukunftsszenarien und fünf Handlungsfelder*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7702620>

TIEMANN, R. & KÖRBS, C. (2014). Die Fragebogenmethode, ein Klassiker der empirischen didaktischen Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 283-295). Berlin & Heidelberg : Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0_23

FELIX PAWLAK, Felix.Pawlak@uni-tuebingen.de, ist Postdoktorand in der Abteilung der Didaktik der Chemie an der Eberhard Karls Universität Tübingen, Auf der Morgenstelle 18, 72076 Tübingen.

BENJAMIN PÖLLOTH, Benjamin.Poelloth@uni-tuebingen.de, ist Postdoktorand in der Didaktik der Chemie an der Eberhard Karls Universität Tübingen.

STEFAN SCHWARZER, Stefan.Schwarzer@uni-tuebingen.de, ist Professor für Chemiedidaktik an der Eberhard Karls Universität Tübingen.

Unterrichts- Ideen finden.

SUCHE IM ARCHIV DES MNU-JOURNALS

MNU journal

Das Archiv umfasst die im MNU-Journal erschienenen Artikel der Jahrgänge 1992 bis 2021. Bei Angabe mehrerer Suchbegriffe werden alle Ergebnisse angezeigt, die mindestens einen dieser Begriffe enthalten.

Suchbegriffe:

Suchen

2500 Artikel des MNU-Journals
wollen entdeckt werden.

Heft	Titel	Fach	Stufe
2005-02	Geometrisches Konstruieren – Unterschiedliche Zugänge am Beispiel eines gotischen Kirchenfensters erfahrbar machen	Mathematik	
2010-03	Bilder aus ganzzahligen Funktionen	Mathematik	
2013-06	Erkennen heißt Machen – Freilandversuche im Physikunterricht	Physik	
2017-02	Experimentieren mit Hexaflaxonen – Strukturen explorieren, Vermutungen üben		

www.mnu-journal.de