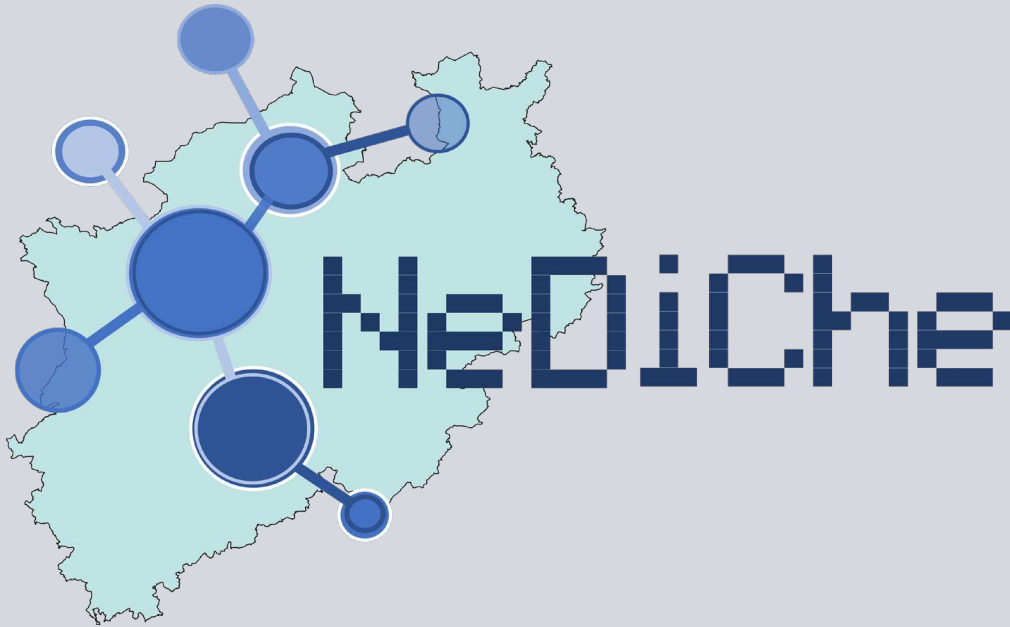


Netzwerk Digitalisierter Chemieunterricht



Sammelband NeDiChe- Treff 2024

Claudia Bohrmann-Linde
Nico Meuter
Diana Zeller
(Hrsg.)

DOI: <https://doi.org/10.25926/BUW/0-991>

URN: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:468-2-6770>

© Didaktik der Chemie Wuppertal, 2026

www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de

Satz: Anna Strehnisch

Dieses Werk steht – soweit nicht anders angegeben – unter der Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz (CC BY-SA 4.0) als Open-Access-Publikation zur Verfügung. Je nach den Bedingungen der jeweiligen Lizenzen können unterschiedliche Nutzungsrechte gelten, die von den Nutzer*innen berücksichtigt werden müssen, um mögliche rechtliche Verstöße zu vermeiden.

Hinweise:

Wir möchten darauf hinweisen, dass für die Inhalte der Beiträge in diesem Sammelwerk die Autor*innen vollständig verantwortlich sind. Die Herausgeber*innen sowie die fördernden Institutionen übernehmen keine Haftung für den Inhalt der Beiträge und haften nicht für mögliche rechtliche Verstöße.

Ebenso liegen bei allen in diesem Sammelwerk zu findenden Experimenten die Informationen in der Verantwortung der jeweiligen Autor*innen. Die Herausgeber*innen und die fördernden Institutionen übernehmen keine Haftung für Folgen, die auf beschriebene Experimente zurückzuführen sind. Vor der Durchführung eines Experiments muss eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt und die Lernenden auf mögliche Gefahrenquellen hingewiesen werden. Dabei sind die geltenden Richtlinien zur Unfallvermeidung beim Experimentieren zu beachten.

Claudia Bohrmann-Linde
Nico Meuter
Diana Zeller
(Hrsg.)

Netzwerk Digitalisierter Chemieunterricht - Sammelband NeDiChe-Treff 2024

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
Fleischer, T. Digital unterstütztes Experimentieren im Chemieunterricht - Digitale Messsensoren und ihr Mehrwert	8
Semmler, L. und Hansel, M. Flucht aus dem Lernalltag? Potenziale von Escape Games in der Lehre	16
Frevert, M. Potenziale für das Lehren und Lernen mit Virtual Reality in der Chemie	27
Burdinski, D. Redoxanne - Ein regelbasierter No-Code-Chatbot unterstützt beim verständnisgelei- teten Ausgleichen von Redoxgleichungen nach der Halbreaktionsmethode	34

Vorwort zum Jahresband 2024

Auch im Jahr 2024 hat das Netzwerk digitalisierter Chemieunterricht an insgesamt acht Terminen „NeDiChe-Treff“ jeweils montags per Zoom verschiedene Fragen des digitalisierten Chemieunterrichts diskutiert und es wurden vielfältige Impulse durch unsere Referierenden erhalten. Zu allen Terminen finden Sie Informationen bzw. Materialien auf der NeDiChe-Homepage unter: <https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/fuer-lehrkraefte/nediche/vergangene-vortraege-und-materialien/>

Darüber hinaus haben sich einige Referierende bereitgefunden, ihre Beiträge zu verschriftlichen. Diese Beiträge finden Sie im hier vorliegenden Sammelband.

Die Digitalisierung findet über sehr verschiedene Kanäle Einzug in den Chemieunterricht, die aufgrund der schnellen Weiterentwicklungen immer neue Abzweigungen und Fortsetzungen finden. So haben wir uns während der NeDiChe-Treffs im Jahr 2024 mit Themen wie Künstlicher Intelligenz, z.B. in Zusammenhang mit dem no-coding Chatbot „redoxanne“, mit dem digital unterstützten Experimentieren unter Nutzung von Messsensoren, mit Gamification anhand von Educational Escape Games oder dem Einsatz von VR zu Themen wie VSEPR-Modell, Atombau oder Atomorbitale befasst. Die Zusammenschau macht die Vielfalt der NeDiChe-Treffs deutlich. Allen Autor*innen sei an dieser Stelle sehr herzlich für die Beiträge und das Engagement gedankt!

Mit diesem Band liegt der letzte unserer NeDiChe-Bände vor, die wir zuletzt aus Projektmitteln des ComeMINT-Projekts haben realisieren können. Die gute Nachricht ist aber, dass wir auch nach Projektende weiterhin unseren NeDiChe-Treff fortführen. Sie können sich für unseren Newsletter anmelden unter <https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/fuer-lehrkraefte/nediche/> und werden stets über neue Termine informiert. Ebenfalls bleibt es dabei, dass die Folien und Materialien vergangener NeDiChe-Treffs über den o.g. Link zugänglich gemacht werden, wenn die Referierenden dies gestatten.

Wir bleiben also gerne mit Ihnen in Kontakt und freuen uns, Sie auch für unsere weiteren Lehrkräftefortbildungsangebote gewinnen zu können, für die Sie sich unter folgendem Link anmelden können: <https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/fuer-lehrkraefte/lehrkraeftefortbildungen/>
Wir freuen uns, Sie auch in diesem Kontext begrüßen zu dürfen.

Das Herausgebenden-Team

Fleischer, T.

Digital unterstütztes Experimentieren im Chemieunterricht - Digitale Messsensoren und ihr Mehrwert

Digitale Medien bieten eine gute Möglichkeit, um aktives und konstruktivistisches Lernen zu fördern. Daher sollten Lehrer*innen und Schüler*innen den Einsatz und Umgang mit digitalen Medien beherrschen. Deren sinnvolle Integration in den Unterricht gewinnt somit zunehmend an Bedeutung. Schulen und Universitäten sollten deshalb grundlegende Kenntnisse zur Mediennutzung vermitteln [1, 2]. Dabei schreiben Zumbach et al. [3] dem zielgerichteten Einsatz digitaler Medien, beispielsweise durch das eigenständige Erstellen von Lernvideos oder Podcasts, im Unterricht eine lernförderliche Wirkung zu. Das heißt, dass diese nicht nur als Präsentationsmedien eingesetzt werden sollten, bei denen die Lernenden weitgehend passiv bleiben. Allerdings zeigen Studien, dass Lehrkräfte digitale Medien im Unterricht häufig nutzen, um Inhalte zu präsentieren, und dass Schüler*innen sie selbst wenig im Sinne eines konstruktivistischen Lernens nutzen und eher geringere Vorerfahrungen in Bezug auf einen fachspezifischen Einsatz erworben wurden [4, 5, 6]. Dabei ist an dieser Stelle auch festzuhalten, dass sich der Einsatz von digitalen Medien sowohl im Unterricht als auch im Lehramtsstudium in den letzten Jahren positiv entwickelt hat, was auch die fächerübergreifende internationale Schulleistungsstudie ICILS 2023 (International Computer and Information Literacy Study) zeigt [4]. In dieser Studie geben ca. 70 % der Lehrkräfte in Deutschland an, digitale Medien in ihrem Unterricht täglich zu integrieren (ICILS 2018 ca. 23 %). Bezogen auf die Nutzungshäufigkeit liegt Deutschland damit signifikant über dem internationalen Durchschnitt. Darüber hinaus sehen ca. 69-77 % der Lehrkräfte die Potentiale von digitalen Medien, um z.B. die Individualisierung des Lernens zu unterstützen oder ein größeres Interesse hinsichtlich des Lernens zu

entwickeln (entspricht den Ergebnissen von ICILS 2018). Im Rahmen der Lehrkräfteausbildung geben ungefähr ein Drittel (ICILS 2018 ca. 26 %) der Lehrkräfte an gelernt zu haben, wie sie digitale Medien sinnvoll in ihrem Fachunterricht einsetzen können. Im internationalen Vergleich ist dies eher gering. Auf den zweiten Blick zeigen die Daten diesbezüglich aber auch eine positive Entwicklung, da ca. 55 % der Lehrkräfte bis 35 Jahre angegeben haben, fachspezifische Ansätze zur sinnvollen Mediennutzung im Rahmen ihrer Ausbildung erlernt zu haben (Lehrkräfte von 50-59 Jahren nur zu ca. 15 %). Dies zeigt eine deutlich positive Entwicklung im Rahmen der Lehramtsausbildung seit 2018 [4].

In der Chemiedidaktik und somit auch im Chemieunterricht besteht ein großes Zukunftspotential für den Einsatz digitaler Medien. Insbesondere digitale Messsensoren in Kombination mit einem Tablet können sinnvoll in den Unterricht integriert werden [7]. Durch die Möglichkeit, digitale Messsensoren und Realexperimente miteinander zu verbinden, können Schüler*innen im Unterricht selbstständig arbeiten und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen kennenlernen. Auch die Lehramtsausbildung bietet einen geeigneten Ansatzpunkt, um das Arbeiten mit digitalen Medien, wie den digitalen Sensoren, zukünftigen Lehrkräften zu vermitteln, um deren Einsatz im naturwissenschaftlichen bzw. Chemieunterricht zu implementieren und zu etablieren [8, 9]. Wie bereits dargelegt, wird das Potenzial digitaler Medien und damit einhergehend digitaler Messsensoren im Chemieunterricht jedoch noch nicht ausreichend ausgeschöpft, da das aktive und eigenständige Arbeiten mit diesen Medien noch nicht ausreichend stattfindet [4, 6, 7].

Forschendes Lernen im Chemieunterricht

Die Integration des selbstständigen und aktiven Arbeitens mit digitalen Medien, wie den digitalen Messsensoren, in den Chemieunterricht ist gut möglich und kann über das forschende Lernen erfolgen. In der konstruktivistischen Tradition hat das forschende Lernen als weithin akzeptierter Lehr- und Lernansatz für den naturwissenschaftlichen Unterricht eine zentrale Stellung [2, 10]. Im Mittelpunkt dieses Ansatzes steht das selbstgesteuerte Experimentieren der Lernenden. Das Experiment nimmt dabei als zentrale naturwissenschaftliche Erkenntnismethode einen hohen Stellenwert ein [z.B. 10, 11]. Die experimentelle Kompetenz umfasst hierbei sowohl kognitive als auch haptische (manuelle) Fähigkeiten [12], wie in Abbildung 1 ersichtlich.

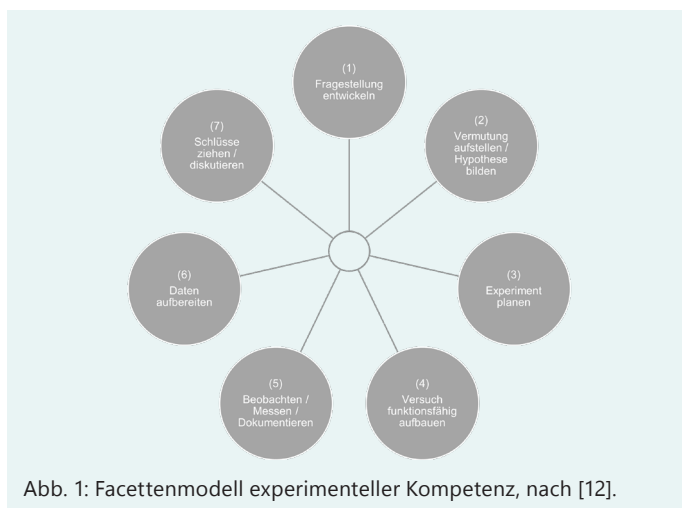


Abb. 1: Facettenmodell experimenteller Kompetenz, nach [12].

Untersuchungen zum forschenden Lernen zeigen jedoch noch uneinheitliche Resultate in Bezug auf die Experimentierkompetenzen der Lernenden. Gerade bei leistungsschwächeren Schüler*innen garantiert das forschende Lernen keinen Lernerfolg, da es aufgrund der durchaus vorhandenen Komplexität schnell zu einer Überforderung der Lernenden kommen kann [13, 14]. Damit möglichst alle Schüler*innen einen Lernerfolg verzeichnen können, ist zusätzliche Unterstützung für die Lernenden erforderlich. Zur Unterstützung bietet sich die Kombination des forschenden Lernens mit digitalen Messsensoren, besonders für den Chemieunterricht, an.

Diese Sensoren können beim Experimentieren eingesetzt werden, um zum Beispiel die experimentellen Teilkompetenzen Hypothesen bilden, Messen und Schlüsse ziehen zu fördern [7]. Generell ist es möglich, gezielt einzelne oder mehrere experimentelle Teilkompetenzen im Unterricht zu thematisieren [15]. Dies impliziert, dass nicht alle Teilkompetenzen (siehe Abbildung 1) simultan thematisiert werden müssen, wobei jedoch empfohlen wird, alle Teilkompetenzen im Rahmen von Unterrichtseinheiten anzusprechen und zu fördern.

Mehrwert digitaler Messsensoren

Im Chemieunterricht können Experimente mit Hilfe von digitalen Messsensoren durchgeführt werden, wobei sich die Sensoren per Bluetooth mit dem Tablet der Schüler*innen verbinden und eine zum Sensor passende App zum Einsatz kommt (diese ist in der Regel kostenlos). Zu den Vorteilen der Sensoren gehören beispielsweise das einfache und schnelle Erfassen von Messwerten. Dadurch ist es möglich, Messungen zu wiederholen. Solche Messwiederholungen können auf klassischem Wege im alltäglichen Unterricht aus Zeitgründen oft nicht durchgeführt werden, da bereits das Aufzeichnen der Messdaten sehr viel Zeit benötigt. Die automatische Erfassung und Darstellung der Daten in Tabellen und Diagrammen ist ein weiterer Vorteil, da diese händisch zeitaufwändig zu erstellen sind und deren Erstellung für die Lernenden problematisch sein kann. Dadurch bleibt mehr Zeit für die eigenständige Interpretation der Daten sowie eine intensivere Auseinandersetzung mit den dargestellten Inhalten und Phänomenen [16-18]. Auch das Exportieren der Messwertdaten ist sehr einfach möglich. Die Konstruktion der Tabelle oder des Diagramms rückt dabei etwas in den Hintergrund (dennoch sollte mit den Lernenden auch der klassische Weg des Erstellens geübt werden und nicht ersatzlos ersetzt werden). Hingegen stellt die simultane Darstellung der Daten während des Versuchsablaufs eine Verbindung zwischen dem Experiment und der jeweiligen Repräsentation her, was die Interpretation des

Experiments vereinfachen kann. Veränderungen von Variablen können direkt, beispielsweise in einem Graph, beobachtet und verinnerlicht werden [7, 19]. Durch den technischen Fortschritt kann heutzutage mit (relativ) preiswerten Sensoren im Klassenzimmer gearbeitet werden, sodass traditionelle Chemieexperimente sinnvoll ergänzt werden können [18, 20].

Zwei Beispiele für den Einsatz digitaler Messsensoren im Chemieunterricht *Digitaler Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffsensor (Unterstufe: Chemische Reaktionen, Verbrennungsreaktionen)*

Durch Sensoren, wie dem Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffsensor, können klassische Experimente des Chemieunterrichts, wie das Kerzenflammen- und Sauerstoffvorratsexperiment (siehe Abb. 2), sinnvoll ergänzt werden, sodass bisher nur sehr schwer und gar nicht zugängliche Messgrößen, wie die Kohlenstoffdioxid- und Sauerstoffkonzentration, also das nicht sichtbare Edukt Sauerstoff und das ebenfalls nicht sichtbare Produkt Kohlenstoffdioxid (und Wasserdampf) sichtbar werden. In Abb. 3 sind die jeweiligen Konzentrationen und Konzentrationsverläufe während des Experiments mit Hilfe der digitalen Sensoren in Form von Graphen dargestellt. Dies ist insbesondere für die Auswertung des Experiments hilfreich, da oftmals seitens der Lernenden vermutet wird, dass die Kerze erlischt, weil gar kein Sauerstoff mehr vorhanden ist [9]. Nachfolgend ist das Experiment exemplarisch dargestellt.

Aufbau:



Vorbereitung:

- Sensoren per Bluetooth über die App SPARKvue mit dem Tablet verbinden.
- Kalibrieren beider Sensoren (Dauer ca. 1 Minute). Der Sauerstoffsensor sollte jetzt 20,80 % bis 21,10 % O₂-Konzentration anzeigen, was in etwa der Sauerstoffkonzentration

der Luft entspricht. Der Kohlenstoffdioxidsensor sollte dann (zum Zeitpunkt des Artikels) ca. 400 ppm (0,04 %) CO₂-Konzentration anzeigen, was in etwa der Kohlenstoffdioxidkonzentration der Luft entspricht.

- Der Sauerstoffsensor kann zusätzlich die relative Luftfeuchtigkeit messen, sodass auch das Reaktionsprodukt Wasser (Wasserdampf) grafisch darstellbar ist.



Chemikalien und Materialien:



- Kerze
- Feuerzeug
- Glaswanne (hier mit der Länge: 29 cm; Breite: 19,5 cm; Höhe: 15 cm)
- Tablet
- PASCO smart CO₂-Sensor, PASCO smart O₂-Sensor, SPARKvue App (oder Alternativen)

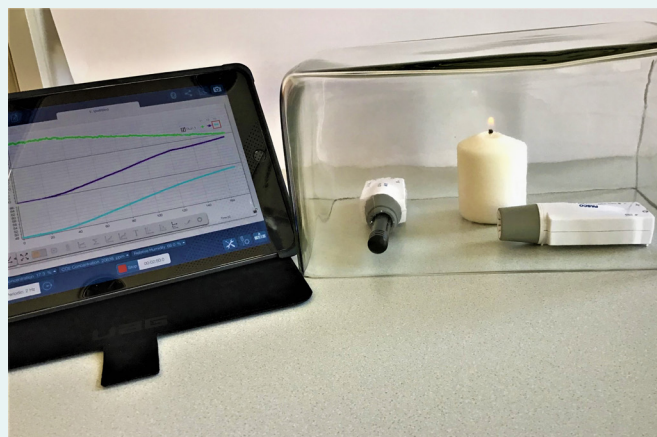


Abb 2.: Kerzenflammen- und Sauerstoffvorratsexperiment [9].



Durchführung:

1. Kerze anzünden und neben beiden Sensoren platzieren.
2. Glaswanne über die Kerze und beide Sensoren stülpen und direkt die Messung für die O₂- und CO₂-Konzentration sowie die relative Feuchtigkeit starten.

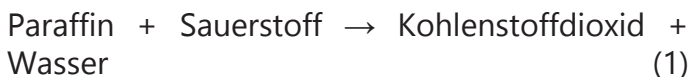
3. Messung stoppen, sobald die Kerze erloschen ist (in diesem Beispiel nach ca. 5 Minuten)

Beobachtung:

Hier können die Konzentrationsänderungen von Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff (sowie der relativen Luftfeuchtigkeit) für die chemische Reaktion des Kerzenflammen- und Sauerstoffvorratsexperiment beobachtet werden (siehe Abb. 3). Dabei kann insbesondere beobachtet werden, dass die Kerze nach etwa 5 Minuten bei einem Sauerstoffgehalt von ca. 16 % erlischt.

Auswertung:

Vereinfacht läuft bei diesem Experiment eine chemische Reaktion ab, die über folgende Wortgleichung dargestellt werden kann:



Eine Kerze erlischt bei einem Sauerstoffgehalt von ca. 15 bis 17 % [21]. In Abbildung 3 ist ersichtlich, dass die Sauerstoffkonzentration während des Experiments von ca. 21 % auf ca. 16 % abnimmt, gleichzeitig die Kohlenstoffdioxidkonzentration von ca. 436 ppm (0,04 %) auf ca. 29522 ppm (2,95 %) sowie die Wasserdampfkonzentration von ca. 48 % auf ca. 72 % steigen.

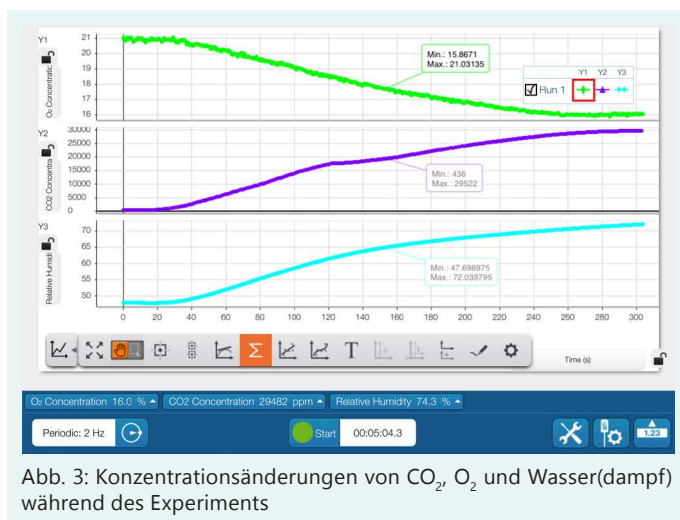


Abb. 3: Konzentrationsänderungen von CO_2 , O_2 und Wasser(dampf) während des Experiments

Ohne die digitalen Messsensoren sind diese Konzentrationsänderungen nicht darstellbar und

die Lernenden vermuten oftmals, dass die Kerze erlischt, weil gar kein Sauerstoff mehr vorhanden ist [9]. Diese häufig aufgestellte Hypothese kann mit Hilfe der digitalen Sensoren falsifiziert werden, da der Restsauerstoffgehalt bei diesem Experiment immer noch über 15 % liegt, die Kerze aber trotzdem erlischt. Die hier eingesetzten digitalen Messsensoren können den Lernenden also dabei helfen, das Experiment korrekt zu interpretieren.

Digitaler Temperatursensor (Unterstufe: Aggregatzustände/Grundlagen Thermodynamik / Oberstufe: Erweiterte Thermodynamik)

Die Förderung der experimentellen Teilkompetenzen Hypothesen bilden, Messen und Schlüsse ziehen kann im Rahmen eines alltagsorientierten Experiments zur Kühlwirkung verschiedener Eiszüfelvarianten erfolgen, welches von T. Fleischer et al. [7] entwickelt wurde. Hier sollen die Schüler*innen eigenständig untersuchen, wie gut die Kühlwirkung alternativer Eiszüfel aus Keramik, Granit und Speckstein im Vergleich zu einem normalen Wassereiszüfel ist, wenn man stilles Wasser möglichst schnell kühlen möchte. Dies entspricht einer typischen Alltagssituation insbesondere in den Sommermonaten. Die originale Werbung der Eiszüfel aus Keramik, Speckstein und Granit verspricht eine mindestens genauso gute Kühlwirkung wie der normale Wassereiszüfel. Ihre entwickelten Hypothesen sollen die Schüler*innen in diesem Experiment, mit Hilfe eines digitalen Temperatursensors, verifizieren oder falsifizieren. Nachfolgend ist das Experiment exemplarisch dargestellt.

Aufbau:



Vorbereitung:

- Eiszüfelvarianten mind. einen Tag in den Gefrierschrank legen, damit alle Eiszüfel eine Ausgangstemperatur von $-18,00\text{ }^\circ\text{C}$ haben.
- 200 mL stilles Mineralwasser mit Messzylinder abmessen und ebenfalls für mind. einen Tag

in den Versuchsraum stellen (einheitliche Ausgangstemperatur).



Chemikalien und Materialien:



- 200 mL stilles Mineralwasser (für jede Messung)
- Eiswürfel (Granit, Speckstein, Keramik, Eis)
- Gefrierschrank
- Stativmaterial
- Messzylinder
- Tiegelzange
- Dewargefäß (alternativ Trinkglas oder Becherglas)
- Tablet
- PASCO smart Temperatursensor, SPARKvue App (oder andere Marke)

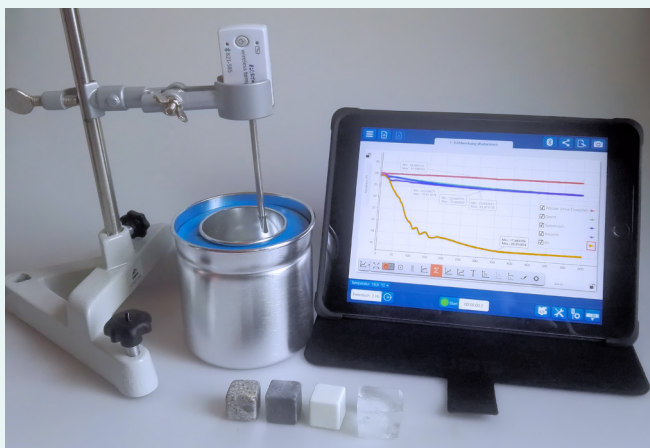


Abb. 4.: Experiment zur Kühlwirkung verschiedener Eiswürfel [7].



Durchführung:

1. 200 mL stilles Mineralwasser in Dewargefäß geben.
2. Temperatursensor mit Stativmaterial befestigen und mit zugehöriger App koppeln.
3. Sensorspitze so platzieren, dass sie in die Flüssigkeit hineinragt.
4. Eiswürfel mit Tiegelzange (nicht mit Händen) in das Dewargefäß geben und Messung direkt starten.
5. Nach 10 Minuten Messung stoppen.
6. Messung mit allen Eiswürfelvarianten wiederholen.

Beobachtung:

Im Rahmen des Experiments kann beobachtet werden, dass die alternativen Eiswürfel das stille Mineralwasser innerhalb von 10 Minuten deutlich schlechter kühlen (in etwa 1 °C) als der normale Eiswürfel (in etwa 6 °C) (siehe Abb. 5).

Auswertung:

Warum kühlen die Eiswürfel-Alternativen das Getränk so viel schlechter als Wassereiswürfel? Um dies zu erklären, muss der gesamte Kühlprozess bei Eiswürfeln betrachtet werden. Dieser besteht im Wesentlichen aus drei Teilschritten, die energetisch getrennt voneinander betrachtet werden können:

- 1.) Erhitzen der Eiswürfel auf Schmelztemperatur (nur bei Wassereiswürfel; geringer Beitrag zum Kühleffekt).
- 2.) Schmelzen der Eiswürfel (nur bei Wassereiswürfel, hierbei wird dem Getränk die meiste Wärmeenergie entzogen, größter Beitrag zum Kühleffekt).
- 3.) Mischen des geschmolzenen Eiswürfels mit dem Getränk (Wassereiswürfel; geringer Beitrag zum Kühleffekt) bzw. Einstellen der Endtemperatur bei den alternativen Eiswürfeln (geringer Beitrag zum Kühleffekt).

Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die Wärme nur zwischen dem Eiswürfel und dem Getränk übertragen wird. Die Wärmeübertragung aus der Umgebung wird hier vernachlässigt. Um diese Wärmeübertragung im Experiment zu minimieren, kann ein isoliertes Dewargefäß anstelle eines Glases oder Becherglases verwendet werden. Die genauen Berechnungen zur Kühlwirkung sind bei Fleischer et al. [7] ersichtlich.

Da bei den alternativen Eiswürfeln aus Granit, Speckstein und Keramik kein Schmelzvorgang stattfindet, beruht die Abkühlung des stillen Mineralwassers nur auf dem Mischvorgang des durch den Würfel abgekühlten Wassers mit dem restlichen Wasser [7]. Diese viel geringe-

re Kühlleistung der alternativen Eiswürfel kann hervorragend mit dem digitalen Temperatursensor gemessen und simultan während des Experimentierens grafisch dargestellt werden (siehe Abb. 5).

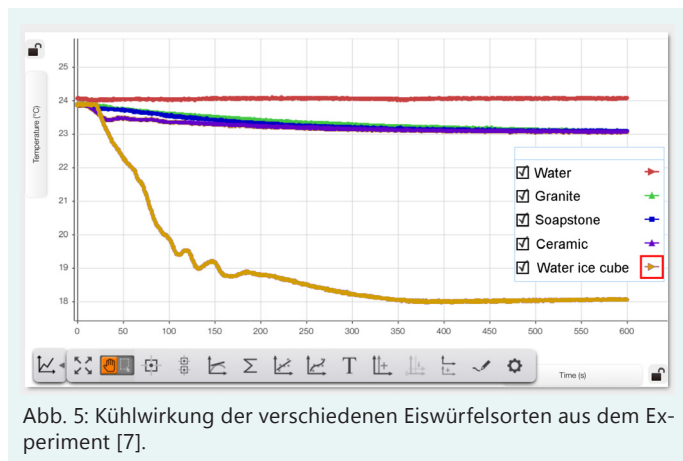


Abb. 5: Kühlwirkung der verschiedenen Eiswürfelsorten aus dem Experiment [7].

Die durchgeführte Studie von [7] zu diesem Experiment hat gezeigt, dass alltagsorientierte Experimente in Kombination mit einem digitalen Temperatursensor gut in den Chemieunterricht integriert werden können und einen vielversprechenden Ansatz zur Förderung von experimentellen Teilkompetenzen, hier dem Hypothesen bilden, Messen und Schlüsse ziehen, darstellen können.

Fazit

Digitale Medien und insbesondere digitale Messsensoren können sinnvoll und lernförderlich, im Sinne des forschenden Lernens, in den Chemieunterricht integriert werden. Dabei sollte das eigenständige Experimentieren seitens der Lernenden im Mittelpunkt des Unterrichts stehen, da sie nur so einen adäquaten Umgang mit digitalen Medien lernen können und gezielt experimentelle Teilkompetenzen der Lernenden gefördert werden können.

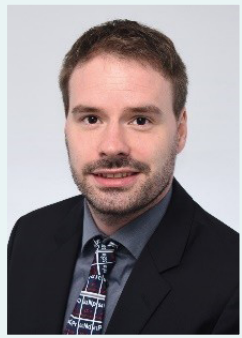
Literatur

- [1] Becker, S., Nerdel, C. (2017). Gelingensbedingungen für die Implementation digitaler Werkzeuge im Unterricht. In: Lernprozesse
- [2] Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschafts-
- [3] Zumbach, J., von Kotzebue, L., Trültzsch-Winjnien, C. W., Deibl, I. (Hrsg.) (2023). Digitale Medienbildung. Pädagogik-Didaktik-Fachdidaktik (Band 13). Waxmann, Münster, New York.
- [4] Eickelmann, B., Fröhlich, N., Bos, W., Gerrick, J., Goldhammer, F., Schaumburg, H., Schwippert, K., Senkbeil, M., & Vahrenhold, J. (Hrsg.) 2024. ICILS 2023 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking von Schüler*innen im internationalen Vergleich. Waxmann, Münster, New York, 316
- [5] Kramer, M., Förtsch, C., Aufleger, M., Neuhäus, B. J. (2019). Der Einsatz digitaler Medien im gymnasialen Biologieunterricht. Eine deskriptive Auswertung einer quantitativen Videostudie. ZfDN 25, 131-160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00096-5>
- [6] Vogelsang, C., Finger, A., Laumann, D., Thyssen, C. (2019). Vorerfahrungen, Einstellungen und motivationale Orientierungen als mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz digitaler Werkzeuge im naturwissenschaftlichen Unterricht. ZfDN 25, 115-129. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>
- [7] Fleischer, T., Feichtner, J., Strauß, I., Strahl, A. (2023). Everyday referenced use of a digital temperature sensor – how well do alternati-

- ve ice cubes really cool a drink?. Chem. Teach. Int. <https://doi.org/10.1515/cti-2023-0067>
- [8] DCB (Forschungsgruppe Lehrerbildung Digitaler Campus Bayern) (2017). Kernkompetenzen von Lehrkräften für das Unterrichten in einer digitalisierten Welt. Merz Medien + Erziehung. Zeitschrift für Medienpädagogik 4, 65-74.
- [9] Von Kotzebue, L., Fleischer, T. (2020). Experimentieren mit digitalen Sensoren – Unsichtbares sichtbar machen. In: Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften. Becker, S., Meßinger-Koppelt, J., Thyssen, C. (Hrsg.). Joachim Herz Stiftung Verlag, Hamburg, 58-61.
- [10] Baur, A., Hummel, E., Emden, M., Schröter, E. (2020). Wie offen sollte offenes Experimentieren sein? Ein Plädoyer für das geöffnete Experimentieren. MNU Journal 72, 125-128.
- [11] Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., Duschl, R. (2003). What "Ideas-about-Science" should be taught in school science? A delphi study of the expert community. J. Res. Sci. Teach. 40/7, 692-720.
- [12] Maiseyenko, V., Schecker, H., Nawrath, D. (2013). Kompetenzorientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Symbiotische Kooperation der Entwicklung eines Modells experimenteller Kompetenz. Phys. Did. Schule Hochschule 1/12, 1-17.
- [13] Abrams, E., Southerland, S. A., Evans, C. A. (2008). Inquiry in the Classroom. Identifying Necessary Components of a Useful Definition. In: Inquiry in the Classroom. Realities and Opportunities. Abrams, E., Southerland, S. A., Silva, P. C. (Hrsg.). Information Age Publishing, Charlotte, xi-xiii.
- [14] Arnold, J., Kremer, K., Mayer, J. (2017). Scaffolding beim Forschenden Lernen. Eine empirische Untersuchung zur Wirkung von Lernunterstützungen. ZfDN 23, 21-37.
- [15] Nawrath, D., Maiseyenko, V., Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz - Ein Modell für die Unterrichtspraxis. PdN-PhyS 60/6, 42-49.
- [16] Fleischer, T., Huwer, J. (2022). 33 Ideen Digitale Medien Chemie – Step-by-step erklärt, einfach umgesetzt – das kann jeder!, Auer Verlag.
- [17] Von Kotzebue, L., Gerstl, M., Nerdel, C. (2015). Common mistakes in the construction of diagrams in biological contexts. Res. Sci. Educ. 45/2, 193-213.
- [18] Lampe, H.-U., Liebner, F., Urban-Woldron, H., Tewes, M. (2015). Innovativer naturwissenschaftlicher Unterricht mit digitalen Werkzeugen. MNU Themenreihe Bildungsstandards. Verlag Klaus Seeberger, Neuss.
- [19] Beichner, R. J. (1990). The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematics lab. J. Res. Sci. Teach. 27/8, 803-815.
- [20] Wejner, M., Wilke, T. (2022). LabPi: A digital measuring station for STEM education 4.0. J. Chem. Educ. 99/2, 819-827.
- [21] Belcher, C. M., McElwain, C. J. (2008). Limits for Combustion in Low O₂ Redefine Paleoaerospheric Predictions for the Mesozoic. Science 321/5893, 1197-1200. <https://doi.org/10.1126/science.1160978>

Kurzbiografie und Foto

Timo Fleischer ist Professor für Chemiedidaktik und leitet die AG Didaktik der Chemie an der Universität Salzburg. Er forscht u.a. zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien im Unterrichtsfach Chemie und hat bereits mehrere Forschungsprojekte, z.B. EXBOX-Digital, ChemGerLab-VR und EdTechAll, aus diesem Themenbereich geleitet.



timo.fleischer@plus.ac.at

<https://www.plus.ac.at/chemiedidaktik>

Semmler, L. und Hansel, M.

Flucht aus dem Lernalltag?

Potenziale von Escape Games in der Lehre

Escape Games (EGs) sind seit einigen Jahren nicht nur eine beliebte Freizeitaktivität, sondern gewinnen auch im Bildungsbereich immer mehr an Popularität. Im Fokus von EGs steht das kooperative Lösen von Rätseln und Aufgaben durch Interaktion mit verfügbaren Materialien und das Kombinieren unterschiedlicher Informationen [1]. Die Spielmechanik beruht darauf, Zahlencodes oder Passwörter zu ermitteln, um die Geschichte des Spiels weiterzuführen und zu einem Abschluss zu bringen. Ursprünglich bestand der Abschluss bei sogenannten **Live Escape Rooms** darin, aus einem verschlossenen Raum zu entkommen; mittlerweile stehen EGs aber in vielfältigen Formaten wie z. B. Brett-, Video- oder Kartenspielen zur Verfügung und können unterschiedlichste Geschichten und Settings umfassen. Durch die Verbindung dieser spielerischen Prinzipien mit fachspezifischen Inhalten werden sie für den Bildungsbereich interessant; sie werden dann unter anderem als **Educational Escape Games** (EEGs) bezeichnet und können vom Primarbereich bis zur Oberstufe sowie in der Erwachsenenbildung eingesetzt werden.

EEGs unterscheiden sich von anderen Lehrmethoden und -konzepten dadurch, dass sie neben einer **Fachinhalts-** eine **Spielerspektive** aufweisen [2]. Dadurch werden bei der Vorbereitung und Durchführung von EEGs andere Anforderungen an die Lehrenden sowie die Lernenden gestellt. Die Lehrenden setzen unter anderem Regeln sowie die Rahmenbedingungen des Spiels fest (z. B. die Rolle der Spielleitung) und bereiten das Setting vor. Sie passen das Spiel an die Lernziele und die Voraussetzungen der Lerngruppe an [2]. Für die Lernenden steht die **Spielerspektive**, vornehmlich das Erreichen des Spielziels, also des Abschlusses der Geschichte, im Vordergrund. Das Spielziel ist dabei vom

Lernziel zu unterscheiden [3]. Dieses sowie die Kompetenzförderung werden nicht zwangsläufig bewusst von den Lernenden wahrgenommen, sondern können auch beiläufig erfolgen.

EEGs werden mit der Förderung vielfältiger Kompetenzen und Fähigkeiten verbunden, dennoch fehlen bisher Studien zu vielen dieser vermeintlichen Vorteile. Im Folgenden sollen Potenziale von EEGs beschrieben und diskutiert werden. Dazu werden selbst erstellte EEGs für die universitäre Lehre beispielhaft vorgestellt und Ergebnisse der jeweiligen Begleitforschungen dargestellt. Anknüpfend daran werden Hinweise zur Gestaltung und zu einem gewinnbringenden Einsatz von EEGs gegeben. Abschließend wird die Frage geklärt, inwiefern EEGs als Flucht aus dem (traditionellen) Lehralltag bezeichnet werden können.

Einsatz von Educational Escape Games in der naturwissenschaftlichen Lehre

EEGs eignen sich besonders für den Einsatz in der chemie- bzw. naturwissenschaftsbezogenen Lehre. Dies liegt unter anderem an den Parallelen zum **naturwissenschaftlichen Weg der Erkenntnisgewinnung** und zum **forschenden Lernen**. Bei der Lösung von Rätseln durchlaufen die Lernenden ebenso wie beim **naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg** den Prozess des Problemlösens. Grob zusammengefasst gliedert sich dieser in die Schritte Problemdefinition, Sammeln und Kombinieren von Informationen, Finden einer Lösungs-idee, Umsetzung einer Lösung sowie Bewertung der Ergebnisse [4]. Im **naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg** beziehen sich diese Schritte in der Regel auf das Experimentieren, sodass eine Fragestellung entwickelt wird, Hypothesen aufgestellt, Experimente geplant und durchgeführt werden sowie eine Auswertung der Beobach-

tungen und ein Rückbezug zu den Hypothesen erfolgen [5, 6]. Somit weist das Lösen von Rätseln in einem EEG beispielsweise Parallelen zum **forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren** nach Schmidkunz und Lindemann [7] auf. Bei beiden steht die aktive und selbstständige Auseinandersetzung mit fachspezifischen Inhalten zur Gewinnung neuer Erkenntnisse (entweder fachlich oder im Kontext der Rahmenhandlung) im Vordergrund. Die Lernenden durchlaufen dazu den Weg der Erkenntnisgewinnung ggf. auch mehrfach, falls die erste Lösung nicht zum erwarteten Ergebnis geführt hat. Die Lehrenden leiten den Lernprozess ein und können diesen unter pädagogischen und organisatorischen Aspekten beeinflussen [6]. Sie sind dabei vielmehr Begleiter*innen statt Vermittler*innen und nehmen während der Durchführung eine passive Rolle ein. Umso wichtiger ist es, dass die Lehrenden im Anschluss eine Sicherung bzw. Reflexion des vollzogenen Problemlöseprozesses anleiten, um den Lernenden den Kompetenzerwerb bewusst zu machen und relevante Erkenntnisse zu sichern [8].

Wird in Bezug zu EEGs von Rätseln gesprochen, sind diese von typischen Aufgaben zu unterscheiden. Während bei Aufgaben in der Regel ein Anfangs- und ein Endzustand vorgegeben und der Lösungsweg bekannt ist, sind diese Aspekte bei einem Rätsel nicht zwingend gegeben. Damit gleichen Aufgaben **einfachen (gut definierten) Problemen**, Rätsel hingegen **komplexen (schlecht definierten) Problemen** [3, 5].

Potenziale von Educational Escape Games

EEGs werden mit der Förderung vielfältiger Kompetenzen verbunden, jedoch sind nur wenige bisher erforscht und in umfassenden Studien bestätigt worden. Dennoch lässt die spielerische Komponente Schlüsse auf die Förderung insbesondere überfachlicher Fähigkeiten und Volitionen zu, die durchaus als Potenziale beschrieben werden können. In erster Linie werden EEGs mit der Förderung von Motivation und Interesse für das jeweilige Fach in Verbindung gebracht. Dies konnte bereits in mehreren Studien mit kleine-

ren Stichproben bestätigt werden [9-11]. Ebenso geht aus den Ergebnissen von [9, 11] hervor, dass das Engagement von Lernenden und die Freude am Lernen gesteigert werden können.

EEGs werden üblicherweise kooperativ in kleinen Gruppen durchgeführt. Durch das gemeinsame Rätsellösen können soziale und kommunikative Fähigkeiten wie Kollaboration und Teamwork gefördert werden [9, 12]. Die Rätselstruktur in EEGs führt zudem, wie oben bereits beschrieben, zum Durchlaufen von Problemlöseprozessen. Es ist daher naheliegend, dass durch EEGs Problemlösefähigkeiten gefördert werden können [8, 9, 12, 13]. Dabei müssten mehr Schritte des Problemlöseprozesses durchlaufen werden, je offener die Rätsel gestaltet sind und je mehr diese **komplexen Problemen** ähneln. Dies erlaubt unterschiedliche Herangehensweisen und Lösungswege, wodurch auch kreative Denkprozesse angeregt werden können [14]. Durch die Reflexion von Lösungsideen und Lösungen und die Bewertung der Relevanz von Informationen kann ebenso kritisches Denken unterstützt werden. Die beschriebenen Kompetenzen lassen sich den sogenannten **21st Century Skills** zuordnen, die laut [15] eine besondere Bedeutung bei der Bewältigung von globalen Herausforderungen und der Entwicklung neuer Technologien besitzen, die in Zukunft noch zunehmen wird. Somit könnten auch Methoden und Konzepte wie EEGs für den Einsatz im Unterricht an Relevanz gewinnen, da hier potenziell gleich mehrere dieser Kompetenzen weiterentwickelt werden können.

Neben der Förderung prozessbezogener Kompetenzen spielen aber auch fachliche Kompetenzen in EEGs eine Rolle. Inwieweit diese einbezogen werden und auf welchem Anforderungsniveau dies geschieht, ist abhängig von der Konstruktion des EEGs. Grundsätzlich sollten Rätsel möglichst einen fachlichen Bezug aufweisen, sodass fachliche Inhalte erarbeitet, angewendet oder auf neue Situationen transferiert werden können [2, 11]. Welche Gewichtung fachlichen Kompetenzen zukommt, ist abhängig von der Verknüpfung der **Fachinhalts-** und der **Spielperspektive**. Nicht jedes Rätsel oder jede Aufgabe muss einen

fachlichen Bezug aufweisen, dies gilt ebenso für die Rahmenhandlung [2]. Für die Lernenden sollten die **Spielerspektive** und das Erreichen des Spielziels im Vordergrund stehen, sodass fachliche Kompetenzen quasi beiläufig gelernt werden. Durch eine ansprechende Rahmenhandlung und Spielumgebung kann eine Immersion erzeugt werden, die in Kombination mit herausfordernden, aber nicht überfordernden Rätseln zu einem **Flow**-Zustand führt [16]. In diesem geben sich die Spielenden der Tätigkeiten im Spiel völlig hin; dies kann die Förderung von Motivation, aber auch der fachlichen und prozessbezogenen Kompetenzen positiv beeinflussen [16].

EEGs sind variabel in den Inhalten, in der Komplexität bzw. dem Schwierigkeitsgrad und im Umfang, sodass sie prinzipiell für jedes Thema und jede Unterrichtssituation geeignet sind. Die Lernenden bearbeiten die Rätsel möglichst selbstständig und in ihrer eigenen Geschwindigkeit. Die Bereitstellung von Tipps stellt eine Möglichkeit der Differenzierung dar, sodass Lernende mit unterschiedlichen Leistungsniveaus angesprochen werden können. Durch die Integration möglichst vielfältiger Informationen und Medien können zudem unterschiedliche Zugänge zu den fachlichen Inhalten und zur Rätsellösung geschaffen werden [17]. EEGs eignen sich also zum Einsatz bei heterogenen Lerngruppen.

Entwicklung und Einsatz von (digitalen) Escape Games in der (Hochschul-)Lehre

Im Rahmen einer Umstrukturierung eines allgemein-chemischen Laborpraktikums für Lehramtsstudierende des Faches Chemie im ersten Bachelorsemester an der Technischen Universität Braunschweig wurden drei digitale EEGs entwickelt. Des Weiteren wurde als Abschluss des Praktikums ein Live EEG (*Escape L.A.B. – Laborpraktikum für Allgemeinchemische Basisinhalte*) entwickelt und eingesetzt. Dies dient der Anwendung und des Transfers der im Praktikum erlernten Kenntnisse und Fähigkeiten in neuartigen Situationen. Themen des Praktikums und damit der EEGs sind unter anderem der sichere Umgang mit Chemikalien, grundlegende experimentelle

Tätigkeiten wie die Bedienung des Brenners, Säure-Base-Reaktionen und die qualitative Analyse von Salzen. Das gesamte Praktikum folgt einem übergeordneten Narrativ, der fiktiven Ausbildung der Studierenden zu einer *Spezialeinheit für chemisch undurchsichtige Realeinsätze (SECURE)* und mündet in dem erwähnten Live EEG, das im Rahmen des Narrativs den ersten Realeinsatz für die Auszubildenden darstellt. Zeitlich sind die digitalen EEGs so angelegt, dass sie im Rahmen einer 90-minütigen Lehrveranstaltung abgeschlossen werden können. Das Escape L.A.B. umfasst ca. 2,5 Stunden, die sich vor allem aus den umfangreichen experimentellen Tätigkeiten ergeben.

Die digitalen EEGs dienen im Rahmen des Praktikums als theoretische Vorbereitung auf die praktische Laborarbeit. Die Spielumgebungen wurden mit den browserbasierten Tools *Thinglink* [18] und *Google Formulare* [19] erstellt. Bei *Thinglink* handelt es sich um eine Plattform, mit der offene, interaktive 360°-Umgebungen geschaffen werden können. Das Tool bietet verschiedene Funktionen, um Texte, Bilder, Videos, externe Anwendungen oder Links als sogenannte *Tags* einzufügen. Der Zugang zu einem virtuellen Abschnitt kann mithilfe eines Passworts geschützt werden. Um eine bereits bestehende Anwendung oder Umgebung in *Thinglink* zu nutzen, ist keine Anmeldung erforderlich. *Thinglink* ist mit der europäischen Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) konform und speichert Daten zum Nutzungsverhalten sowie IP-Adressen auf Servern in Irland. Um eigene virtuelle Umgebungen mit Thinglink zu erstellen, ist eine Anmeldung mithilfe einer E-Mail-Adresse erforderlich. Es wird ein kostenloser Testzugang angeboten; Inhalte können nach Ablauf weiter erstellt, allerdings nur mit einer kostenpflichtigen Lizenz veröffentlicht werden. Im Rahmen der Umstrukturierung des Praktikums wurde *Thinglink* für das erste EEG zur Einführung ins Labor und für das dritte EEG zur qualitativen Analyse von Salzen verwendet. Während im ersten eine 360°-Panorama-Aufnahme eines realen Labors an der TU Braunschweig als Grundlage für die Erstellung der virtuellen Umgebung diente, wurde die Umgebung im dritten EEG

mithilfe lizenzfreier Bilder im Cartoonstil erstellt und umfasst verschiedene Schauplätze (Polizeirevier sowie Bäckerei, Metzgerei und Apotheke als mögliche Tatorte für einen fiktiven Kriminalfall). In beiden Fällen können sich die Spielenden relativ frei durch die virtuellen Schauplätze bewegen und mit den jeweiligen Daten und Medien interagieren.

Google Formulare bietet Funktionen zur Erstellung von Formularen, Umfragen und Quizzes. Es können einzelne Seiten erstellt werden, auf denen Texte, Bilder, Videos oder Links zu externen Webseiten eingebettet werden können. Für die Nutzung als Spieleplattform ist besonders relevant, dass der Zugang zu einzelnen Seiten durch Passwörter geschützt werden kann. So kann ein linearer Spielverlauf geschaffen werden, bei dem zunächst das Rätsel auf der Seite gelöst werden muss, bevor die nächste Seite geöffnet werden kann. Um veröffentlichte Formulare nutzen zu können, ist keine Anmeldung erforderlich. Für die Erstellung eigener Formulare wird ein *Google-Account* benötigt, der kostenlos erstellt werden kann. Die DSGVO-Konformität ist nicht per se gegeben, kann aber durch entsprechende Einstellungen bei der Veröffentlichung gewährleistet werden. Bei der Nutzung für das hier vorgestellte EEG werden keine personenbezogenen Daten mittels *Google Formulare* erhoben oder gespeichert. Das Tool wird im zweiten EEG zur Säure-Base-Titration ver-



Abb. 1: Screenshot aus dem digitalen EEG zur Einführung ins Labor (mit Thinglink erstellt)

wendet.

In Abb. 1 ist die Spielumgebung des ersten digitalen EEGs zur Einführung ins Labor dargestellt, Abb. 2 zeigt einen Abschnitt der Spielumgebung

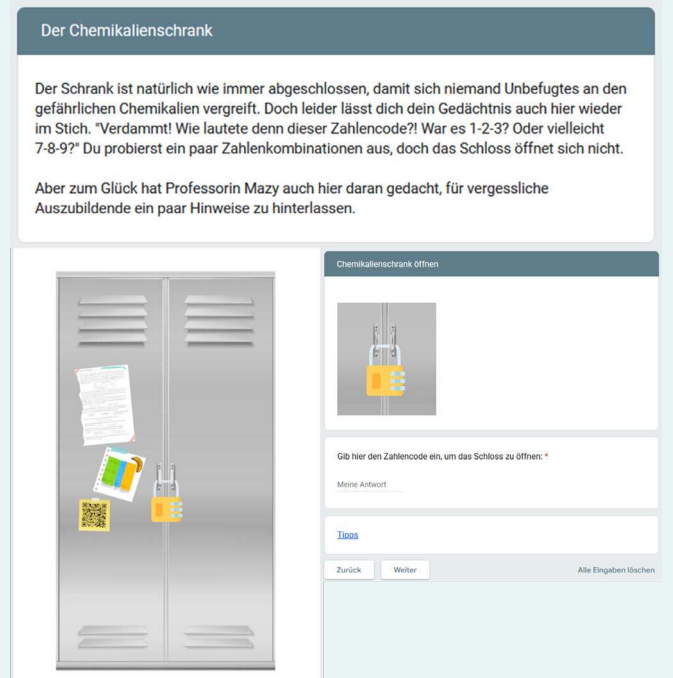


Abb. 2: Screenshot aus dem digitalen EEG zur Säure-Base-Titration (mit Google Formulare erstellt)

des linearen EEGs zur Säure-Base-Titration. Über den QR-Code in Abb. 3 öffnet sich die Startumgebung des EEGs zur Einführung ins Labor und der gesamte EEG kann gespielt werden.



Abb. 3: QR-Code, der zum gesamten EEG zur Einführung ins Labor in Thinglink führt

Sowohl *Thinglink* als auch *Google Formulare* dienen lediglich als Plattformen und beinhalten keine Funktionen zur Erstellung von Aufgaben oder Rätseln. Durch das Setzen von Passwörtern für bestimmte Abschnitte oder den Zugang zu weiteren Seiten kann das Spielprinzip eines EEGs abgebildet werden. Die Rätsel und Aufgaben wurden entweder mithilfe von Informationen und Hinweisen, die in Form von pdf-Dateien zur Verfügung gestellt werden, oder mit den Tools *Learningapps* [20] und *H5P* [21] erstellt. Die mit H5P erstellten Anwendungen wurden auf einer über die TU Braunschweig zur Verfügung gestellten Plattform hochgeladen und anschließend in die Spielumgebung in *Thinglink* eingebunden.

Beide Tools bieten unterschiedliche Funktionen, mit denen unter anderem Memories, Zuordnungen, Kreuzworträtsel, interaktive Videos oder Quizze erstellt werden können. Abb. 4 zeigt beispielhaft ein Rätsel aus dem EEG zur Einführung ins Labor, bei dem ein Code nur entschlüsselt werden kann, wenn alle Aufgaben zu dem Video gelöst werden. Das Video zum Entzünden und Löschen der Brennerflamme wurde selbst erstellt und mithilfe der entsprechenden Funktion in *Learningapps* durch in das Video eingebettete Aufgaben ergänzt. Aufgrund der einzelnen Abschnitte eignen sich die einzelnen Rätsel und Aufgaben auch für einen vom EEG unabhängigen

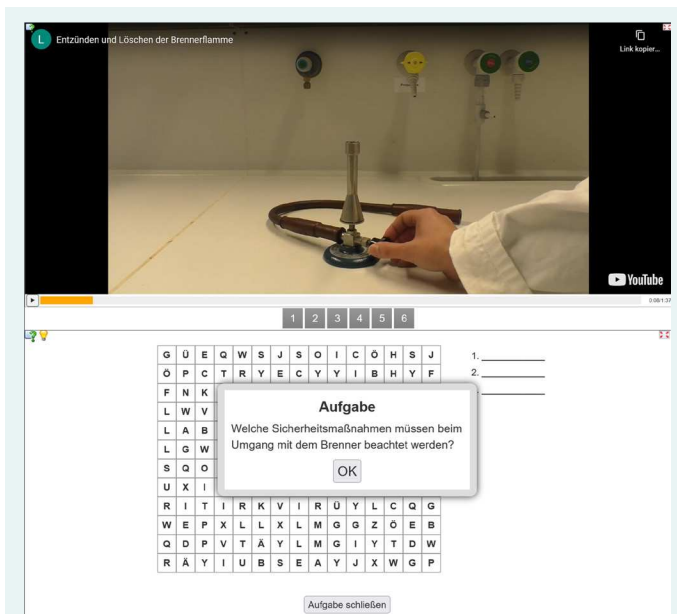


Abb. 4: Ausschnitt aus einem Rätsel zum Entzünden und Löschen der Brennerflamme, bei dem Aufgaben innerhalb eines interaktiven Videos gelöst werden müssen (erstellt mit Learningapps)



Abb. 5: QR-Code, der zur OER-Veröffentlichung auf twillo führt

Einsatz in der Lehre.

Aus den Erfahrungen, die während der Entwicklung der einzelnen EEGs gesammelt werden konnten, ist ein Leitfaden zur Erstellung digitaler EEGs entstanden, der einen Überblick über die verwendeten Tools, Hinweise zur Gestaltung und Einblicke in die erstellten

Rätsel gibt. Der Leitfaden sowie Vorlagen für einzelne Rätsel stehen als Open Educational Resource (OER) kostenlos über die OER-Plattform twillo zum Download bereit [13].

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass ein linearer Aufbau eher für Anfänger*innen, die wenig Erfahrung mit EEGs haben, geeignet ist. Komplexere Strukturen können für ungeübte Spielende zur Überforderung führen. Zudem sollte auf ein ausgewogenes Verhältnis von Aufgaben und Rätseln geachtet werden, um auch hier eine Überforderung zu vermeiden [13].

Förderung von Motivation und Problemlösefähigkeiten in Educational Escape Games

Bei allen eingesetzten EEGs wurde die Motivation der Studierenden mithilfe der *KIM* [22] erhoben. Insgesamt wurden im Zeitraum von Wintersemester 2021/22 bis Wintersemester 2023/24 Daten von 45 Studierenden erhoben. Die Ergebnisse, insbesondere in Kombination mit den Antworten aus den Evaluationsfragebögen, geben Aufschluss über das Spielerlebnis sowie Unter- bzw. Überforderung der Studierenden. Sie dienen als Grundlage zur Überarbeitung der EEGs. Somit konnten die in den ersten beiden Kohorten mittleren bis guten Einschätzungen in der dritten Kohorte deutlich gesteigert werden [23]. Interessant dabei ist, dass die Bewertungen der Motivation für das Live EEG bei allen Kohorten höher ausfallen als für die digitalen EEGs. Dies deutet auf eine höhere Motivation in Live EEGs hin, in denen eine direkte, physische Interaktion mit den Materialien und Informationen im Spiel besteht und die selbstständige, experimentelle Arbeit im Fokus steht. Des Weiteren ist die Spielleitung während des gesamten Spiels im Raum und kann individuell angepasste Hinweise geben [23, 24]. Insgesamt kann hinsichtlich der Ergebnisse zur Motivation festgehalten werden, dass der Aufbau des Spiels, die Strukturierung und der Schwierigkeitsgrad der Rätsel sowie das vorbereitete Setting einen bedeutenden Einfluss auf die Motivation und das Spielerlebnis haben.

Inwiefern Problemlöseprozesse in einem EEG an-

geregt werden können, wurde im Rahmen einer Videostudie in dem Live EEG untersucht [14]. Die Rahmengeschichte dreht sich um das Aufdecken des Verschwindens einer Professorin für Klimaforschung, indem Informationen auf dem Laptop der Professorin gefunden und kombiniert werden. Der Laptop ist durch ein umfangreiches Sicherheitssystem geschützt, sodass relevante Passwörter durch die Interaktion mit verschiedenen Gegenständen und Materialien in einem realen Labor herausgefunden werden müssen [24]. Die Durchführung war freiwillig, wurde aber von allen Studierenden des Praktikums wahrgenommen. Um die Prozesse beim Lösen der Rätsel analysieren zu können, wurden die Studierenden während des gesamten Spiels in Bild und Ton aufgezeichnet. Nachfolgend werden die Ergebnisse für ein Rätsel beschrieben, bei dem weder das Problem (Ausgangszustand) noch der Lösungsweg oder der Endzustand direkt ersichtlich sind. Diese müssen von den Studierenden sukzessive durch die Auseinandersetzung mit den zur Verfügung stehenden Informationen erarbeitet werden. Das Rätsel kann somit als **komplexes Problem** bezeichnet werden. Es wird erwartet, dass so alle Schritte des Problemlöseprozesses angeregt werden können.

In dem ausgewählten Rätsel geht es darum, anhand verschiedener Hinweise den Namen der Forscherin Marie Curie herauszufinden, woraus sich das Passwort *Curie* ergibt, mit dem ein Buchstabenschloss an einer Laptoptasche geöffnet werden kann. Hierbei sind bewusst unterschiedliche Lösungswege möglich; einer besteht darin, das Zeichen für Radioaktivität auf einem Spiegel sichtbar zu machen und so auf die Forscherin zu schließen. Idealerweise geschieht dies durch Wasserdampf, der durch Erhitzen von Wasser in einem Reagenzglas über der Bunsenbrennerflamme erzeugt wird [14]. Das Zeichen wurde zuvor mithilfe eines mit Spülmittel benetzten Wattestäbchens und einer Schablone auf den Spiegel aufgetragen. Nachdem es getrocknet war, wurde der Spiegel vorsichtig mit einem trockenen Tuch abgewischt bzw. abgetupft, um die verbliebenen Konturen zu entfernen.

Um die bei den Spielenden ablaufenden Problemlöseprozesse zu untersuchen, wurden die Videos zunächst sequenziert und anschließend transkribiert. Die Analyse der Transkripte wurde mithilfe der **inhaltlich-strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse** nach Kuckartz [25] durchgeführt; die Kategorienbildung erfolgte dabei deduktiv-induktiv, ausgehend von den oben beschriebenen Schritten des Problemlöseprozesses [14].

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass die Wege zur Lösung des Rätsels individuell unterschiedlich sind, wobei die Mehrheit der Gruppen sich eher länger mit dem Rätsel auseinandersetzte. Über alle Gruppen hinweg zeigt sich, dass alle Schritte des Problemlöseprozesses bei diesem Rätsel angeregt werden können. Dabei ist der Schritt *Sammeln von Informationen* am häufigsten aufgetreten. Dies deutet auf eine intensive Auseinandersetzung der Studierenden mit den zur Verfügung gestellten Materialien und Informationen hin. Im Gegensatz dazu wurden sowohl die *Problemerkennung* als auch das *Finden einer Lösungsidee* eher selten durchlaufen; hierbei scheinen die Studierenden Schwierigkeiten zu haben. Verhältnismäßig häufig sind auch die *Ausarbeitung* und *Umsetzung eines Lösungsansatzes* aufgetreten. Es werden also Lösungsansätze ausprobiert und während der Durchführung immer wieder angepasst. Dies geschieht jedoch häufig, ohne, dass die Studierenden zuvor einen Plan entwickelt haben. Es werden eher im *Trial-and-Error*-Verfahren verschiedene Lösungsansätze getestet und angepasst. Dies könnte damit zusammenhängen, dass bei dem Rätsel weder Ausgangs- noch Endzustand vorgegeben sind. Für die Spielenden ist zu Beginn also möglicherweise noch nicht ersichtlich, dass es sich hierbei um ein Rätsel handelt, welcher Code bei diesem entschlüsselt werden soll und wofür dieser Code benötigt wird. Daher werden zunächst scheinbar willkürlich Ideen ausprobiert. Erst während dieses Prozesses könnten die Spielenden eine Vorstellung von dem Endzustand und dem Zweck der Rätsellösung entwickeln, weshalb im weiteren Verlauf Lösungsansätze häufiger angepasst wer-

den. Schließlich konnten auch Bewertungsprozesse in Hinblick auf die Lösungsidee sowie die umgesetzte Lösung bei den meisten Gruppen verhältnismäßig selten herausgestellt werden.

Anforderungen an den Einsatz von Educational Escape Games

Damit durch den Einsatz von EEGs die beschriebenen Potenziale ausgeschöpft werden können, gibt es einige Aspekte, die zuvor bedacht werden sollten und möglicherweise Herausforderungen bei der Umsetzung darstellen können. Je nachdem, wie umfangreich das EEG ist und wie viele Materialien es umfasst, kann die Vorbereitung durchaus zeit- und arbeitsintensiver als bei anderen Konzepten oder Methoden sein [2]: Es müssen genügend Zeit und Raum zum Spielen zur Verfügung stehen, die Materialien und ggf. der Raum müssen entsprechend vorbereitet werden und die Gruppen sollten bewusst durch die Lehrkraft eingeteilt werden, sodass die Lernenden produktiv zusammenarbeiten können. Weiterhin sollte die Lehrkraft das Spiel kennen, ggf. selbst gespielt haben, um mögliche Hindernisse für die Lernenden einschätzen und passende Hilfestellungen geben zu können. Die Lehrkraft muss zuvor entscheiden, ob sie selbst Teil des Spiels ist oder als Spielleitung fungiert und sich auf die Einleitung, Moderation und die Reflexion im Anschluss beschränkt, sich aber während des Spielens weitestgehend zurückzieht [13]. Es sollte weiterhin bedacht werden, dass der Lern- bzw. Kompetenzerwerb während des Spiels den Lernenden nicht zwangsläufig bewusst und auch nicht gesichert wird. Durchschauen die Lernenden das Spielprinzip, nutzen permanent Tipps oder lösen Rätsel durch ggf. planloses Ausprobieren, ohne bewusst über das Rätsel nachzudenken, findet möglicherweise sogar kein (erwarteter) Kompetenzerwerb statt. Die Lernenden können also zum Spielziel gelangen, ohne die erwarteten Lernziele zu erreichen [26]. Um dies zu verhindern, ist vor allem die Bereitschaft der Lernenden, sich mit dem Spiel und den Rätseln auseinanderzusetzen, relevant. Diese kann unterstützt werden, indem vor dem Spielen

klare Regeln festgesetzt und besprochen und die Lernenden auf die Methode vorbereitet werden, beispielsweise durch die Einbindung einzelner Rätsel in den vorausgegangenen Unterricht. Die Lernenden können so mit der Spielmechanik vertraut gemacht werden. Weiterhin können die Spielenden durch gezielte Hinweise und Informationen, die in das EEG integriert sind, auf die Rätsel aufmerksam gemacht werden. Schließlich ist es wichtig, in einer Reflexion nach dem Spiel Lösungswege, Lösungen und fachliche Inhalte zu reflektieren sowie Lern- und Spielziele transparent zu machen, um so relevante fachliche Inhalte zu sichern und einen Kompetenzerwerb anzuleiten [13].

Das Spielprinzip birgt die größten Potenziale, aber auch Herausforderungen von EEGs. Diese sind keine „Allheilmittel“, durch die automatisch bei allen Lernenden entsprechende Kompetenzen und Motivation bzw. Interesse für das Fach gefördert werden. Sie können sogar das Gegenteil auslösen, wenn das Spielerlebnis bei den Lernenden nicht aus Erfolgserlebnissen, sondern Frustration besteht. Im schlimmsten Fall steht das Spielprinzip dem Kompetenzerwerb entgegen. Um dies zu verhindern, sollten die Lernenden eine gewisse Bereitschaft aufweisen, sich mit den Rätseln kooperativ auseinanderzusetzen [13]. Gleichzeitig sollte das Konzept eines EEGs mit den Lernenden geübt werden, um Überforderung und Frustrationsmomenten entgegenzuwirken. Dazu sollten Umfang und Schwierigkeitsgrad der Rätsel sukzessive gesteigert werden. Dies kann auch dazu führen, dass Lösungsprozesse effektiv angeleitet werden können, sodass möglichst viele Schritte von den Lernenden selbstständig durchgeführt werden. Letztlich ist es hinsichtlich der Konstruktion von EEGs wichtig, dass **Fachinhalts-** und **Spielerspektive** ausgewogen und aufeinander abgestimmt sind und die Spielabschnitte an die Lerngruppe angepasst werden [2, 13].

Anzumerken ist zudem, dass sich EEGs beim Einsatz in der schulischen oder universitären Lehre aufgrund des begrenzten zeitlichen Rahmens nur bedingt zur Erarbeitung von fachlichen Inhalten

anbieten. Dies würde dazu führen, dass Wissen zunächst in einem längeren Prozess angeeignet werden muss, bevor es in einem Rätsel angewendet werden kann. Dadurch kann das Spielerlebnis negativ beeinflusst werden. Aufgrund der Rätselstruktur, verbunden mit der fiktiven Rahmenhandlung in einem EEG, bietet sich die Anwendung bzw. der Transfer von Wissen an, da so erlernte Inhalte und Fähigkeiten auf neuartige Situationen übertragen werden.

Fazit

EEGs zeichnen sich durch die Kombination fachlicher Inhalte, Kompetenzen und Ziele (**Fachinhaltperspektive**) mit Spielelementen wie einer Rätselstruktur und einer fiktiven Rahmenhandlung (**Spielperspektive**) aus und unterscheiden sich somit von anderen Lehr-Lernmethoden bzw. -Konzepten. Sie stellen dadurch teilweise andere Anforderungen an Lehrende und Lernende, die es beim Einsatz von EEGs zu beachten gilt. Wenn diese eingehalten werden, können EEGs aber durchaus vielfältige Potenziale entfalten, die die Förderung von volitionalen, fachlichen sowie

überfachlichen (**21st Century Skills**) Kompetenzen und Bereitschaften beinhalten. In Bezug zu Problemlöseprozessen sollte beachtet werden, dass die einzelnen Schritte insbesondere bei offenen Rätseln (**komplexen Problemen**), die möglichst wenige Informationen zum Ausgangs- sowie Endzustand vorgeben und unterschiedliche Lösungswege zulassen, angeregt werden können. Allerdings werden Schritte wie die *Generierung von Ideen* sowie die *Bewertung von Ideen/Lösungen* seltener selbstständig von den Lernenden durchlaufen. Diese sollten bewusst durch Hinweise, eingebettet in das Spiel oder durch die Spielleitung, angeleitet werden. Zudem ist anzunehmen, dass diese geübt und sukzessive gezielt angeleitet werden müssen, um eine häufigere, selbstständige Durchführung durch die Lernenden zu begünstigen. Des Weiteren sollte der Reflexion im Anschluss an das Spiel genügend Zeit eingeräumt werden. Hierzu ebenso wie zur Untersuchung der anderen potenziellen Kompetenzförderungen müssen weitere, umfangreiche Studien erfolgen.

Insgesamt kann im Zusammenhang mit EEGs nicht von einer Flucht aus dem typischen Lehralltag gesprochen werden. Der Einsatz von EEGs muss durch die Lehrenden vorbereitet, angeleitet und an die Lerngruppe angepasst werden, damit EEGs ihre Potenziale entfalten können. Für die Lernenden stellen sie ggf. eine Abwechslung dar, die andere Zugänge zu fachlichen Inhalten eröffnen und durch die Spielelemente motivationale Anreize zur Auseinandersetzung mit diesen schaffen.

Literatur

- [1] Nicholson, S. (2015). Peeking Behind the Locked Door: A Survey of Escape Room Facilities. <https://scottnicholson.com/pubs/er-facwhite.pdf> (letzter Zugriff: 10.07.2025)
- [2] Groß, K., Prewitz, N., Belova, N., Semmler, L., Strippl, C., Schumacher, A., Lathwesen, C., Hansel, M. (2023). Spiel oder Lernangebot? – Eine analytische Sicht auf den Einsatz von Educational Escape Games im Chemieunterricht. CHEMKON. <https://doi.org/10.1002/ckon.202300038>
- [3] Hansel, M., Semmler, L. (2023). Digitale Educational Escape Games in der (Hochschul-) Lehre. In: DiCE-Tagung 2023 – Digitalisation in Chemistry Education. Vol. Workshop. Wilke, T., Rubner, I. (Hrsg.). Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Anorganische und Analytische Chemie. <https://doi.org/10.22032/dbt.59420>
- [4] Semmler, L., Matzner, M. (2023). Kreativität diagnostizieren und fördern im Chemie- und Informatikunterricht. In: Potenziale erkennen – Talente entwickeln – Bildung nachhaltig gestalten. Begabungsförderung: Individuelle Förderung und inklusive Bildung, Band 15. Fischer, C., Fischer-Ontrup, C., Käpnick, F., Neuber, N., Reintjes, C (Hrsg.). Waxmann, Münster, New York, 31-43. doi.org/10.31244/9783830996682
- [5] Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In: Theorien in der biologiedidaktischen Forschung, Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Krüger, D., Vogt, H. (Hrsg.). Springer, Berlin, 177-186.
- [6] Sommer, K., Wambach-Laicher, J., Pfeifer, P. (2018). Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lehren und Lernen im Chemieunterricht. Aulis.
- [7] Schmidkunz, H., Lindemann, H. (1976). Das Forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Lister.
- [8] Makri, A., Vlachopoulos, D., Martina, R. A. (2021). Digital Escape Rooms as Innovative Pedagogical Tools in Education: A Systematic Literature Review. Sustainability 13(8), 4587. <https://doi.org/10.3390/su13084587>
- [9] Fotaris, P., Mastoras, T. (2019). Escape Rooms for Learning: A Systematic Review. In: Proceedings of the 13th International Conference on Game Based Learning. Odense, Denmark. The University of Southern Denmark. Elbæk, L., Majgaard, G., Valente, A., Khalid, S. (Hrsg.). Academic Publishing International Limited, 235-243.
- [10] Hansel, M., Semmler, L. (2024). Welche Effekte haben digitale Escape Games in der Hochschullehre? In H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hamburg 2023. Van Vorst, H. (Hrsg.). GDGP, 170-173. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2024/06/B23_Hansel.pdf (letzter Zugriff: 10.07.2025).
- [11] Taraldsen, L. H., Haara, F. O., Lysne, M. S., Jensen, P. R., Jenssen, E. S. (2020). A review on use of escape rooms in education – touching the void. Educ. Inqu., 1–16.

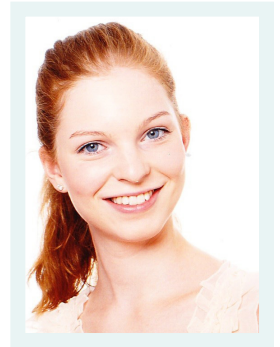
- [12] Lathwesen, C., Belova, N. (2021). Escape Rooms in STEM Teaching and Learning – Prospective Field or Declining Trend? A Literature Review. *Educ. Sci.*, 11, 308, 1-14.
- [13] Semmler, L., Hansel, M.-C. (2023). Leitfaden zur Entwicklung digitaler Escape Games für die (Hochschul-)Lehre. OER. <https://www.twillo.de/edu-sharing/components/render/b2068394-eba1-41b3-9481-805325863450> (letzter Zugriff: 10.07.2025).
- [14] Semmler, L. (2024). Anregung von (kreativen) Problemlöseprozessen in einem Educational Escape Room. In: H. van Vorst (Hrsg.), Frühe naturwissenschaftliche Bildung, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hamburg 2023. Van Vorst, H. (Hrsg.). GDCP, 174-177. https://gdcp-ev.de/wp-content/uploads/securepdfs/2024/06/B24_Semmler.pdf (letzter Zugriff: 10.07.2025).
- [15] OECD (2019). OECD Lernkompass 2030. OECD-Projekt Future of Education and Skills 2030. Rahmenkonzept des Lernens. <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/oecd-lernkompass-2030-all> (letzter Zugriff: 10.07.2025)
- [16] Csikszentmihalyi, M. (2010). Das Flow-Erlebnis: jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen. 10. Auflage. Klett-Cotta.
- [17] Nybo, S. E., Klepser, S. A., Klepser, M. (2020). Design of a disaster preparedness escape room for first and second-year pharmacy students. *Currents in pharmacy teaching & learning*, 12(6), 716–723. <https://doi.org/10.1016/j.cptl.2020.01.037>
- [18] Thinglink. Startseite. <https://www.thinglink.com/> (letzter Zugriff: 10.07.2025).
- [19] Google Formulare. Startseite. <https://docs.google.com/forms/create?hl=de> (letzter Zugriff: 10.07.2025).
- [20] LearningApps. Startseite. <https://learningapps.org/> (letzter Zugriff: 10.07.2025).
- [21] H5P. Startseite. <https://h5p.org/> (letzter Zugriff: 10.07.2025).
- [22] Wilde, M.; Bätz, K.; Kovaleva, A., Urhahne, D. (2009): Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). *Testing a short scale of intrinsic motivation*. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15, 31–45.
- [23] Semmler, L., Hansel, M. (im Druck). Entwicklung und Effekte von (digitalen) Escape Games in der Hochschullehre. In: Entdecken, lehren und forschen im Schülerlabor, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bochum 2024.
- [24] Semmler, L. (2022). Escape L.A.B. – Ein Escape Room für Chemiestudierende. In: Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Virtuelle Jahrestagung 2021. Habig, S., van Vorst, H. (Hrsg.). GDCP, 252-255. https://www.gdcp-ev.de/wp-content/tb2022/TB2022_252_Semmler.pdf (letzter Zugriff: 10.07.2025).
- [25] Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. 4. Auflage. Beltz.
- [26] Eukel, H., Morrell, B. (2021). Ensuring Educational Escape-Room Success: The Process of Designing, Piloting, Evaluating, Redesigning, and Re-Evaluating Educational Escape Rooms. *Simulation & Gaming*, 52(1), 18-23. <https://doi.org/10.1177/1046878120953453>

Kurzbiografien und Fotos

Luzie Semmler ist akad. Rätin in den Didaktiken der Mathematik und Naturwissenschaften an der Universität zu Köln. Sie promovierte bei Prof. V. Pietzner an der Universität Oldenburg. Neben Chemie studierte sie Deutsch für das gymnasiale Lehramt und schloss das Referendariat mit dem 2. Staatsexamen ab.



Marie Hansel promovierte bei Prof. Dr. Kerstin Höner in der Chemiedidaktik an der TU Braunschweig zum Thema der Entwicklung und Erforschung des Einsatzes von digitalen Escape Games in der Hochschullehre. Dort studierte sie zuvor Chemie und Biologie für das Lehramt an Haupt- und Realschulen.



Frevert, M.

Potenziale für das Lehren und Lernen mit Virtual Reality in der Chemie

Herausforderungen beim Chemielernen

Die Chemie als naturwissenschaftliche Disziplin befasst sich mit Phänomenen, Strukturen und Prozessen auf einer Ebene, die den menschlichen Sinnen nicht direkt zugänglich ist. Diese epistemologische Distanz erschwert es Lernenden, unmittelbare, sinnlich erfahrbare Zugänge zum Fach zu entwickeln. Das Verständnis chemischer Konzepte erfordert nicht nur ein hohes Maß an räumlichem Vorstellungsvermögen [1], sondern auch ein ausgeprägtes Abstraktionsvermögen, um theoretische Modelle, symbolische Darstellungen und deren Verknüpfungen zu erfassen [2]. Somit kann dies als Konflikt zwischen dem fachlichen Verstehen und dem lernenden Individuum gesehen werden.

Zudem wird das Verstehen von Chemie bei vielen Lernenden durch Präkonzepte oder Fehlvorstellungen inhibiert, welche das Erfassen wissenschaftlich fundierter Inhalte erschweren [3]. Ein weiteres Problem besteht darin, dass chemische Inhalte häufig als der Lebenswelt fern wahrgenommen werden, was die Relevanz des Fachs für Lernende mindert und somit die Motivation negativ beeinflussen kann [4].

Nach Johnstone [5] lässt sich das chemische Wissen auf drei unterschiedlichen Repräsentationsebenen strukturieren: der makroskopischen, der submikroskopischen und der symbolischen Ebene. Das Verständnis der Chemie erfordert dabei nicht nur das Erfassen jeder dieser Ebenen isoliert, sondern insbesondere auch die Fähigkeit, zwischen ihnen zu übersetzen und Beziehungen herzustellen. Dieses stellt eine besondere kognitive Herausforderung dar, insbesondere wenn adäquate Visualisierungen oder Vermittlungsstrategien fehlen.

Vor diesem Hintergrund werden verstärkt didaktische Ansätze und digitale Lehr-Lernmittel

entwickelt [6], um den genannten Verständnisbarrieren entgegenzuwirken. Eine besonders vielversprechende Technologie stellt dabei Virtual Reality (VR) dar.

Virtual Reality als innovatives Medium im Lehr-Lernkontext

Virtual Reality hat sich in den vergangenen Jahren zunehmend [7], als didaktisch wertvolles Werkzeug im Bildungsbereich etabliert. Ursprünglich vorwiegend im Bereich des digitalen Entertainments verortet, findet VR mittlerweile Anwendung in schulischen [8], hochschulischen [9] und außerschulischen Bildungssettings [10] sowie in der beruflichen Aus- und Weiterbildung. Auch Unternehmen diverser Branchen nutzen immersive Technologien für Schulungs- und Trainingszwecke.

Immersive Virtual Reality verfolgt das Ziel, durch multisensorische Reize ein starkes Präsenzgefühl in einer simulierten, meist interaktiven Umgebung zu erzeugen [11]. Dies ermöglicht es, Lernprozesse erfahrungsbasiert, kontextualisiert und handlungsorientiert zu gestalten. Zahlreiche Studien zeigen, dass VR-Anwendungen die Motivation [12] sowie das kognitive Engagement der Lernenden steigern können [13]. Insbesondere die letztgenannte Arbeit hebt hervor, dass VR bedeutendes Potenzial besitzt, komplexe und abstrakte Inhalte anschaulich und erlebbar zu machen.

Gerade für die Chemie eröffnet VR neue didaktische Möglichkeiten: So kann der Zugang zu ansonsten nicht direkt zugänglichen Konzepten wie dem atomaren Aufbau oder der dreidimensionalen Struktur von Molekülen erleichtert werden. Darüber hinaus können Lernende interaktive Modelle manipulieren und auf diese Weise ein tieferes Verständnis für räumliche und funktio-

nale Zusammenhänge entwickeln. In Rückbezug auf [5] ist es ebenso vorstellbar, dass durch die VR-Technik bzw. in einer VR-Umgebung, die drei Ebenen des makroskopischen, des submikroskopischen und des symbolischen stärker miteinander in Verbindung gebracht werden können, da die Möglichkeit besteht, die einzelnen Ebenen im Visuellen gezielter aufeinander zu beziehen, indem man beispielweise bei einem experimentellen Reaktionsverlauf auch auf die Teilchenebene zentrieren kann. Auch um Lernenden die Chemie bezüglich ihrer Lebenswelt zugänglicher zu machen, könnte VR einen Beitrag leisten. Ein konkreteres Beispiel wäre der Abbau, die Gewinnung, der Einsatz und die Funktionsweise von seltenen Erden in mobilen Endgeräten wie Smartphones oder Tablets. Gerade erstgenannte sind in der Realität nicht unmittelbar erreichbar, weshalb VR hier eine Zugänglichkeit schaffen könnte, um die Relevanz dieses Themas für die Lebenswelt vieler Lernender zu verdeutlichen. So könnten Lernende zum Beispiel in diese Prozesse eingebunden werden, indem sie in einer VR-Umgebung den Abbau seltener Erden in einem Bergwerk mitverfolgen oder interaktiv entsprechende Stoffe in einem Smartphone verbauen und deren Funktionsweisen erfahren.

Zudem können Experimente, die aus Sicherheits- oder Verfügbarkeitsgründen nicht im Schulunterricht eingesetzt werden, sich virtuell simulieren lassen. Somit wäre auch eine Erweiterung experimenteller Ansätze durch VR denkbar. Es könnte in VR wieder der Ammoniumdichromat-Vulkan durchgeführt werden, um nur ein Beispiel für einen bereits verbotenen Versuch der Schulchemie zu nennen.

VR hat somit das Potenzial, zentrale Barrieren im Chemielernen zu reduzieren: Es unterstützt das räumliche Denken, erleichtert das Erkennen von Konzeptverbindungen und fördert die Motivation sowie die Identifikation mit den Lerninhalten. Für einen erfolgreichen Lehr-Lern-Einsatz müssen VR-Anwendungen nicht nur barrierearm und intuitiv bedienbar sein, sondern auch in didaktisch sinnvollen Kontexten eingebettet werden. Lernumgebungen sollten dabei – gerade für die

Sekundarstufen I und II – curricular relevante Inhalte adressieren.

Exemplarische VR-Lernumgebungen in der Chemie

In den letzten Jahren ist ein wachsendes Spektrum an VR-Anwendungen mit chemischem Fokus entstanden – sowohl aus kommerzieller Entwicklung als auch aus universitären Projekten. Im Folgenden werden exemplarisch fünf verschiedene Anwendungen vorgestellt, die unterschiedliche Themenfelder, Zielgruppen und Spielkonzepte abdecken.

1. Futuclass

Futuclass ist eine kommerzielle Plattform, die VR-Module hauptsächlich für die Sekundarstufe I anbietet. Themen wie Atombau (Abb. 1), Reaktionsgleichungen, Salze, Säuren und Basen sowie das Molkonzept werden auch in deutscher Sprache für VR-Systeme von Meta und Pico angeboten. Den Anwendungen liegt eine Struktur zugrunde, die spielerische Elemente enthält und in der Lernende durch steigende Schwierigkeitsgrade navigieren. Einzelne oder mehrere Module der Plattform können beispielsweise mit einem steam-Account kostenpflichtig heruntergeladen werden. Weitere Informationen finden sich auf: <https://futuclass.com/>

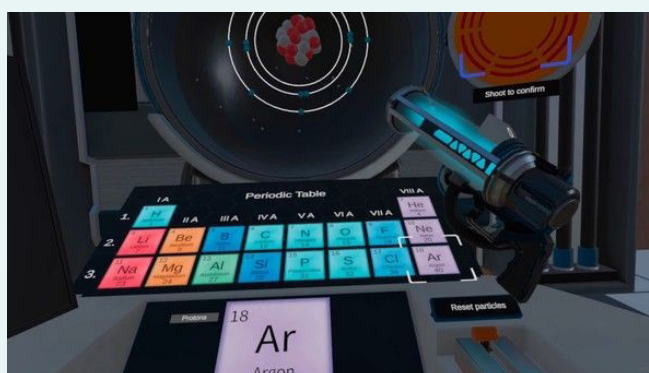


Abb. 1: Screenshot aus einer VR-Anwendung von *Futuclass* zum Thema Atombau. (<https://futuclass.com/>)

2. VSEPR-VR

Diese Anwendung adressiert das VSEPR-Modell und erlaubt es Nutzenden, aus der Perspektive eines Zentralatoms Molekülstrukturen interaktiv

zu konstruieren, wobei Liganden (in Form orangener Kugeln) im größtmöglichen Abstand zum Zentrum und zueinander auf einer Kugeloberfläche angeordnet werden müssen (vgl. Abb. 2). Feedbackmechanismen unterstützen den Lernprozess. Die Anwendung ist auf Deutsch und Englisch verfügbar und zielt vor allem auf Studierende im Hochschulbereich Chemie ab. Entwickelt wurde VSEPR-VR von der Chemiedidaktik der Universität Kassel, ist auf der Homepage der Arbeitsgruppe zu finden und kann kostenlos heruntergeladen werden. Verfügbar ist diese Anwendung für die VR-Systeme Meta Quest 2 und Meta Quest 3. Nähere Informationen lassen sich unter folgendem Link finden: <https://www.uni-kassel.de/fb10/institute/chemie/fachgebiete/didaktik-der-chemie/lernangebote/vr-lernumgebungen.html>

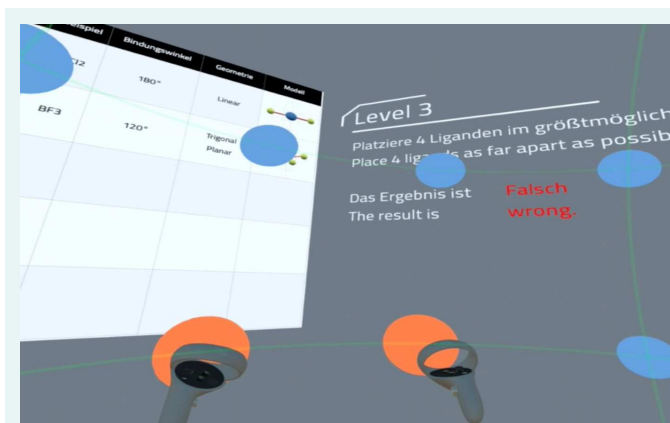


Abb. 2: Ein Ausschnitt aus VSEPR-VR. Im Level drei soll der Tetraeder mit den orangenen Kugeln erstellt werden. (<https://www.uni-kassel.de/fb10/institute/chemie/fachgebiete/didaktik-der-chemie/lernangebote/vr-lernumgebungen.html>)

3. Almas Disk – Atom

Almas Disk ist ein VR-Spiel, welches im Kern das Bohr'sche Atommodell behandelt, also thematisch in der Sekundarstufe I zu verorten ist. Lernende sollen hier gezielt dazu angeregt werden, die Bestandteile eines Atoms zu erforschen, indem sie verschiedene Werkzeuge einsetzen, um so die Eigenschaften diverser Elementarteilchen und Bestandteile dieses Atommodells zu verstehen. Zur Überprüfung des Erfahrenen und Gelernten dient eine Mind Map, auf der Nutzende Fragen zum Atombau beantworten können

(vgl. Abb. 3). Werden alle Fragen korrekt beantwortet, wird ein Periodensystem freigeschaltet und ein Atommodell aller Elemente wird verfügbar. Die Lernumgebung ist so angelegt, dass Nutzende sich frei bewegen und Objekte eigenständig und ohne festgelegte Reihenfolge erkunden können. Nutzende können so interaktive, immersive Erfahrungen für sich schaffen. Entwickelt wurde die Anwendung von dem Animationsstudio „Raumkapsel“ (Kassel). Verfügbar ist Almas Disk in deutscher und englischer Sprache, über den Meta-Store für einen einstelligen Betrag herunterzuladen und auf der Meta Quest 2 und 3 nutzbar. Näheres zu dieser Anwendung lässt sich unter <https://www.meta.com/de-de/experiences/almas-disk/9290064034408674/> finden.

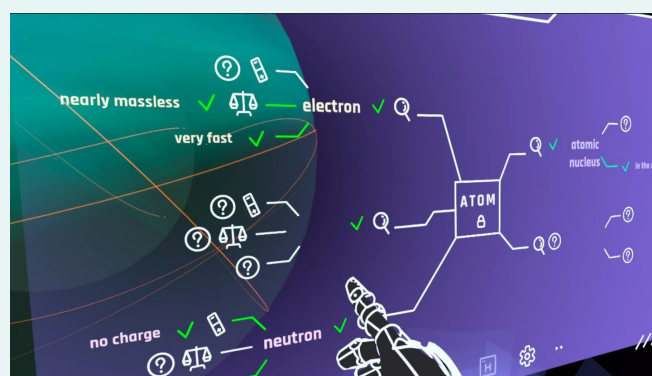


Abb. 3: Almas Disk – Atom. In der zu sehenden Mind Map können Fragen zum Atombau beantwortet werden, um das in VR Erfahrene zu überprüfen. (<https://www.meta.com/de-de/experiences/almas-disk/9290064034408674/>)

4. Orbital Space

In der Anwendung *Orbital Space* können diverse Atomorbitale (s-, p- und d-Orbitale) virtuell erkundet werden (Abb. 4). Nutzende können sich um und durch die Orbitale hindurchbewegen und so die Elektronenwolken sowie Knotenebenen erkennen. Die Hände (in der Realität die Controller) leuchten grün auf, wenn eine gewisse Elektronendichte vorliegt, ebenso ertönt ein Sonar-Ton in unterschiedlicher Frequenz. Beides steigert sich mit zunehmender Elektronendichte. Die Knotenebenen, also das Nichts, wird durch die Abwesenheit von grünem Leuchten und Tongeräusch erkenntlich. Der Fokus liegt hier auf

der Betrachtung der unterschiedlichen Orbitalformen. Hinweise zur Spielsteuerung sind in der Anwendung in Deutsch und Englisch verfügbar. Entwickelt wurde die Anwendung *Orbital Space* von der Chemiedidaktik der Universität Kassel und ist auf der Homepage der Arbeitsgruppe kostenlos downzuladen. Verfügbar ist diese Anwendung für die VR-Systeme Meta Quest 2 und Meta Quest 3. Sie eignet sich für den Einsatz in der Sekundarstufe II, sowie der Hochschule in der Studieneingangsphase. Weitere Informationen sind unter <https://www.uni-kassel.de/fb10/institute/chemie/fachgebiete/didaktik-der-chemie/lernangebote/vr-lernumgebungen.html> verfügbar.

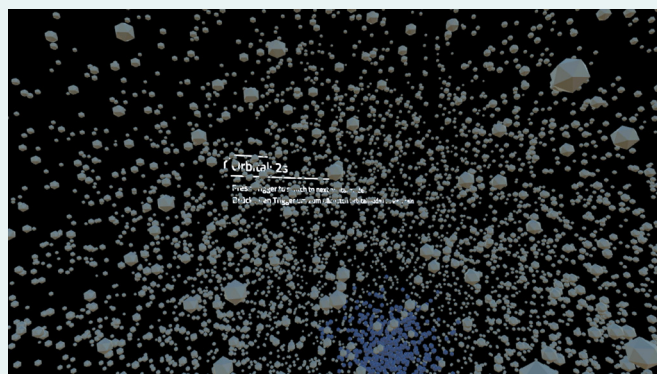


Abb. 4: Orbital Space. Der Ausschnitt zeigt eine Innenansicht des 2s-Orbitals (<https://www.uni-kassel.de/fb10/institute/chemie/fachgebiete/didaktik-der-chemie/lernangebote/vr-lernumgebungen.html>)

5. nanome

Diese professionelle Anwendung ermöglicht die kooperative Arbeit an molekularen Strukturen in Echtzeit. Zielgruppen sind Wissenschaft und Forschung, insbesondere im Bereich der Chemie, Biologie und Pharmazie. Aus verschiedenen Datenbanken können Molekülstrukturen auf die Arbeitsplattform geladen werden. Mit und in diesen können dann verschiedene Operationen durchgeführt werden, wie der Austausch funktioneller Gruppen oder Rotationen um Einfachbindungen. Außerdem können diverse Informationen über die Strukturen eingeholt werden, wie z. B. das Anzeigen von Bindungswinkeln. Gerade für die Betrachtung von makromolekularen Strukturen, beispielsweise Proteinen, kann *nanome* genutzt

werden, da hierfür eher selten gegenständliche Modelle existieren (vgl. Abb. 5). Die Anwendung ist in englischer Sprache verfügbar, auf der zugehörigen Homepage können verschiedene, kostenpflichtige Lizenzen für die Nutzung erworben werden, wofür ein Account auf der Homepage erstellt werden muss. Diese Anwendung ist mit den VR-Systemen von Meta, VIVE und Pico (diverse Modelle) kompatibel. Weitere Informationen sind unter <https://nanome.ai/> verfügbar.



Abb. 5: Der Workspace von nanome, in dem gerade eine Proteinstruktur bearbeitet wird. (<https://nanome.ai/>)

Diese Auswahl veranschaulicht sowohl das Potenzial als auch die Vielfalt VR-basierter Lernumgebungen in der Chemie. Gleichzeitig wird deutlich, dass sich die Landschaft aktuell noch in einem dynamischen Entwicklungsprozess befindet, dessen Ergebnisse sich in den nächsten Jahren offenbaren können.

Chancen und Herausforderungen beim Lernen mit VR

Grundsätzlich muss die Forschung über den Einsatz von VR für das Lernen von Chemie, sowie die sich daraus ergebenden Lerneffekte fortgeführt werden, wenngleich sich bereits einige Erkenntnisse abzeichnen. So zeigten Bennie et al. [12], dass beispielsweise das Verständnis bezüglich molekularer Strukturen und deren Bewegung durch den Einsatz einer VR-Anwendung gesteigert werden kann. Zudem besitzt VR das Potenzial, die Motivation von Lernenden zu erhöhen [10].

Die VR-Technik kann gerade zum für die Chemie so wichtigen Verstehen der makroskopischen, submikroskopischen und symbolische Ebenen und deren Beziehungen zu- und untereinander in Bezug auf vorangegangene, dargelegte Aspekte sicherlich einen Beitrag leisten.

Dennoch gibt es bezüglich eines vermehrten Einsatzes von VR für das Verstehen von Chemie noch einige Herausforderungen zu bewältigen: Das Angebot an verfügbaren VR-Lernumgebungen wächst zwar stetig – so gibt es zu immer mehr Themen der Chemie eine entsprechende Anwendung – die überwiegende Zahl dieser Ressourcen ist aber aktuell ausschließlich in englischer Sprache verfügbar, was zumindest für den Einsatz in der Schule eine Barriere darstellen kann. Dies kann natürlich auch mit Blick auf einen bilingualen Fachunterricht und einen adäquaten Blick auf die aktuelle Forschung und industrielle Realität der Chemie auch als Chance gesehen werden. Darüber hinaus ist es gerade mit Blick auf die Schule bedeutsam, Inhalte der Chemie in VR zu thematisieren, die zu curricularen Vorgaben konform sind. Dieses ist für einige Lernumgebungen wie *Futuclass* oder *Almas Disk* gegeben, wodurch aber bei weitem noch nicht alle in den Curricula enthaltenen Themen in VR abgebildet worden sind.

Für eine abschließende Beurteilung der Wirksamkeit von VR beim Lernen von Chemie fehlt es aber bislang an umfassenden, systematischen Untersuchungen bezüglich der Lerneffekte, welche durch VR-Anwendungen zum Verstehen von Chemie entstehen können. Hier ist mehr Forschung notwendig, die darlegt, was an VR-Umgebungen lernförderlich ist und wie diese Technik in Lernprozesse eingebunden werden sollte. Die hieraus gewonnenen Kenntnisse würden auch dabei helfen, neue VR-Umgebungen mit weiteren Inhalten zu entwickeln.

Eine weitere Herausforderung stellt sicherlich die Verfügbarkeit der Technik in Form von VR-Systemen an den (Hoch-)Schulen dar. Die Anschaffung der Technik ist, wenngleich mittlerweile erschwinglicher, kostenintensiv, gerade wenn man die Anzahl der benötigten VR-Sets für

ganze Lerngruppen bedenkt. Zudem kann – je nach VR-System – die Wartung und Aktualisierung zeitintensiv sein und benötigt zudem auch eine entsprechend qualifizierte Person.

Eine Barriere betrifft zudem die Zugänglichkeit zur Technik. Lehrpersonal muss in dem Umgang mit VR-Systemen vertraut sein, um einen professionellen Einsatz zu gewährleisten. Dieses kann durch Workshops und Fortbildungen erreicht werden. Wenn die VR-Technik darüber hinaus eine Zukunft in Bildungsbereichen wie Schule und Hochschule haben soll, wäre es ratsam, dass sie bereits in der akademischen Ausbildung, beispielsweise im Lehramtsstudium, behandelt würde, wodurch eine bessere Zugänglichkeit hergestellt würde und digitale Kompetenzen somit frühzeitig gefördert werden könnten.

Fazit

Virtual Reality eröffnet durch ihre immersiven und interaktiven Möglichkeiten neue Wege zur Vermittlung komplexer chemischer Inhalte, insbesondere dort, wo abstrakte Konzepte oder unzugängliche Phänomene visualisiert und erfahrbar gemacht werden müssen. Lehr-Lern-Chancen liegen dabei nicht nur in der Förderung von Motivation und räumlichem Vorstellungsvermögen, sondern auch in der potenziellen Unterstützung eines konzeptuellen Verständnisses auf den verschiedenen Repräsentationsebenen der Chemie – makroskopisch, submikroskopisch und symbolisch.

Doch über das bisher Geleistete hinaus ergibt sich ein differenziertes Aufgabenfeld für Forschung und Praxis: Zukünftig sollten VR-Anwendungen systematisch auf ihre Effektivität hinsichtlich fachspezifischer Lernziele untersucht und auf verschiedene Lernvoraussetzungen hin angepasst werden. Besonders lohnenswert scheint hierbei die Entwicklung adaptiver VR-Umgebungen, die sich an individuelle kognitive Bedürfnisse anpassen – etwa durch unterschiedliche Schwierigkeitsgrade, personalisierte Hilfen oder integrierte Feedbacksysteme.

Ein weiterer zentraler Entwicklungsschwerpunkt liegt in der curricularen Integration: Um VR nach-

haltig für das Verstehen von Chemie in der Schule und Hochschule zu verankern, braucht es nicht nur mit den Curricula konforme Inhalte, sondern auch didaktische Konzepte, die VR sinnvoll mit klassischen Lehr-Lern-Konzepten verknüpfen. Blended-Learning-Modelle, bei denen VR-Phasen gezielt in analoge oder digitale Unterrichtsszenarien eingebettet werden, könnten hier den Weg ebnen.

Nicht zuletzt sollte auch der Aufbau von Medienkompetenz bei Lehrkräften eine größere Rolle spielen. Der Umgang mit VR-Technologie sowie das Verständnis ihrer didaktischen Potenziale und Limitationen könnten künftig fester Bestandteil der Lehrkräftebildung sein, um eine fundierte, reflektierte und chancengerechte Nutzung zu gewährleisten.

Literatur

- [1] Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik - Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*, 1. Aufl. Springer Verlag.
- [2] Bernholt, A., Parchmann, I. (2015). Was lernen Schülerinnen und Schüler im Chemieunterricht der Sekundarstufe?
- [3] <https://www.ipn.uni-kiel.de/de/forschung/projekte/dolis/ipnbl152s4.pdf> (letzter Zugriff: 20.03.2018).
- [4] Barke, H. D., Yitbarek, S. (2009). Concept-Cartoon: Hilfen zur Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen. *MNU-Journal* 62/6, 364 – 367.
- [5] Stuckey, M., Sperling, J., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., Eilks, I. (2014). Ein Beitrag zum Verständnis der Relevanz des Chemieunterrichts. *CHEMKON* 21/4, 175 -180.
- [6] 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.
- [7] Di Natale, A.F., Repetto, C., Riva, G. and Villani, D. (2020). Immersive virtual reality in K-12 and higher education: A 10-year systematic review of empirical research. *Br. J. Educ. Technol.* 51, 2006-2033.
- [8] Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147.
- [9] Zender, R., Buchner, J., Schäfer, C., Wiesche, D., Kelly, K., Tüshaus, L. (2022). Virtual Reality für Schüler:Innen: Ein «Beipackzettel» für Die Durchführung Immersiver Lernszenarien Im Schulischen Kontext“. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung* 47, 26-52.
- [10] Qin, T., Cook, M., Courtney, M. (2021). Exploring Chemistry with Wireless, PC-Less Portable Virtual Reality Laboratories. *Journal of Chemical Education*. 98 (2), 521-529.
- [11] Bachiller, C., Monzo, J. M., & Rey, B. (2023). Augmented and Virtual Reality to Enhance the Didactical Experience of Technological Heritage Museums. *Applied Sciences*, 13 (6), 3539.
- [12] Springer Nature Link (2008). Immersive Virtual Reality. https://link.springer.com/rwe/10.1007/978-0-387-78414-4_85 (letzter Zugriff: 14.05.2025)
- [13] Santos Garduño, H.A., Esparza Martínez, M.I., Portuguez Castro, M. (2021). Impact of Virtual Reality on Student Motivation in a High School Science Course. *Appl. Sci.*, 11/20, 9516.
- [14] Bailenson, J. N., Yee, N., Blascovich, J., Beall, A. C., Lundblad, N., & Jin, M. (2008). The use of immersive virtual reality in the learning

sciences: Digital transformations of teachers, students, and social context. *Journal of the Learning Sciences*. 17/1, 102–141.

- [15] Bennie, S. J., Ranaghan, K. E., Deeks, H., Goldsmith, H. E., O'Connor, M. B., Mulholland, A. J., and David R. Glowacki, D. R. (2019). Teaching Enzyme Catalysis Using Interactive Molecular Dynamics in Virtual Reality. *J. Chem. Educ.* 96/11, 2488–2496.

Kurzbiografie und Foto

Mareike Frevert studierte Chemie und Philosophie auf Lehramt und promovierte in der Wissenschaftsphilosophie an der Universität Kassel. Danach folgte eine zweite Promotion in der Chemiedidaktik. Sie forscht zu Chemielernen mit VR, Nature of Science und Philosophie der Chemie.
mfrevert@uni-kassel.de



Burdinski, D.

Redoxanne

ein regelbasierter No-Code-Chatbot unterstützt beim verständnisgeleiteten Ausgleichen von Redoxgleichungen nach der Halbreaktionsmethode

Im Rahmen des hier vorgestellten Projekts wurde „Redoxanne“ (www.redoxanne.de), ein regelbasierter No-Code-Chatbot, der Studierende beim verständnisgeleiteten Ausgleichen von Redoxgleichungen nach der Halbreaktionsmethode unterstützt, entwickelt und als offene Bildungsressource (OER) implementiert. Mithilfe von Redoxanne können Lernende nahezu beliebige Redoxgleichungen, bei denen die wichtigsten Edukte und Produkte gegeben sind, im Selbststudium analysieren und vervollständigen. Gleichzeitig werden sie motiviert, den Prozess zunehmend eigenständig zu durchlaufen. Die Entwicklungsstufen und Schlüsselemente des Chatbots werden diskutiert und die chemiedidaktischen Implikationen werden, insbesondere im Hinblick auf die Förderung von selbstregulierten Lernprozessen (SRL) und die Kompetenzorientierung in der chemischen Bildung, reflektiert.

Einleitung

Redoxreaktionen sind essenziell für das Verständnis grundlegender chemischer Prozesse und vielfältiger Phänomene. Gleichzeitig stellt das Ausgleichen von Redoxgleichungen viele Lernende vor Herausforderungen. Mit der Einführung des Chatbots „Redoxanne“ wird ein innovativer Ansatz präsentiert, der Studierenden in der Studieneingangsphase, Auszubildenden und Oberstufenschülerinnen und -schülern durch eine regelbasierte, interaktive Lernunterstützung das selbstgesteuerte Lernen erleichtert und die Kompetenzentwicklung im Bereich der Anorganischen Chemie fördert.

Nachfolgend werden zunächst unterschiedliche Methoden für das Ausgleichen von Redoxgleichungen vorgestellt und miteinander verglichen. Anschließend werden die allgemeinen Potenziale und Herausforderungen von regelba-

sierten, sogenannten No-Code-Chatbots vorgestellt und diese gegenüber anderen, insbesondere KI-basierten Chatbots abgegrenzt. Auf Basis dieser Überlegungen wird die Entwicklung von Redoxanne vorgestellt und reflektiert, bevor in der abschließenden Diskussion näher auf die aus dem Entwicklungsprozess und der Implementierung gewonnenen Erfahrungen eingegangen wird.

Formulieren von Redoxgleichungen

Redoxreaktionen spielen eine zentrale Rolle in Chemie und Chemiedidaktik, da sie eng mit zahlreichen Phänomenen verknüpft sind, die auch Oberstufenschüler*innen und Studierende ohne umfassende Vorkenntnisse in der Chemie aus ihrer Alltagserfahrung oder dem Schulunterricht kennen. Hierzu gehören beispielsweise die Korrosion von Metallen, die Verbrennung von Brennstoffen, die menschliche Atmung und die Photosynthese. Während diese Themen in den meisten Lehrbüchern der allgemeinen Chemie aufgegriffen werden, werden die zugrundeliegenden Redoxprozesse jedoch in unterschiedlicher Tiefe behandelt. Insbesondere das stöchiometrische Ausgleichen von entsprechenden Redoxgleichungen stellt viele Lernende oft vor große Herausforderungen. Entsprechend vielfältig sind die didaktischen Ansätze, Methoden zum Lösen von Redoxgleichungen zu vermitteln. Die am häufigsten eingesetzten Methoden lassen sich grob in vier Kategorien einteilen [1, 2]:

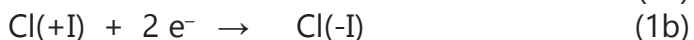
(a) Die „Versuch-und-Irrtum“-Methode stellt den einfachsten, jedoch auch fehleranfälligsten Ansatz dar. In diesem Verfahren entwickeln die Lernenden eigene Regeln, um die korrekten stöchiometrischen Koeffizienten der Reaktion zu finden. Dabei werden häufig intuitive Kriterien angewendet, die auf Erfahrungen beim Lösen von Nicht-Redox-Reaktionen basieren. Die ge-

wählten Lösungswege sind dabei oft erratisch oder führen nicht zum Ziel.

(b) Die algebraische Methode gewinnt in der Praxis weiter an Bedeutung [3–5], da sie breit auf alle Arten chemischer Reaktionen auch hoher Komplexität anwendbar ist [6]. Die Methode ist besonders für die Digitalisierung geeignet und bildet die Grundlage kostenloser oder kommerzieller Softwarelösungen und Online-Anwendungen [2, 7, 8]. Grundlage der Methode ist die Erstellung möglichst vieler mathematischer Gleichungen, auf der Grundlage ausgeglichener Atom-, Ladungs- und Redoxbilanzen auf der Edukt- und Produktseite [5]. Aus didaktischer Sicht besteht allerdings die Gefahr, dass diese Herangehensweise zu einer rein mechanischen Ausführung der Algorithmen oder zu einer unkritischen Nutzung der gegebenenfalls eingesetzten Software führt, die für die Reaktionsbilanzierung entwickelt wurde, denn eine tiefergehende Analyse der zugrundeliegenden Redoxprozesse ist hierfür nicht erforderlich [9, 10].

(c) Die auf der Oxidationszahl basierende Methode bietet hierzu eine Alternative, indem sie stärker den eigentlichen Redoxprozess in den Blick nimmt und somit das entsprechende Verständnis des chemischen Kernprozesses fördert [11].

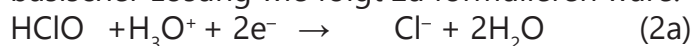
Als Beispiel soll die Teilreaktion der Reduktion von Hypochlorit (ClO^-) zu Chlorid (Cl^-) dienen, welche nach dieser Methode wie folgt zu formulieren wäre:



Diese Formulierung erfordert gleichwohl ein gesichertes Verständnis des Begriffs der Oxidationszahl, die von Lernenden oft mit der realen Ladung der Elemente verwechselt wird [12]. Diese Problematik ist in dem genannten Beispiel insbesondere in einer Formulierung gemäß Gleichung 1a leicht nachvollziehbar. Vor allem bei mehratomigen Verbindungen mit einem mehrfach, in unterschiedlichen Oxidationsstufen enthaltenen Element, stellt dies eine zusätzliche Schwierigkeit dar [13, 14]. Um Unsicherheiten bei der Bestimmung der Oxidationszahl zu um-

gehen, wurden verschiedene Varianten der Methode vorgeschlagen [15–17].

(d) Die Halbreaktionsmethode (auch ionisch-elektronische Methode genannt) führt nicht nur zur Identifikation des Elektronentransfers, sie umfasst auch stöchiometrische Konzepte unter Berücksichtigung der real auftretenden Verbindungen. Bei dieser Methode werden die chemischen Spezies und spezifischen Atome ermittelt, die Elektronen abgeben oder aufnehmen. Als Beispiel soll wiederum die Teilreaktion der Reduktion von Hypochlorit zu Chlorid dienen, welche nach dieser Methode in saurer bzw. in basischer Lösung wie folgt zu formulieren wäre:



Sie erfordert die Vorhersage von Reaktionsprodukten (was in diesem Beispiel recht einfach ist) sowie eine Berücksichtigung der weiteren Bedingungen (hier des pH-Wertes), wodurch ein gewisses Maß an Kenntnissen in der Anorganischen Chemie vorausgesetzt wird. Da diese Voraussetzung in schulischen Kursen sowie selbst in Grundlagenkursen an Hochschulen oft nicht gegeben ist, werden Redoxreaktionen in diesen Kursen meist in ihrer (weitgehend) vollständigen, aber noch unausgeglichenen Form angegeben. Die zentrale Aufgabe besteht für die Lernenden dann darin, gegebenenfalls noch fehlende Nebenprodukte sowie die passenden stöchiometrischen Koeffizienten zu ermitteln.

Durch die Kombination der Halbreaktionsmethode mit einer Analyse der (Standard-) Redoxpotenziale der beteiligten Reaktanden bei der sogenannten thermodynamischen Methode, können darüber hinaus auch unerfahrene Lernende in die Lage versetzt werden, Redoxgleichungen, unter Berücksichtigung der jeweiligen (Standard-)Redoxpotenziale möglicher Halbzellenreaktionen, nicht nur auszugleichen, sondern grundsätzlich auch die möglichen Reaktionsprodukte vorherzusagen, sofern diese nicht gegeben sind, oder zwischen gegebenen alternativen Produkten zu unterscheiden [2].

Chatbots zur Lernunterstützung

Moderne didaktische Methoden betonen stärker das selbstgesteuerte Lernen (Self-Regulated Learning, SRL) neuer Themen und Konzepte durch die Lernenden, insbesondere in der Selbststudienzeit außerhalb formalisierter Lehrveranstaltungen (Präsenzzeit) [18, 19]. So sollen die Entwicklung von Handlungskompetenzen gefördert und die Voraussetzungen für nachhaltige Lernprozesse im Sinne eines lebenslangen Lernens geschaffen werden. Trotz seines didaktischen Potenzials ist SRL für viele Lernende eine Herausforderung. Didaktische Chatbots haben das Potenzial, SRL-Prozesse zu unterstützen oder von außen zu regulieren, indem sie mit den Lernenden auf adaptive Weise interagieren. Hierbei zeigte sich, dass Chatbots produktive SRL-Prozesse fördern und die Lernleistung von Studierenden in unterschiedlichen Lernbereichen steigern können [20].

In der Bildung eingesetzte Chatbots werden aktuell hauptsächlich auf Webplattformen entwickelt und überwiegend zur Lehrstrukturierung, seltener als Feedbackgeber eingesetzt. Die meisten Chatbots verwenden einen strukturierten Gesprächsverlauf [21]. Gleichwohl können sie diesen adaptiv gestalten und so eine individualisierte Lernerfahrung ermöglichen [22]. Insbesondere bei solchen Chatbots, die auf Algorithmen sogenannter künstlicher Intelligenz (KI) basieren, gehören zu den Herausforderungen und Einschränkungen unzureichendes Training der Datensätze und mangelnder Rückgriff auf Heuristiken zur Benutzerfreundlichkeit [21].

No-Code- (NC-)Chatbots (Chatbot-Baukästen) ermöglichen es, auch ohne Programmierkenntnisse Chatbots zu erstellen. Anders als bei Chatbots, die auf KI-Methoden basieren, eignen diese sich insbesondere für einfache Anwendungsfälle und die Erstellung regelbasierter Chatbots, die eine sehr enge Dialogführung vorsehen. Einschränkungen ergeben sich aus den vom Anbieter bereitgestellten Strukturen und Funktionen. Hierzu gehört auch die Datenverarbeitung auf externen Computersystemen, welche in der Regel eine anonyme Nutzung erfordert [23].

Populäre NC-Chatbot-Anwendungen sind u.a. Landbot, Dialogflow, Chatbot, wati, freshworks, Chatbase. Diese bieten meist, neben einem kostenpflichtigen Angebot, auch einen kostenlosen Zugang, in der Regel mit eingeschränktem Funktionsumfang. Hierzu gehört auch eine begrenzte Anzahl möglicher Chatverläufe (z.B. max. Anzahl Chats/Monat). Die Entwicklung eigener Chatbots mit Frameworks auf entsprechenden Plattformen ist dagegen anspruchsvoller und setzt Programmierkenntnisse voraus [24].

NC-Plattformen ermöglichen es demgegenüber auch Personen ohne Programmiererfahrung, maßgeschneiderte Kommunikationsanwendungen und Websites zu erstellen. Sogar Menschen mit Behinderungen können mit gezieltem Training effektiv NC-Plattformen nutzen, um Werkzeuge für die Erleichterung ihrer Arbeit zu entwickeln und zu nutzen [25].

In der technischen Entwicklung von Chatbot-Lösungen werden Low-Code- (hier sind minimale Programmierkenntnisse erforderlich) und NC-Werkzeuge aktuell insbesondere bei der schnellen Prototypenentwicklung und -testung eingesetzt. Während sie in den frühen Phasen wegen ihrer Agilität und Einfachheit Vorteile bieten, gewinnen die Einschränkungen solcher Systeme mit zunehmender Systemkomplexität an Bedeutung [26]. Doch auch im Bereich der NC-Chatbot-Entwicklung bieten RAD-Methoden (Rapid Application Development) mittlerweile neue Möglichkeiten, welche die Entwicklung schneller und flexibler machen [27]. Allgemein zeigte sich, dass ein regelbasierter Chatbot gegenüber einem entsprechenden, auf natürlicher Sprachverarbeitung basierenden Chatbot bezüglich Suchbarkeit und Zuverlässigkeit als überlegen wahrgenommen werden kann, auch, wenn er weniger intuitiv bedienbar ist, sodass insbesondere mit Chatbots unerfahrenen Nutzer*innen ersteren bevorzugten [28].

Im Hochschulbetrieb werden NC-Chatbots bereits vielfach zur Unterstützung von Studierenden bei administrativen Anfragen sowie zur Lernmotivation eingesetzt [24, 29, 30]. Eine Untersuchung in einem physikalischen Studiengang zeigte

beispielsweise, dass die Technologieakzeptanz der Studierenden gegenüber regelbasierten Chatbots hoch war, obwohl diese Chatbots im Vergleich zu auf maschinellem Lernen oder auf Deep Learning basierten Chatbots technologische Einschränkungen aufweisen. Insbesondere wurden bezüglich der NC-Chatbots die Qualität der Antworten, die Qualität der Informationen und der einfache Zugang herausgestellt [31].

Chatbots in der chemischen Lehre

Insbesondere ChatGPT, stärker als andere KI-basierte Chatbots, ist auch in der Chemiedidaktik auf große Resonanz gestoßen. Während bisherige Versionen noch nicht in der Lage waren, den Studierenden verlässliche Antworten oder Erklärungen für viele repräsentative Prüfungsfragen zu geben, waren sie gut geeignet, eigene Aufgaben zu erstellen, bei denen die Studierenden die Antworten von ChatGPT analysieren und verbessern, oder als Hilfsmittel bei der Erstellung von Laborberichten nutzen konnten [32, 33].

Die fachliche Spezifizierung und Nutzerfreundlichkeit chemischer Anfragen an KI-Chatbots kann beispielsweise durch die Verwendung spezialisierter Versionen von ChatGPT verbessert werden. Diese sogenannten GPTs, unterscheiden sich von der Standard-GPT-Version durch eine vorgeschaltete, fachspezifische Prompt-Ebene, welche Anfragen in den passenden fachlichen Kontext setzt. GPTs sind beispielsweise für Nutzende kostenlos im OpenAI GPT ‚store‘ verfügbar [34, 35].

Im Bereich der schulischen Bildung zeigte sich eine positive Auswirkung eines regelbasierten Chatbots auf die naturwissenschaftlichen Leistungen und das Interesse der Lernenden, wobei die Auswirkungen auf die Lernenden mit niedrigeren Leistungsniveaus besonders deutlich waren [36]. Gleichwohl finden sich in der Literatur überwiegend Chatbot-Anwendungen auf KI-Basis, während regelbasierte Chatbot-Entwicklungen eher in spezifischen Nischenanwendungen eine Rolle spielen [34, 35, 37].

Entwicklung des regelbasierten No-Code-Chatbots Redoxanne

Im Zuge der Umstellung verschiedener Grundlagenlehrveranstaltungen in der Anorganischen Chemie am Campus Leverkusen der TH Köln auf strikt kompetenzorientierte Flipped-Learning-Modelle, ist die effektive Unterstützung der Studierenden in den SRL-Phasen nochmal stärker in den Blick gerückt [38, 39]. In den genannten Veranstaltungen ist insbesondere das Ausgleichen von Redoxgleichungen ein wichtiges Querschnittsthema und stellt für Studierende oft eine erhebliche Lernhürde dar [40, 41]. Daher sollte an diesem Themenkomplex exemplarisch untersucht werden, inwieweit die Studierenden durch einen auf diese Thematik spezialisierten, regelbasierten Chatbot (mit dem Namen „Redoxanne“) besser im Selbststudium unterstützt werden können. Dabei ging es explizit nicht nur um das Ausgleichen der Redoxgleichungen *per se*, sondern vor allem darum, den Prozess verständnisgeleitet zu steuern, die Studierenden also beim eigenständigen Ausgleichen der Reaktionsgleichung zu unterstützen, sodass diese trainieren können, den Prozess inhaltlich zu analysieren und zunehmend selbstständig zu durchlaufen. Daher wurde als fachliche Basis für die Chatbot-Entwicklung die Halbreaktionsmethode gewählt, welche in den genannten Veranstaltungen bereits zuvor als Lehrgrundlage diente, denn sie verknüpft das Aufstellen von Redoxgleichungen elegant mit den elektrochemischen Grundlagen (Halbzellenreaktionen) von Redox-Prozessen. Von den beiden möglichen Varianten beim Aufstellen der Halbreaktionen wurde die Variante gewählt, die den Redoxprozess als ersten (und damit wichtigsten) Analysenpunkt beschreibt (siehe z.B. [42]). Die einzelnen Schritte werden dabei wie folgt geordnet:

1. Bestimmen der Oxidationszahlen
2. Hinzufügen von Elektronen zum Ausgleichen der Änderung der Oxidationszahlen

3. Ausgleichen der Ladungen mit H_3O^+ oder OH^- und H_2O (das schränkt die Nutzung auf Reaktionen in wässriger Lösung ein)

4. Ausgleichen der sonstigen Atombilanzen

Das Befolgen der Schritte in umgekehrter Reihenfolge (4-3-2-1), das grundsätzlich auch zum Ziel führt, wurde als im genannten Kontext didaktisch weniger geeignet angesehen [16, 43]. Als Entwicklungs- und Nutzungsplattform wurde die kostenfreie Version von Landbot (<https://landbot.io/>) gewählt, da mit dieser bereits erste Erfahrungen im Rahmen einer didaktischen Fortbildung gesammelt worden waren.

Im ersten Entwicklungsschritt stellte es sich als

scheidungsabhängigen Handlungsanweisungen zusammenfassend dargestellt war. Lernende sollten hiernach nur die Möglichkeit haben, entweder aus vorgegebenen Antwortoptionen zu wählen, oder sie sollten aufgefordert werden, kurze textliche oder numerische Eingaben zu machen. Auf Basis dieses Dokuments wurde die Umsetzung auf der Landbot-Plattform mit Unterstützung durch eine studentische Hilfskraft gestartet. Hierbei auftretende Uneindeutigkeiten wurden im weiteren Umsetzungsprozess erkannt und behoben, sodass der Chatbot schon im Entwicklungsprozess unter der dauerhaften URL „www.redoxanne.de“ allen Interessierten als offene Bildungsressource (OER) verfügbar gemacht werden konnte.



Abb. 1a: Start des Chats der/des Lernenden (pinke Felder) mit Redoxanne (weiße Felder).

Abb. 1b: Start des Chats: grafische NC-Programmierung im Backend der Plattform.

essenziell heraus, die von den Studierenden bei der Anwendung der Halbreaktionsmethode anzustellenden (Vor-)Überlegungen und jede einzelne zu treffende Entscheidung explizit in Textform zu formulieren – ein für „Programmierprofis“ mutmaßlich selbstverständliches Vorgehen. Aus didaktischer Perspektive war insbesondere dieser Schritt gleichwohl besonders wertvoll, da hierbei im Sinne eines Decoding-the-Disciplines-Ansatzes explizit gemacht wurde, wie viele Entscheidungen Studierende beim Anwenden der Methode eigentlich treffen und trainieren müssen [44, 45].

Auf diese Weise entstand ein hierarchisch strukturiertes Text-Dokument, in welchem der Gang der Reaktionsgleichungsanalyse als Abfolge von Entscheidungspunkten und dezidierten ent-

Aus Sicht der Lernenden startet der Dialog mit einer sehr kurzen Begrüßung (Abb. 1), die auch dem Beziehungsaufbau sowie dem Einüben der Bedienung dient [24]. Zentrale Entscheidungspunkte in der Eingangsphase des Dialogs sind:

- Sind Edukte und Produkte in der Reaktionsgleichung gegeben?
- Handelt es sich überhaupt um eine Redox-Reaktion (Abb. 2)?

Sollte eine der Fragen mit „Nein“ beantwortet werden, kann der Chatbot in der aktuellen Version (noch) nicht helfen und verweist auf weitere Informationsquellen. Für diese Fälle sind aber bereits Erweiterungsoptionen angelegt.

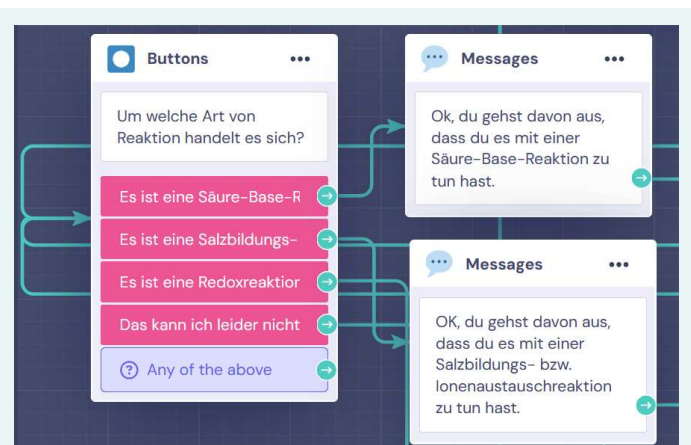


Abb 2: Typische Entscheidungsfrage im Chatverlauf, hier zur Art der Reaktion (Redoxanne: weiße Felder, Lernende*r: pinke Felder), auf der Nutzeroberfläche (links) und NC-Programmierung im Backend (rechts).

Im eigentlichen analytischen Teil geht es dann in mehreren Schritten darum, die Teilgleichungen zu identifizieren und dabei die relevanten Oxidationszahlen sowie die auszutauschenden Elektronen zu ermitteln (s.o.). Lernenden, die noch Unterstützung bei der Ermittlung der Oxidationszahlen benötigen, werden Selbstlernvideos angeboten, in denen die hierfür notwendigen Regeln erläutert werden, sodass sie auch in diesem Prozessschritt Unterstützung erfahren (Abb. 3) – auch, wenn dieser Schritt nicht explizit in Redoxanne angelegt ist [46].



Weitere zentrale Entscheidungspunkte im weiteren Dialogverlauf sind:

- Handelt es sich um eine Dis-/Komproportionierung oder eine sonstige Redoxreaktion?
- Um wie viele Stufen ändert sich die Oxidationszahl in der jeweiligen Halbreaktion (Abb. 4)?
- Wie viele Atome des „redoxaktiven“ Elements sind an der Halbreaktion beteiligt (Abb. 4)?
- Erfolgt die Reaktion unter eher neutralen, sauren oder basischen Bedingungen?

Insbesondere die letzte Frage stellt Lernende häufig vor große Probleme. Viele neigen dazu, vorzugsweise mit H_3O^+ auszugleichen, auch, wenn es sich eigentlich um eine basische Lösung handelt, vermutlich da das Ausgleichen in saurer Lösung zeitlich früher oder tendenziell häufiger besprochen wird.

Sowohl an das Aufstellen der Halbreaktionsgleichungen als auch hinter das Zusammenfügen der Gesamtgleichung sind jeweils Kontrollfragen geschaltet, mit denen die Lernenden überprüfen können, ob sie den Prozess bis zu diesen Punkten jeweils erfolgreich durchlaufen haben, bevor sie darin weiterarbeiten.

Nachdem alle Kontrollfragen erfolgreich abgearbeitet wurden (es ist wichtig, dass Studierende lernen, ihr Ergebnis immer kritisch zu prüfen), wird der Chatverlauf beendet. Lernenden werden entweder weitere Informationsquellen im Bereich der Anorganischen Chemie empfohlen, oder sie können einen neuen Prozessdurchlauf mit einer neuen, von ihnen gewählten Redoxgleichung starten (Abb. 5).

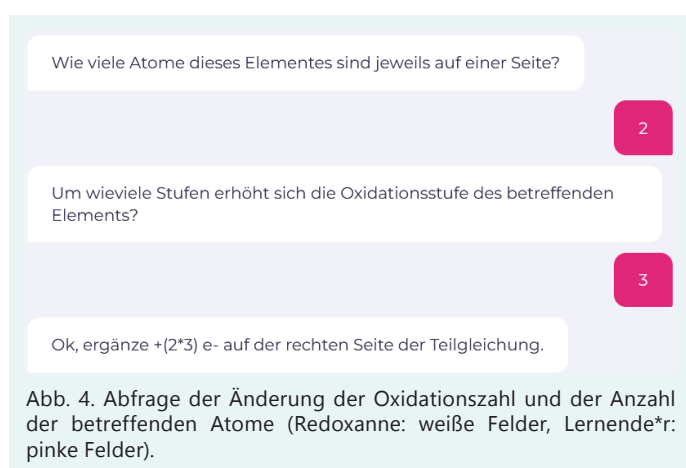


Abb. 4. Abfrage der Änderung der Oxidationszahl und der Anzahl der betreffenden Atome (Redoxanne: weiße Felder, Lernende*r: pinke Felder).



Abb 5: Abschluss des Chatverlaufs mit der Option auf einen weiteren Durchlauf (Redoxanne: weiße Felder, Lernende*r: pinke Felder).

Diskussion

NC-Chatbots bieten für Lernende allgemein den Vorteil einer individuellen, bedarfsorientierten Unterstützung im Selbststudium ohne zeitliche Beschränkungen. Die erhaltenen Informationen bzw. fachlichen Impulse sind zudem verlässlich

(kein Halluzinieren, d.h. Erfinden von Zahlen oder Fakten durch KI-Chatbots) und werden sehr fokussiert, mit geringem Ablenkungspotenzial angeboten. Bei der Erstellung eines NC-Chatbots ist es daher erforderlich, Lernwege vorab detailliert zu durchdenken und potenzielle Flaschenhälse (bottlenecks) im Lernprozess sowie sonstige Probleme zu identifizieren und diese im Rahmen der „Programmierung“ zu adressieren. Auf dieser Basis wurde oben die Entwicklung eines NC-Chatbots als Lernbegleitung beim Ausgleichen von Redoxgleichungen vorgestellt.

Das sichere Ausgleichen von Redoxgleichungen auf Basis eines fundierten Verständnisses der zugrundeliegenden Redoxprozesse ist essenziell für die Entwicklung von Handlungskompetenzen im Bereich der Anorganischen Chemie (und darüber hinaus). Im Kontext der Entwicklung nachhaltiger chemischer Prozesse bilden Redoxgleichungen die Basis für das Verständnis von Atombilanzen. Vor diesem Hintergrund hat Andraos die Fähigkeit, chemische Gleichungen zu bilanzieren, als zwingende Voraussetzung für die Analyse grüner Metriken hervorgehoben und eine frühzeitige Verknüpfung beider Konzepte in der chemischen Ausbildung angeregt [47]. Eine wichtige fachliche Grundlage bildet hierfür die Halbreaktionsmethode zum Aufstellen von Redoxgleichungen, vorzugsweise mit einer Betonung des jeweiligen Redoxprozesses an erster Stelle.

Bei der Entwicklung des regelbasierten NC-Chatbots „Redoxanne“ wurde das entsprechende Verfahren so umgesetzt, dass es von den Lernenden auf (nahezu) beliebige Redoxgleichungen in wässriger Lösung, bei denen die relevanten Edukte und Produkte bekannt sind, selbstständig angewendet werden kann. Hierdurch sollte erreicht werden, dass Lernende in der Selbstlernphase nicht aus dem Selbstlernen aussteigen, falls sie ggf. an einer Stelle des Prozesses über ein Problem stolpern, das sie nicht ohne Unterstützung lösen können. Für die Entwicklung des Chatbots war es wichtig, die meisten der möglicherweise auftretenden Probleme im Sinne eines Decoding-the-Disciplines-Ansatzes zu identifizieren und entsprechend zu adressieren, ohne, auf der

anderen Seite, schon fortgeschrittene Lernende zu sehr in ihrem Lernen abzulenken [44, 45]. Dabei stellte sich gerade die intensive Auseinandersetzung mit diesen möglichen Problemen als eigentlicher Mehrwert für die Lehrenden heraus, da sie das Bewusstsein für die Komplexität des Prozesses schärfte und die Vielzahl der hierin auftretenden Entscheidungspunkte explizit und damit adressierbar machte.

Hieraus ergibt sich eine neue, ursprünglich nicht geplante didaktische Einsatzmöglichkeit für die Chatbot-Entwicklung in der Lehrkräfteausbildung. Hier kann die Entwicklung themenspezifischer Chatbots, auch gemeinsam mit den Schüler*innen oder anderen Lernenden, zu einem neuen und tieferen Verständnis von Lernprozessen beitragen. Gleichzeitig ergeben sich Möglichkeiten für eine interaktive, kompetenzorientierte Unterrichtsgestaltung nicht nur durch die Nutzung, sondern auch durch die gemeinsame Entwicklung solcher spezifischen NC-Chatbots.

nochmal an Bedeutung. Abb. 6 gibt zur Illustration einen Überblick über ca. ein Drittel der grafischen Programmierung von Redoxanne. Neben der inhaltlichen Strukturierung mussten diese Inhalte eingepflegt und verknüpft werden. Hierfür waren insgesamt ca. 100 Personalstunden, verteilt auf insgesamt zwei Personen, für das Erstellen einer ersten vollständigen Version erforderlich. Einige weitere Stunden wurden für das Beheben von Fehlern und Unschärfen verwendet. Hieraus lässt sich ableiten, dass entsprechend kleinere Projekte durchaus im Rahmen einzelner Lehrveranstaltungen oder Projekte durchgeführt werden können.

Da die Nutzung des Chatbots weitgehend anonym erfolgte, ist es schwer, einen direkten Bezug zu den eigenen Lehrveranstaltungen des Autors herzustellen. Im letzten Studienjahr wurden insgesamt ca. 300 Chatverläufe registriert. Hiervon wurden ca. 2% vollständig abgeschlossen, die meisten damit noch im Chatverlauf beendet. Mögliche Gründe hierfür sind, dass die jeweiligen Probleme im Verlauf bereits hinreichend

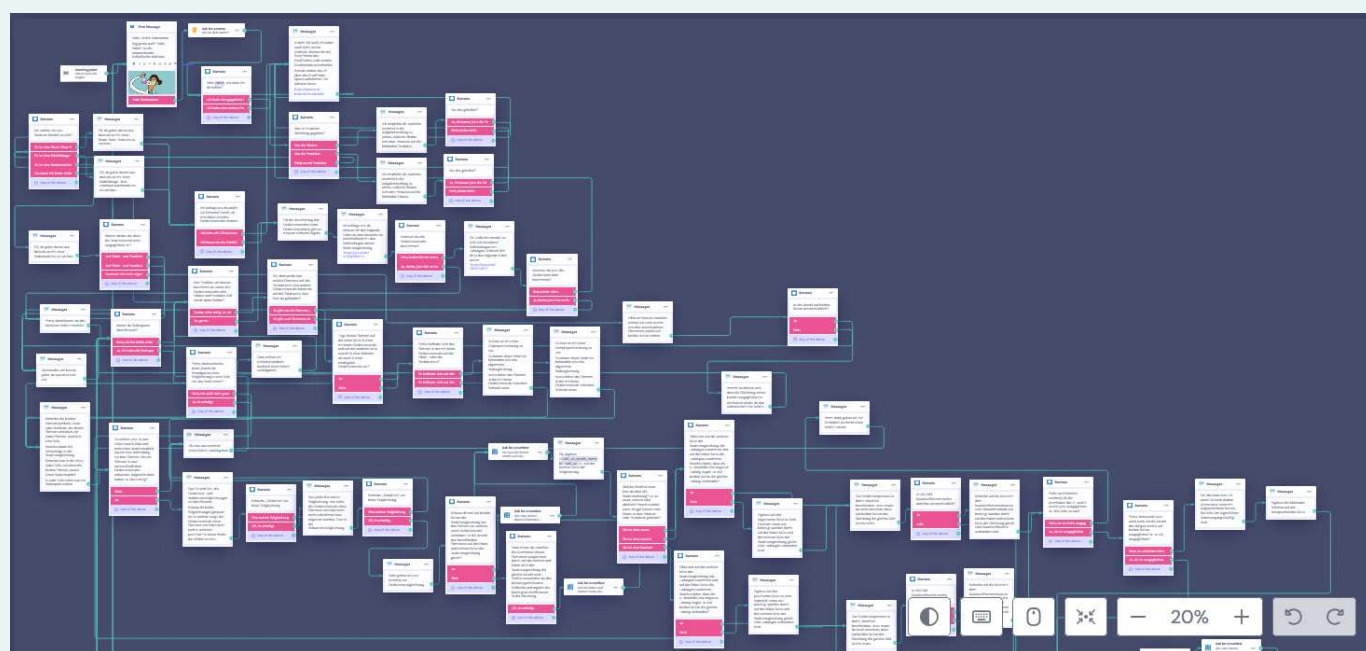


Abb 6: Überblick über die grafische Programmieroberfläche mit ca. einem Drittel des Umfangs von Redoxanne.

Mit Blick auf diese sehr interaktive Einsatzmöglichkeit gewinnt der zeitliche und personelle Aufwand bei der Entwicklung eines NC-Chatbots

gelöst werden konnten oder die Lernenden das Interesse verloren haben. Bei im Mittel ca. 30-40 Teilnehmenden in den Lehrveranstaltungen wür-

den die 300 Chatverläufe bis zu zehn Chats pro Student*in entsprechen. Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass der Chatbot auch außerhalb der eigenen Hochschule im Rahmen von Workshops und individuellen Kontakten bekannt gemacht wurde, ist hier aber mutmaßlich eher von einer größeren potenziellen Zahl an Nutzenden auszugehen. Gleichwohl ist dies eine erfreuliche Resonanz, die wiederum für die intensivere Nutzung der Möglichkeiten von NC-Chatbots in der Lehre spricht.

Literatur

- [1] Jensen, W.B. (2009) Balancing Redox Equations. *J. Chem. Educ.*, 86 (6), 681–682.
- [2] Macciò, D., Ottonelli, M., Alloisio, M. (2023) Solving Redox Reactions: The Advantages of the Thermodynamic Method. *J. Chem. Educ.*, 100 (6), 2215–2223.
- [3] Risteski, I.B. (2009) A New Singular Matrix Method for Balancing Chemical Equations and Their Stability. *J. Chin. Chem. Soc.*, 56 (1), 65–79.
- [4] Smith, W.R. and Missen, R.W. (1997) Using Mathematica and Maple To Obtain Chemical Equations. *J. Chem. Educ.*, 74 (11), 1369.
- [5] Olson, J.A. (1997) An Analysis of the Algebraic Method for Balancing Chemical Reactions. *J. Chem. Educ.*, 74 (5), 538.
- [6] Nelson, S.R. and Sobkowiak, A. (1997) Redox Challenges. *J. Chem. Educ.*, 74 (11), 1256.
- [7] Davenport, D.A., Groves, P., Jensen, D.L. (1990) REDOX: A Tutorial on REDuction/Oxidation Equations. *J. Chem. Educ.*, 67 (6), 498.
- [8] Campanario, J.M. (1995) Automatic 'balancing' of chemical equations. *Computers & Chemistry*, 19 (2), 85–90.
- [9] Brandriet, A.R. and Bretz, S.L. (2014) Measuring meta-ignorance through the lens of confidence: examining students' redox misconceptions about oxidation numbers, charge, and electron transfer. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15 (4), 729–746.
- [10] Rosa, V. and Lewis, S.E. (2018) Chemistry topics posing incommensurate difficulty to students with low math aptitude scores. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 19 (3), 867–884.
- [11] Mousavi, A. (2018) Revival of the oxidation number method for balancing redox equations. *Transactions of the Royal Society of South Africa*, 73 (1), 86–89.
- [12] Goes, L.F., Nogueira, K.S.C., Fernandez, C. (2020) Limitations of Teaching and Learning Redox: A Systematic Review. *PEC*, 78 (5), 698–718.
- [13] Karen, P. (2015) Oxidation state, a long-standing issue! *Angew. Chem. (Int. Ed. Engl.)*, 54 (16), 4716–4726.
- [14] Calzaferri, G. (1999) Oxidation Numbers. *J. Chem. Educ.*, 76 (3), 362–363.
- [15] Dukov, I. (2017) Balancing of oxidation-reduction (redox) reactions with higher boranes participation: Oxidation number method or material balance method? *Chemistry (Bulgaria)*, 26 (6), 874–880.
- [16] Viswanathan, B. and Razul, M.S.G. (2020) A Method for Teaching How to Balance Redox Reactions by Building Up Molecules. *World J. Chem. Educ.*, 8 (2), 67–70.
- [17] Zheng, S. (2022) Balancing redox equations through zero oxidation number method. *Chem. Teach. Inter.*, 4 (1), 55–59.
- [18] Korflesch, H.F.O. von and Lehmann, B. (eds) (2017) *Online-/Distance-Education:*

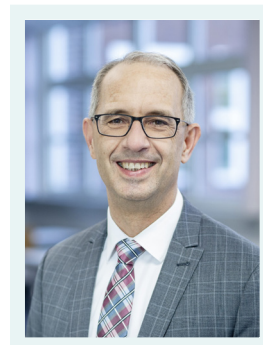
- Entwicklungslinien und Trends des Fernstudiums, Schneider Verlag Hohengehren GmbH, Baltmannsweiler.
- [19] Boekaerts, M. (1997) Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Lern. Instruct.*, 7 (2), 161–186.
- [20] Guan, R., Raković, M., Chen, G., Gašević, D. (2025) How educational chatbots support self-regulated learning? A systematic review of the literature. *Educ. Inf. Technol.*, 30 (4), 4493–4518.
- [21] Kuhail, M.A., Alturki, N., Alramlawi, S., Alhejori, K. (2023) Interacting with educational chatbots: A systematic review. *Educ. Inf. Technol.*, 28 (1), 973–1018.
- [22] Labadze, L., Grigolia, M., Machaidze, L. (2023) Role of AI chatbots in education: systematic literature review. *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.*, 20 (1), 1–17.
- [23] Følstad, A., Skjuve, M., Brandtzaeg, P.B. (2019) Different Chatbots for Different Purposes: Towards a Typology of Chatbots to Understand Interaction Design, in *Internet Science: INSCI 2018 International Workshops*, St. Petersburg, Russia, October 24–26, 2018, Revised Selected Papers (eds S.S. Bodrunova, O. Koltsova, A. Følstad, H. Halpin, P. Kolozaridi, L. Yuldashev, A. Smoliarova, H. Niedermayer), Springer International Publishing, Cham, 145–156.
- [24] Mai, V. (2024) Chatbots im (Studierenden-) Coaching: Einfluss beziehungsbildender Faktoren auf die Beziehungsgestaltung im KI-basierten Mensch-Maschine-Coaching. Technische Hochschule Köln.
- [25] Hamideh Kerdar, S., Kirchhoff, B.M., Adolph, L., Bächler, L. (2025) A Study on Chatbot Development Using No-Code Platforms by People with Disabilities for Their Peers at a Sheltered Workshop. *Technologies*, 13 (4), 146.
- [26] Liu, Y., Lee, M., Yang, B., Martens, J.-B. (2024) Low Code Conversation-based Hybrid UI Design Case Study and Reflection, in *Proceedings of the Eleventh International Symposium of Chinese CHI: CHCHI 2023: Chinese CHI 2023*, Denpasar, Bali Indonesia, Association for Computing Machinery, 139–145.
- [27] Silkhi, H., Bakkas, B., Housni, K. (2024) Comparative Analysis of Rule-Based Chatbot Development Tools for Education Orientation: A RAD Approach, in *NISS '24: Proceedings of the 7th International Conference on Networking, Intelligent Systems and Security*, Association for Computing Machinery, 1–7.
- [28] Lim, Y., Lim, J., Cho, N. (2020) An Experimental Comparison of the Usability of Rule-based and Natural Language Processing-based Chatbots. *Asia Pacific Journal of Information Systems*, 30 (4), 832–846.
- [29] Singh, J., Joesph, M.H., Jabbar, K.B.A. (2019) Rule-based chatbot for student enquiries. *J. Phys. Conf. Ser.*, 1228 (1), 12060.
- [30] Pérez, J.Q., Daradoumis, T., Puig, J.M.M. (2020) Rediscovering the use of chatbots in education: A systematic literature review. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 28 (6), 1549–1565.
- [31] Güldal, H. and Dinçer, E.O. (2025) Can rule-based educational chatbots be an acceptable alternative for students in higher education? *Educ. Inf. Technol.*, 30 (3), 3979–4012.
- [32] Clark, T.M. (2023) Investigating the Use of an Artificial Intelligence Chatbot with General Chemistry Exam Questions. *J. Chem. Educ.*, 100 (5), 1905–1916.

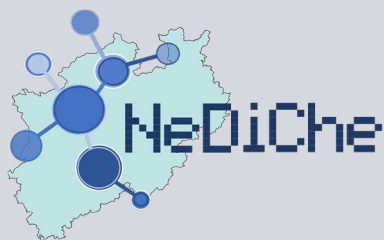
- [33] Humphry, T. and Fuller, A.L. (2023) Potential ChatGPT Use in Undergraduate Chemistry Laboratories. *J. Chem. Educ.*, 100 (4), 1434–1436.
- [34] Sigot, M. and Tassoti, S. (2025) A Missed Opportunity for No-Code Chatbots? Current Challenges in Publicly Available Chemistry GPTs. *J. Chem. Educ.*, 102 (5), 2151–2159.
- [35] Tassoti, S. (2024) Assessment of Students Use of Generative Artificial Intelligence: Prompting Strategies and Prompt Engineering in Chemistry Education. *J. Chem. Educ.*, 101 (6), 2475–2482.
- [36] Lee, J., An, T., Chu, H.-E., Hong, H.-G., Martin, S.N. (2023) Improving Science Conceptual Understanding and Attitudes in Elementary Science Classes through the Development and Application of a Rule-Based AI Chatbot. *Asia-Pac. Sci. Educ.*, 9 (2), 365–412.
- [37] Yik, B.J. and Dood, A.J. (2024) ChatGPT Convincingly Explains Organic Chemistry Reaction Mechanisms Slightly Inaccurately with High Levels of Explanation Sophistication. *J. Chem. Educ.*, 101 (5), 1836–1846.
- [38] Burdinski, D. (2025) Der Inverted Classroom als kompetenzorientiertes Lehrmodell an deutschen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften, in *Jahrbuch Angewandte Hochschulbildung 2023: Deutsch-chinesische Perspektiven und Diskurse* (eds H. Lackner, J. Cai, Q. Wang), Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 241–258.
- [39] Burdinski, D. and Bonnet, M. (2025) Flipped Learning – Entwicklungen, Erfahrungen, Medien und Werkzeuge. *Die Neue Hochschule* (3), 16–19.
- [40] Burdinski, D. and Glaeser, S. (2016) Flipped Lab – Effektiver lernen in einem naturwissenschaftlichen Grundlagenpraktikum mit großer Teilnehmerzahl, in *Neues Handbuch Hochschullehre* (eds B. Berendt, A. Fleischmann, N. Schaper, B. Szczyrba, J. Wildt), Raabe-Verlag, Berlin, 1–28.
- [41] Burdinski, D. (2022) Wirkungen der Umstellung einer Grundlagen-„Vorlesung“ Anorganische Chemie auf ein Inverted-Classroom-Modell, in *Hochschullehre erforschen: Innovative Impulse für das Scholarship of Teaching and Learning* (eds U. Fahr, K. Allessandra, H. Angenent, A. Eßer-Lüghausen), Springer VS; Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 83–109.
- [42] Riedel, E. and Janiak, C. (2022) *Anorganische Chemie*, 10th edn, De Gruyter, Berlin, Boston, 346.
- [43] Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Bruice, P.Y. (2014) *Basiswissen Chemie : Grundlagen der Allgemeinen, Anorganischen und Organischen Chemie*, Pearson Education Deutschland GmbH, München, 814.
- [44] Foltz, B. and Niebler, C. (2024) Hartnäckige Lernhürden decodieren und Verständnis-Brücken für Studierende bauen, in *Jahrbuch Angewandte Hochschulbildung 2022: Deutsch-chinesische Perspektiven und Diskurse* (eds J. Cai, H. Lackner, Q. Wang), Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 205–218.
- [45] Middendorf, J. and Pace, D. (2004) Decoding the disciplines: A model for helping students learn disciplinary ways of thinking. *New Directions for Teaching and Learning*, 2004 (98), 1–12.
- [46] Burdinski, D. YouTube-Kanal „Anorganische Chemie“ (<https://t1p.de/3h36>). https://www.youtube.com/channel/UCm4_31RUrgs-FAfjnnOidjIw (23 February 2020).
- [47] Andraos, J. (2016) Using Balancing Chemical

Equations as a Key Starting Point To Create Green Chemistry Exercises Based on Inorganic Syntheses Examples. *J. Chem. Educ.*, 93 (7), 1330–1334.

Kurzbiografie und Foto

Dirk Burdinski ist Professor für Materials Science und Studiendekan an der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften am Campus Leverkusen der TH Köln. Er ist Mitglied des Netzwerks Lehre-hoch-n und der Akademie Ausgezeichnete Hochschullehre sowie Multiplikator für kompetenzorientiertes Lehren und Prüfen.





Netzwerk Digitalisierter Chemieunterricht Sammelband NeDiChe-Treff 2024

Ohne Digitalisierung wäre ein funktionierender Alltag nicht mehr denkbar und auch jeglicher Unterricht findet heute kaum ohne Digitalisierung statt. Selbst „Kreidechemiestunden“ sind von Digitalisierung beeinflusst – sei es z.B. nur der Einfluss von Smartwatches an den Handgelenken der Lernenden, über die Sie miteinander kommunizieren oder sich Informationen jeglicher Art holen können. So funktionsreich die Möglichkeiten der Digitalisierung allgemein sind, so vielseitig sind auch die Einsatzmöglichkeiten für den Chemieunterricht. Digitalisierung ermöglicht darin z.B. fachmethodisch die Durchführung von Simulationen, bietet eine breite Quelle an Informationen, die bewertet werden müssen, liefert vielseitige Methodeninstrumente und Medien der Informationsübermittlung, z.B. durch Videos und kann die Kreativität und Motivation fördern, wie durch Lernumgebungen im Sinne von Escape Games.

Der vorliegende Sammelband des NeDiChe-Treffs des Netzwerks Digitalisierter Chemieunterricht enthält ausgewählte Beiträge aus dem Jahr 2024, die den Variantenreichtum von Digitalisierung aufzeigen und vielfältige Impulse für einen facettenreichen Chemieunterricht bieten.

Das „Netzwerk digitalisierter Chemieunterricht (NeDiChe)“ wurde im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes „Communities of Practice NRW für eine innovative Lehrkräftebildung“ mit Fokus auf die digitalisierungsbezogenen Kompetenzen von Lehrpersonen in der CoP-MINT für das Fach Chemie gegründet und soll Akteur*innen aller drei Phasen der Lehrkräftebildung die Möglichkeit der Vernetzung, des gegenseitigen Austauschs und des Voneinanderlernens bieten.

DOI: <https://doi.org/10.25926/BUW/0-991>

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:468-2-6770>

