

Huwer, Johannes [Hrsg.]; Wilke, Timm [Hrsg.]; Banerji, Amitabh [Hrsg.]
Progress in digitalisation in chemistry education 2024. Digitales Lehren und Lernen an Hochschule und Schule im Fach Chemie

Münster ; New York : Waxmann 2025, 130 S.



Quellenangabe/ Reference:

Huwer, Johannes [Hrsg.]; Wilke, Timm [Hrsg.]; Banerji, Amitabh [Hrsg.]: Progress in digitalisation in chemistry education 2024. Digitales Lehren und Lernen an Hochschule und Schule im Fach Chemie. Münster ; New York : Waxmann 2025, 130 S. - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-340329 - DOI: 10.25656/01:34032; 10.31244/9783818850425

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-340329>

<https://doi.org/10.25656/01:34032>

in Kooperation mit / in cooperation with:



WAXMANN
www.waxmann.com

<http://www.waxmann.com>

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de> - Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen sowie Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. der Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden. Die neu entstandenen Werke bzw. Inhalte dürfen nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergegeben werden, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch oder vergleichbar sind.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

This document is published under following Creative Commons-License: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.en> - You may copy, distribute and transmit, adapt or exhibit the work in the public and alter, transform or change this work as long as you attribute the work in the manner specified by the author or licensor. You are not allowed to make commercial use of the work. If you alter, transform, or change this work in any way, you may distribute the resulting work only under this or a comparable license.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.



Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de



Johannes Huwer, Timm Wilke, Amitabh Banerji (Hrsg.)

Progress in Digitalisation in Chemistry Education

2024 Digitales Lehren und Lernen
an Hochschule und Schule
im Fach Chemie

WAXMANN

Johannes Huwer, Timm Wilke,
Amitabh Banerji (Hrsg.)

Progress in Digitalisation in Chemistry Education 2024

Digitales Lehren und Lernen an
Hochschule und Schule im Fach Chemie



Waxmann 2025
Münster · New York

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Print-ISBN 978-3-8188-0042-0
E-Book-ISBN 978-3-8188-5042-5
<https://doi.org/10.31244/9783818850425>

Dieses E-Book steht open access unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-NC-SA 4.0 zur Verfügung.



Waxmann Verlag GmbH, Münster 2025
Steinfurter Straße 555, 48159 Münster

www.waxmann.com
info@waxmann.com

Umschlaggestaltung: Anne Breitenbach, Münster
Umschlagabbildung: © winnievinzence | Shutterstock.com
Satz: Roger Stoddart, Münster

Inhalt

Vorwort.....7

*Christoph Thyssen, Johannes Huwer, Lars-Jochen Thoms,
Sebastian Becker-Genschow, Alexander Finger, Lena von Kotzebue,
Erik Kremser, Monique Meier und Till Bruckermann*

Digitalisierungsbezogene Kompetenzen für das Lehramt der Naturwissenschaften
in Zeiten von adaptivem Unterricht und Künstlicher Intelligenz9

David Keller und Jolanda Hermanns

Einschätzung einer digitalen Lernumgebung zur chemischen Bindung
und Formelsprache31

Soraya Cornelius und Claudia Bohrmann-Linde

Motivieren mit (Teil-)Aufgaben zur Erklärvideoproduktion
im Chemieunterricht37

Hanne Rautenstrauch

Druckänderungen sichtbar machen!43

Antonia Kirchhoff und Stefanie Schwedler

Was sollten angehende Lehrkräfte über computerbasierte Simulationen
wissen? Und was wissen sie tatsächlich?
Eine epistemologische Perspektive im Vergleich zu Experimenten
und Animationen49

Stefan Müller

e-lement – Evaluation eines Studienmoduls zur Entwicklung digitaler
Lernumgebungen für den Chemieunterricht55

Mathea Brückner

Mit digitalen Technologien adaptiven Naturwissenschaftsunterricht gestalten61

Lukas Zell

3D-Druck im Chemieunterricht67

*Michael Spanier, Christoph Thyssen, Annette Bieniusa, Joachim Wünn
und Ulrich Fischer*

Chancen und Herausforderungen beim kooperativen und
kollaborativen Experimentieren mit digitalen Tools im Schulunterricht
Reflexion eines unterrichtspraktischen Beispiels zur Messung der
Enzymaktivität mittels Handyphotometer und Datenauswertung
mit einem digitalen Laborbuch (LabBook)73

Diana Zeller, Claudia Bohrmann-Linde, Nils Mack und Claudia Schrader

VR-Lernsettings zum Thema Verbrennungsreaktionen
Ein interdisziplinäres Lehrprojekt zur Produktion von VR-Räumen
durch Lehramtsstudierende79

Constantin Egerer und Amitabh Banerji

CHAMP – chemische Animationen mit PowerPoint
Vorstellung eines Fortbildungskonzeptes.....85

Rebekka Ditter, Sarah Lukas und Isabel Rubner

Dr. Valences Labor
Ein Escape Game für den Chemieunterricht zum Thema Säuren und Laugen.....91

Dirk Burdinski

Das Chemielabor umdrehen
Grundpraktika als Flipped Lab kompetenzorientiert gestalten 101

Martin Sigot und Sebastian Tassoti

Auf promptem Weg durchs Studium?
Analyse von Promptingframeworks und ein Vergleich zum
naiven Prompting durch Studierende 107

Lars-Jochen Thoms und Johannes Huwer

Das Projekt OrChemSTAR
Strukturformeln durch Augmented Reality zeichnen lernen..... 113

David Johannes Hauck, Andreas Steffen und Insa Melle

Veranschaulichen, Vertiefen, Verstehen: Interaktive Lernvideos zur
Molekülorbitaltheorie 119

Nikolai Maurer

Professionalisierung von Lehrkräften im Projekt MINT-ProNeD 125

Die Herausgeber 131

Vorwort

Die Digitalisierung hat weiterhin große Teile unseres Alltags revolutioniert und mit zunehmendem Einfluss von Künstlicher Intelligenz (KI) stehen wir vor neuen Herausforderungen und Chancen. Diese technologische Transformation, die durch die Corona-Pandemie katalysiert wurde, hat die Investitionen in digitale Infrastrukturen verstärkt (z.B.: Digitalpakt) und neue Perspektiven für den Unterricht in naturwissenschaftlichen Fächern hervorgebracht. Um die Vorteile der digitalen Medien und KI im Chemieunterricht nachhaltig nutzen zu können, bedarf es innovativer fachdidaktischer Konzepte, konkreter Handlungsanweisungen für den Einsatz dieser Technologien und Strategien zur Professionalisierung von Lehrkräften im digitalen Kontext.

Der Bedarf an Austausch über neue Möglichkeiten und digitalen Chemieunterricht ist nach wie vor groß. In den letzten Jahren hat sich die Nutzung von KI-gestützten Tools im Bildungssektor weiterentwickelt und potenziert, was neue Dimensionen für die Personalisierung und Effizienz des Lehrens eröffnet. Die Arbeitsgruppe DiCE (Digitalisation in Chemistry Education) spielt dabei eine entscheidende Rolle als Plattform für den Austausch und die Weiterentwicklung dieser technologischen Ansätze.

Was mit der erfolgreichen Online-Tagung „DiCE 2020“ begann, hat sich mittlerweile zu einem regelmäßigen Diskussionsforum entwickelt, das den niederschweligen Zugang zu innovativen digitalen Konzepten und KI-basierten Anwendungen ermöglicht. Die fortlaufende Diskussion und Erprobung von KI-gestützten Lehr- und Lernmethoden ist essenziell, um die Bildungslandschaft fortwährend zu modernisieren und an aktuelle Gegebenheiten anzupassen. Daher war es wenig verwunderlich, dass vermehrt Beiträge mit Bezug zu KI zur Diskussion standen.

Mit über 200 Teilnehmer*innen an der „DiCE 2024“ war der Erfolg der Tagung deutlich. Die positiven Rückmeldungen und der anhaltende Austausch innerhalb der Chemiedidaktik-Community unterstreichen die Bedeutung dieses Formats. Die Autor*innen von wissenschaftlichen Vorträgen waren eingeladen, basierend auf diesen einen Buchbeitrag zu dem nun vorliegenden Band zu verfassen. Diese Beiträge wurden einem (single-blind) Peer-Review-Prozess mit jeweils zwei Reviewern pro Kapitel unterzogen und konzentrieren sich auf die Verbindung von Digitalisierung und KI im naturwissenschaftlichen Unterricht, um neue Lernmodelle zu entwickeln.

Unser Dank gilt den Unterstützern der Joachim Herz Stiftung, Creative Quantum, Phywe sowie der Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh, die diese Entwicklungen finanziell ermöglicht haben. Ebenfalls danken wir den Autor*innen – durch ihre Beiträge und ihre Mitwirkung an der Begutachtung konnte die Veröffentlichung dieses Tagungsbands realisiert werden.

Wir hoffen, dass dieser Band Chemie- und Naturwissenschaftslehrkräfte anregt, Konzepte und digitale Innovationen zu erkunden, zu adaptieren und weiterzuentwickeln, um den Chemieunterricht des 21. Jahrhunderts mitzugestalten und die Lern- und Lehrprozesse weiter zu revolutionieren.

*Christoph Thyssen, Johannes Huwer, Lars-Jochen Thoms,
Sebastian Becker-Genschow, Alexander Finger, Lena von Kotzebue,
Erik Kremser, Monique Meier und Till Bruckermann*

Digitalisierungsbezogene Kompetenzen für das Lehramt der Naturwissenschaften

in Zeiten von adaptivem Unterricht und Künstlicher Intelligenz

1 „Das ist so old school!“ – Transformation von Unterricht

Mit den durch Digitalisierung getriebenen allgemeinen gesellschaftlichen Änderungen gehen auch Transformationen von Unterricht und Schule einher, ohne dass Bildung initialer Fokus von Digitalisierungsbestrebungen war (Meier et al., 2024) oder dabei direkt transparent wird, was sich bzw. wie sich Lehren und Lernen ändert. Die Tatsache, dass sich Schule und Unterricht (auch unabhängig von digitaler Transformation) verändern (sogar im Unterricht selbst thematisiert, Cornelsen, 2020), zeigt sich aber auch in Redewendungen. Die durchaus gebräuchliche Meinungsäußerung „Das ist so old school!“ kann sogar, ohne dass dies bei der üblichen Nutzung intendiert ist, Ausgangspunkt für eine Reflexion von Schule und Unterricht aus unterschiedlichen Perspektiven sein, die in dieser und abgewandelten Formen wörtlich mit Schule verknüpft sind und somit darauf Bezug nehmen. Wie in der Bezeichnung „old school“ erkennbar ist, ändern sich Lehr- bzw. Lernprozesse sowie Ziele. Gemessen am Sprachgebrauch ist man sich dessen im allgemeinen Denken bewusst, obgleich man sich (auch als Lehrkraft) ohne weitere Reflexion nicht immer darüber im Klaren ist, was sich warum wie konkret verändert hat: Die stattfindenden Transformationsprozesse und Veränderungen erfolgen nicht immer gezielt und/oder bewusst. So wirken z. B. Rahmenbedingungen auf den Unterricht zurück und beeinflussen diesen, ohne dass dies geplant und gezielt intendiert war. Deshalb wird vieles, was sich verändert hat, erst bei näherer Betrachtung und der Analyse von Beobachtungen sowie möglicher Ursachen deutlich. Umgekehrt können auch Gründe für Stagnation trotz intendierter Veränderungen ebenso erst retrospektiv erkannt werden. Letzteres ist bzgl. der digitalen Transformation von Schule immer noch eine der aktuellen Fragen, die im Kontext der Umsetzung der Strategie „Bildung in der Digitalen Welt“ (KMK, 2016) diskutiert wird. Die mit der Strategie angestrebten „positiven“ Veränderungen sind noch nicht erreicht. So stellt z. B. die Ständige Wissenschaftliche Kommission der KMK (SWK, 2021, S. 5) fest, dass nach wie vor „ein erheblicher Nachholbedarf bei der Schaffung einer stabil funktionierenden Infrastruktur, die den Einsatz digitaler Lehr-Lern-Materialien zum Aufbau fachspezifischer und fächerübergreifender Kompetenzen in der Schule“ besteht. Aus anderer, eher kritischer Perspektive fordern Braun et al. (2020) mit Bezug zu den mit der Strategie angestrebten Veränderungen in einer ihrer zentralen Thesen eine „Demystifizierung der ‚Potenziale‘ digitaler Techno-

logien und eine differenzierte Sicht auf Chancen und Problemfelder“, d. h. Undurchschaubares des Transferprozesses durchschaubar zu machen. Es geht in dieser These konkret also darum, Schule und Unterricht dahingehend detaillierter zu analysieren, um ausgehend vom „Old school“-Status digitale Dynamiken, Transformationen sowie damit erreichbare (angestrebte) Ziele besser zu verstehen und lenken zu können. Eine „Demystifizierung“ bedeutet demnach, dass ausgehend von allgemeinen Überlegungen konkrete unterrichtliche Situationen und Handlungsfelder identifiziert und dann dahingehend analysiert werden müssen, welche Schwierigkeiten, Risiken, aber auch Potenziale sich durch Transformation tatsächlich ergeben und welche „Old school“-Praktiken bzw. -Elemente (bis auf weiteres, vergleiche positives Konnotat) wesentlich sind und deshalb beibehalten oder modifiziert integriert werden sollten. Zugleich ist es notwendig, digitale Technologien dahingehend zu reflektieren, ob und wie sie den Unterricht umgestalten und zum Erreichen unterrichtlicher Ziele beitragen können. Eine derartige Analyse von digital unterstütztem Unterricht und dessen Weiterentwicklung kann ebenso wenig nur kontextunabhängig (d. h. z. B. rein bildungswissenschaftlich) oder auf einer Meta-Ebene erfolgen wie eine klassische Unterrichtsplanung. Erst die Projektion von allgemeinen Überlegungen zur Veränderung von Systemen, von Prinzipien und Wirkungsmöglichkeiten digitaler Technologien und Prozessen in konkrete unterrichtliche Handlungs- und Planungsbereiche kann digitale Transformation am konkreten Beispiel demystifizieren. Deshalb sollen im Folgenden ausgehend von einer generellen Betrachtung möglicher Ursachen und Gründe für Veränderungen von Systemen im Allgemeinen sowie Lehr-Lernsituationen im Speziellen (Naturwissenschaftsunterricht im weiteren Sinne) Felder unterrichtlichen Handelns aus der Perspektive digitaler Technologien und Transformation demystifiziert werden. Dafür werden konkrete Betrachtungen in Bezug auf bereits angestoßene digitale Transformationen (ausgehend von „alter Schule“), realisierbare Potenziale und dadurch mögliche und erreichbare Zielsetzungen anhand von Beispielen dargelegt.

2 Transformation und Weiterentwicklung von Unterricht

Die digitale Transformation von Unterricht wurde bereits über im Alltag gewachsene Erwartungen von Lernenden sowie von besonders affinen Lehrkräften angestoßen, bevor über koordinierte bildungspolitische Prozesse geplante Strukturen geschaffen oder Ziele gesetzt wurden. Indem Lehrkräfte verfügbare und als vermutlich im Unterricht hilfreich eingestufte Technologien in eigenen Unterrichtskonzepten ausprobierten, wurden möglicherweise resultierende Problemfelder und realisierbare Potenziale quasi im Eigenversuch dahingehend ausgetestet, dass – wie in jeder Unterrichtsplanung – die intendierte Wirkung mit der planerisch angestrebten Wirkung verglichen wurde. Systemische oder gar empirische Analysen standen dabei eher nicht im Vordergrund, weshalb in der Regel auch keine gezielte Analyse einer möglichen systemischen Transformation inklusive unbeabsichtigter Nebeneffekte erfolgte. Im Gegensatz dazu adressieren bildungspolitische Initiativen über Zielsetzungen (im Sinne von Bildungszielen, weniger in Bezug auf die konkrete Gestaltung von Unterricht) und Fi-

nanzierung von Infrastruktur genau diese Ebene, obgleich auch hier mögliche Wirkungen und Nebeneffekte erst nach einer differenzierten Analyse der Praxis erkennbar werden. Die Transformation von Unterricht erfolgt also ausgehend von verschiedenen Motivationen und Akteuren mittels unterschiedlicher Ansätze und Methoden.

2.1 Die Kesselflicker-Methode: Arbeiten mit dem, was da und verfügbar ist!

Mit naturwissenschaftlichem Hintergrund (insbesondere in der Biologie) verbindet man „Weiterentwicklung“ mit dem Evolutionsbegriff. Evolution beschreibt die kontinuierliche Entwicklung der Lebewesen zu einer immer besseren Anpasstheit an ihre Umwelt, z. B. durch zufällige, neue Kombinationen von Elementen und/oder Eigenschaften, wodurch dann neue Funktionen und die Erschließung neuer Lebensbereiche ermöglicht werden. Nach aktuellem biologischem Forschungsstand bildet so z. B. nach der Endosymbiontenhypothese die „Kombination“ von existierenden Elementen, Cyanobakterien (Blualgen) mit eukaryotischen Zellen, die Grundlage für das pflanzliche Leben an Land. Nur autotroph, d. h. mit der Fähigkeit, alle lebensnotwendigen organischen Stoffe aus anorganischen Stoffen als Produzenten selbst herstellen zu können, konnten die ersten Pflanzen (unter Nutzung der durch die Kombination ermöglichten Fotosynthese) an Land überleben, da dort noch keine organischen Stoffe in ausreichender Menge verfügbar waren (Konsumenten wie Pflanzenfresser und Räuber konnten erst später davon profitieren und folgen). Ganz ähnlich kann die *Kombination* von digitalen Technologien untereinander oder mit existierenden unterrichtlichen Elementen Einsatzbereiche erweitern und das Lehren verändern. Kombiniert man z. B. den an einen Beamer angeschlossenen Laptop im WLAN mit einer Smartphonekamera, kann man die Funktion einer kabellosen, im Klassenraum portablen Dokumentenkamera erzielen, neue Projektions- und Einsatzmöglichkeiten schaffen und damit den methodischen Pool erweitern (Thyssen, 2022). Nicht immer werden solche Kombinationen mit einem vorab definierten Ziel geplant. Häufig resultieren aus der Integration neuer Elemente anfänglich unbemerkte Änderungen, Möglichkeiten und funktionale Erweiterungen eines Systems, quasi als Nebeneffekte. So kann die für den Distanzunterricht erfolgte Einbindung von Zoom (oder vergleichbarer Software für Videokonferenzen) durch Kombination mit z. B. den Tablets der Lernenden, abseits der intendierten Nutzung zur Kommunikation und Präsentation von Inhalten über Distanzen hinweg, auch lokal für dezentrale, synchrone Präsentationen verschiedenster Art im Klassenraum (ganz ohne Beamer!) genutzt werden. Über Screensharing kann dann auch die oben bereits erläuterte Smartphone-Dokumentenkamera ohne Beamer zur Visualisierung für alle eingesetzt werden. Unterricht kann also absichtsvoll und gezielt oder abseits beabsichtigter Strategien durch nicht vorab geplante Kombination etablierter Elemente (aus dem System selbst heraus) verändert und digital transformiert werden. Von der Lehrkraft ungeplante und ungezielte Veränderungen finden sich möglicherweise z. B. im Bereich von entstehenden Möglichkeiten zur Täuschung bei Prüfungen. So macht die Nutzung von Smartphones zur Dokumentation im Unterricht einen Zugriff auf diese Daten per gekoppelter Smartwatch in Prüfungen mög-

lich, ohne dass das Smartphone direkt erkennbar genutzt wird und eine Internetverbindung besteht (zusätzlich ist eine Sichtung der Daten auf dem Smartphone durch eine Lehrkraft zur Klärung rechtlich schwierig).

2.2 Die Ingenieurs-Methode: Neuentwicklung mit Zielsetzung!

Neben neuen Möglichkeiten, die durch Kombination von Elementen entstehen, werden Veränderungen auch durch *absichtsvolle, gezielte und geplante Neu- bzw. Weiterentwicklung* von Elementen aufgrund von neu gesetzten Zielen oder veränderten Gewichtungen realisiert. Gezielt zum digitalen Schreiben entwickelte digitale Whiteboards als Ersatz für klassische Kreidetafeln sind hierfür ein Beispiel. Dabei werden gezielt neue Funktionen und Features zu einem Ersatz für etwas Etabliertes und zu einem bestimmten Zweck entwickelt, wobei die Nebeneffekte anfangs gar nicht absehbar sind und sich erst in der Praxis und der Analyse von Anwendungssituationen zeigen. Retrospektiv betrachtet stand der Bildungssektor im Prozess der digitalen Transformation erst vergleichsweise spät im Fokus gezielter Entwicklungen im kommerziellen und skalierbaren Bereich (Meier et al., 2024). Bis heute bestehen zwei Problematiken dabei: 1) Für die Nutzer- und Adressatengruppen wurden vielfach noch keine klar definierten Anforderungsprofile bezogen auf die neu zu entwickelnden digitalen Technologien formuliert (und z. T. immer noch nicht, weil klare und transparente Konzepte für den Einsatz im Fachunterricht noch nicht etabliert sind); 2) Die Zielsetzungen sowie daraus resultierende Anforderungen und Funktionen unterscheiden sich abhängig von den Adressat*innen. Schüler*innen und Studierende präferieren hier in Bezug auf digitale Technologien vielfach eine rezeptive Unterstützung und kurze Wege zum Ergebnis (Vogelsang et al., 2019). Lehrkräfte wünschen sich didaktische und methodische Unterstützung, wie bspw. für die Ausgestaltung der Erkenntnisgewinnung und Medienbereitstellung (Thyssen et al., 2021a), und adressieren dadurch also fordernde Erarbeitungsphasen. Im biologischen Modell von Veränderungen entspricht der Ingenieursansatz im einfachsten Fall der biologischen Zucht (als gesteuerte Evolution mit auf bestimmte Ziele ausgerichteter Selektion) oder einem gentechnischen Ansatz. In beiden Fällen ist klar, dass im Falle des Divergierens oder gar Fehlens von klar definierten Zielen wenig Aussicht auf eine erfolgreiche Veränderung besteht. Das Beispiel der Gentechnik zeigt, wie wichtig und fordernd eine Folgenabschätzung sowie die damit verbundene gesellschaftliche Diskussion ist und auch sein muss.

2.3 Schwierigkeiten absichtsvoller Strategien zur Unterrichtstransformation und wie Lehrkräfte sich hier einbringen können

Wie dargelegt, kann nicht nur die (meist intentionale) Integration neuer Elemente, sondern auch die Kombination von bereits etablierten Elementen Unterricht transformieren. Nicht alle daraus resultierenden Veränderungen werden gezielt angestrebt, vielfach entstehen vorab nicht vorausgesehene Dynamiken. Durch absichtsvolle Kombination von Elementen realisierbarer Veränderungen müssen ebenso wie unkontrolliert stattfindende Veränderungen erkannt, realisiert bzw. kontrolliert und ggf. zur Erreichung neuer Ziele genutzt oder kanalisiert werden. Dies erfordert die Auseinandersetzung mit konkreten Situationen und unterrichtlichen Handlungsfeldern, da nur über solche konkrete situationale Analysen die geforderte Demystifizierung leistbar ist. Betrachtet man in diesem Zusammenhang noch einmal die Einführung von Tablets in Schulen, ist eine Dezentralisierung von Lernprozessen nicht nur ausgehend von einer ehemals lehrkraftzentrierten unidirektionalen Projektion, sondern auch interaktiv möglich, indem Lernende z. B. in Präsentationen, Abbildungen oder Graphen etwas hervorheben und markieren, um dies im Plenum zu diskutieren oder zu klären. Damit müssen auch in solchen Phasen Sozial- bzw. Organisationsformen, bspw. im Zuge von Gruppenarbeiten, nicht zugunsten eines Plenums aufgelöst werden. Solche digitalen Rückkanäle können jedoch auch zentralisiert auf dem elektronischen Whiteboard als digitale Tafel genutzt werden. Als methodischer Vorteil ergibt sich in diesem Fall die fehlende Notwendigkeit, dass Lernende im Klassenraum den Weg zur Tafel antreten müssen, wenn sie dort etwas zeigen oder markieren wollen. Das „volle“ Potenzial dieser Ansätze erschließt sich jedoch erst dann, wenn man miteinbezieht, dass solche digitalen Markierungen in Abbildungen und Tafelbildern gespeichert werden und zu späteren Zeitpunkten sogar dezentral weiter genutzt werden können. Das Argument, dass eine dezentrale Präsentation und Kommentierung aufgrund steigender Verfügbarkeit zentraler Präsentationstechnologien (Beamer oder digitale Whiteboards) an Bedeutung verlieren, wäre zu vorschnell. Im Kontext von naturwissenschaftlichem Unterricht an außerschulischen Lernorten, bspw. bei Exkursionen, die nicht über eine entsprechende Infrastruktur verfügen, ist eine dezentrale Präsentation ein wesentlicher Vorteil, um vor Ort gemeinsam synchron arbeiten zu können. Die gemeinsame Analyse von z. B. Graphen zu Messdaten oder Fotos vor Ort, als Grundlage der Identifikation von Messfehlern und nicht ausreichender Dokumentation von Strukturen oder Phänomenen, ist wesentlich, um dort Arbeits- und Lernziele zu erreichen. Auch der Übergang zu kollaborativen Arbeitsformen wird so ermöglicht und erschließt zusätzliche methodische Alternativen.

Das Beispiel zeigt, dass Strategien für die Transformation von Unterricht einen Detailgrad aufweisen müssen, der Fächer, Themen und Denk- sowie Arbeitsweisen in angemessener Weise berücksichtigt, um konkret genug, d. h. demystifiziert, dargestellt werden zu können. Für die Entwicklung solcher Strategien ist es unumgänglich, Fachpraxis zu berücksichtigen, weshalb sich Personen mit Lehrerfahrung hierbei im Idealfall mit fachdidaktischen Anforderungen, Bedarfen und Zielsetzungen mit einbringen. Dazu ist es notwendig, dass Lehrkräfte in der Lage sind, unterrichtliche Konzepte

und Szenarien bzgl. digitaler Unterstützung zu formulieren sowie bewerten zu können, was wiederum voraussetzt, dass sie selbst ausreichende Kenntnis in Bezug auf technologische Möglichkeiten, daraus generierbare Potenziale und dafür notwendige Kompetenzen auf Seiten der Lehrkräfte (und auch Lernenden) besitzen. Nur so können fachspezifische, praxistaugliche Strategien entwickelt oder übergeordnete Strategien (wie die Strategie „Bildung in der Digitalisierten Welt“, KMK, 2016) von Lehrkräften fachspezifisch ausgestaltet werden.

Die von der SWK (2024) im Impulspapier „Large Language Models und ihre Potenziale im Bildungssystem“ geforderte Entwicklung domänenspezifischer, auf Large Language Models (LLM, wie z. B. ChatGPT) basierender Tools für den Bildungskontext zum Lehren und Lernen macht zwei Dinge deutlich: Einerseits stellt die Forderung die Notwendigkeit einer fachspezifischen Perspektive heraus und andererseits ist sie ein Beispiel dafür, dass die inhaltliche (didaktische) fachwissenschaftliche Forschungsperspektive von Unterricht als wesentliches Element von digitaler Transformation noch immer eher selten direkt als Diskussionsbeitrag und Anregungen mitgedacht wird. Wenn man davon ausgeht, dass in der naturwissenschaftlichen Forschung etablierte digitale Technologien, hier konkret Künstliche Intelligenz (KI) in Form von LLMs, auf die Ausgestaltung von Unterricht und zu integrierende Arbeitsweisen sowie Tools Einfluss nehmen (wie das auch im Falle anderer Arbeitsweisen ist, z. B. Mikroskopieren, Syntheseverfahren ...), müssen zusätzlich zum SWK-Ansatz, der dies nicht explizit berücksichtigt, ergänzende Impulse gegeben werden. Ein wesentliches Element für zukunftsorientierten Unterricht ist in diesem Beispiel, dass der Unterricht nicht nur auf den alltäglichen, sondern auch den fachlichen Einsatz von LLMs oder anderen KI-Modellen vorbereiten sollte, so wie in allen Naturwissenschaften die Rolle und Anwendungsfelder von ausgewählten Technologien und Verfahren beleuchtet werden. Diese fachwissenschaftliche und fachdidaktische Perspektive des Einsatzes von KI und LLMs wurde bereits zusammengefasst und bietet Lehrkräften (und der Bildungspolitik) Impulse für Diskussionen über die inhaltliche Transformation des Fachunterrichts (Huwer et al., 2024). Die Perspektiven, daraus resultierende Gewichtungen sowie daraus wiederum ableitbare Schwerpunkte und Zielsetzungen sind also wesentlich für eine praxistaugliche Strategie zur gezielten Transformation von Unterricht.

Die Änderung von Perspektiven sowie Schwerpunkten und das damit verbundene Engagement (finanziell und konzeptionell) können Transformationsprozesse stark beeinflussen. Diese Einflüsse wurden im Kontext der disruptiven Veränderungen im Zuge der COVID-19-Pandemie überdeutlich. In anderen Fällen finden solche Prozesse schleichender und weniger offensichtlich statt. Wie das Deutsche Schulbarometer der Robert Bosch Stiftung (2024) zeigt, sehen mittlerweile 44 % der Lehrkräfte Heterogenität, leistungsschwache Schüler*innen und Lernrückstände als die größten Herausforderungen für Lehrkräfte. Gleichzeitig bewerten sie Umfang und Qualität der Förderangebote an ihren Schulen bestenfalls als befriedigend. Während zahlreiche schulische Reformen des letzten Jahrzehnts (z. B. jahrgangsübergreifender Unterricht, Gemeinschaftsschulen und Ganztage) gezielt eine Erhöhung der Heterogenität in Lerngruppen (Budde, 2017) und damit die Transformation des Unterrichts und Weiterentwicklung des Schulsystems anstreben (entsprechend des o.g. Ingenieurs-Modus), zeigt

das Schulbarometer 2024 eine Diskrepanz zwischen Anspruch und der Umsetzung in der schulischen Realität auf. Die Veränderungen, die sowohl aus gezielt eingeleiteten Umgestaltungen als auch aus unvorhergesehenen Prozessen wie der COVID-19-Pandemie oder der Integration junger Geflüchteter hervorgegangen sind und die Heterogenität in Lerngruppen weiter erhöht haben, scheinen insgesamt nicht ausreichend untersucht und durch unterstützende Maßnahmen für eine kohärente Transformation begleitet worden zu sein. Eine Berücksichtigung von Heterogenität durch geeignete Maßnahmen, wie formativem Assessment inklusive förderlichem Feedback und adaptivem Unterricht, sollte jedoch nicht nur in der Schulpraxis selbst, sondern auch in der Lehrkräftebildung und bei Überlegungen zur weiteren digitalen Transformation in ausreichendem Maße erfolgen. Aus den Rückmeldungen von befragten Lehrkräften im Schulbarometer wird deutlich, dass hier nachgesteuert werden muss. Lehrkräfte aus der Praxis sind für diesen Prozess wesentliche Akteure, die Impulse dazu geben können, wo und wie neue digitale Technologien (z. B. Tutoring-Systeme) als neue Elemente im System sinnvoll unterstützen könn(t)en, um gewünschte Veränderungen in Richtung einer Verbesserung erzielen zu können. Wie das Beispiel Heterogenität zeigt, kommt Lehrkräften in Transformationsprozessen generell eine Schlüsselrolle zu, da sie Veränderungen (gezielt initiierte oder solche mit Eigendynamik) vor Ort erkennen, Handlungsbedarf signalisieren und ggf. auch Hinweise bzgl. notwendiger und möglicher Unterstützung durch digitale Technologien geben können, wenn ihnen dazu die Möglichkeit gegeben wird, auch durch dafür geeignete Lehrkräfteaus- und -weiterbildung. Dafür gilt es geeignete Curricula zu schaffen.

3 Assessment, Feedback und Adaptivität im Unterricht

Seit der Erarbeitung (2018–2019) und Veröffentlichung des Orientierungsrahmens Digitale Kompetenzen für das Lehramt der Naturwissenschaften (DiKoLAN, Becker et al., 2020) haben sich die Anforderungen an den schulischen Unterricht nochmals verändert. Eine zunehmende Heterogenität in den Lerngruppen, in Bezug auf z. B. Unterschiede in Vorwissen, elterliche Unterstützung, Sprach- und Leseverständnis, pandemiebedingte Lücken sowie individuelle Lernwege, stellt Lehrkräfte zunehmend vor Herausforderungen. Um dieser Vielfalt gerecht zu werden, gewinnt der adaptive Unterricht zunehmend an Bedeutung. Hierbei spielt die Integration digitaler Technologien eine zentrale Rolle, insbesondere im Bereich von Assessment, Feedback und Adaptivität. Während früher vor allem summative Formen der Leistungsbewertung im Vordergrund standen, rücken heute formative Ansätze in den Fokus, die es ermöglichen, den Lernprozess kontinuierlich zu begleiten und gezielt anzupassen (Buholzer et al., 2023). Digitale Werkzeuge bieten dabei wertvolle Unterstützung: Sie helfen Lehrkräften, Lernvoraussetzungen zu diagnostizieren, differenziertes Feedback zu geben und den Unterricht auf die individuellen Bedürfnisse der Lernenden abzustimmen. Diese Entwicklung wurde nicht zuletzt durch die COVID-19-Pandemie beschleunigt, die den Einsatz digitaler Technologien im Bildungsbereich stark vorangetrieben hat. Die Relevanz von Assessment, Feedback und Adaptivität im modernen Unterricht

liegt somit nicht nur in der Förderung individueller Lernwege, sondern auch in der Notwendigkeit, digitale Technologien sinnvoll zu integrieren, um den Lernprozess insgesamt effektiver und flexibler zu gestalten sowie um den Unterricht zukunftsfähig zu machen und auf die Bedürfnisse zu reagieren, die aus einer zunehmend digitalisierten und differenzierten Bildungslandschaft erwachsen.

Differenzierung und adaptiver Unterricht erfordern Informationen zum Lernstand der Schüler*innen, um angepasste Lehrkonzepte zu entwickeln und Lernprozesse adaptiv zu gestalten. Formatives Assessment ist dabei zentral und umfasst digitale Lernstandsdiagnosen, Feedback sowie Übungsempfehlungen mit geeigneten Systemen. Hierbei können digitale Technologien ganze Workflows begleiten, einerseits für Lernende den Unterricht motivierender und Feedback sowie Bewertungen transparenter machen, andererseits auch Lehrkräfte bei Lernstandsanalysen, Feedback und Fördermaßnahmen unterstützen. Erstellen Schüler*innen beispielsweise Lernvideos zu Prozessen auf Teilchenebene, die digital kommentiert und mit inhaltlichem Feedback versehen werden (durch Peers oder durch die Lehrkraft selbst, Thyssen et al., 2021b), dann können auf Basis der Kommentare Verständnisschwierigkeiten identifiziert und Überarbeitungen geplant werden. Geschieht dies unter Einsatz von KI (Textanalyse ist ein Einsatzbereich von LLMs), ist dies mit neuen Heraus- und Kompetenzanforderungen verbunden (Nyaaba & Zhai, 2024). Lehrkräfte müssen daher digitale Technologien für Assessment, Feedback und adaptives Unterrichten fachdidaktisch begründet und reflektiert einsetzen können sowie den Datenschutz und ethische Aspekte beachten (Zhai & Nehm, 2023). Insbesondere die Nutzung digitaler personenbezogener Daten im Rahmen von digitalem Assessment erfordert erhöhte Sensibilität und erweiterte Kompetenzen seitens der Lehrkräfte hinsichtlich Datenschutz, Sicherheit und ethischer Aspekte (Ungerer & Slade, 2022). Automatisiertes Assessment und Feedback, insbesondere durch KI, müssen zielführend und ethisch verantwortbar sein. Personenbezogene Daten dürfen nur unter klaren Regelungen verwendet werden und müssen vor unbefugtem Zugriff geschützt werden. Ausgehend von bisherigen Überlegungen zu Inhalten der Lehrkräftebildung an Hochschulen (wie z. B. DiKoLAN) müssen deshalb kohärente, curriculare Weiterentwicklungen erfolgen.

4 DiKoLAN PLUS

Für eine strukturierte Eingliederung der für den schulischen Einsatz von digitalen Technologien für Assessment, Feedback und adaptives Unterrichten notwendigen Kompetenzen der Lehrkräfte in die universitäre Ausbildung ist sinnvollerweise zunächst eine mögliche (strukturelle) Orientierung an DiKoLAN zu prüfen. Die Binnenstruktur der in DiKoLAN beschriebenen Kompetenzbereiche lässt sich auch für eine Strukturierung und Operationalisierung von Kompetenzerwartungen im Bereich Assessment, Feedback und Adaptivität nutzen. Entsprechend dieser Struktur kann eine Erweiterung der zentralen Kompetenzbereiche in DiKoLAN um den Bereich „Assessments, Feedback und Adaptivität (AFA)“ als Orientierung für die universitäre Lehrkräftebildung erfolgen. Dabei ergibt sich (neben den vier Bereichen Dokumentation,

Präsentation, Kommunikation und Kollaboration sowie Recherche und Bewertung) ein fünfter Bereich, der z. B. in Bezug auf Datenschutz eher allgemeinere Kompetenzen umfasst, jedoch z. B. in Bezug auf konkret einzusetzende Software (Tutoring-Systeme oder KI-Analysertools für die Lernstandserhebung) dennoch fachspezifische Bezüge zu den Naturwissenschaften herstellt (vgl. Forderung nach domänenspezifischen KI-Tools der SWK, 2024). Daraus ergibt sich ein neuer, erweiterter Orientierungsrahmen DiKoLAN PLUS (Abb. 1; Meier et al., 2025).

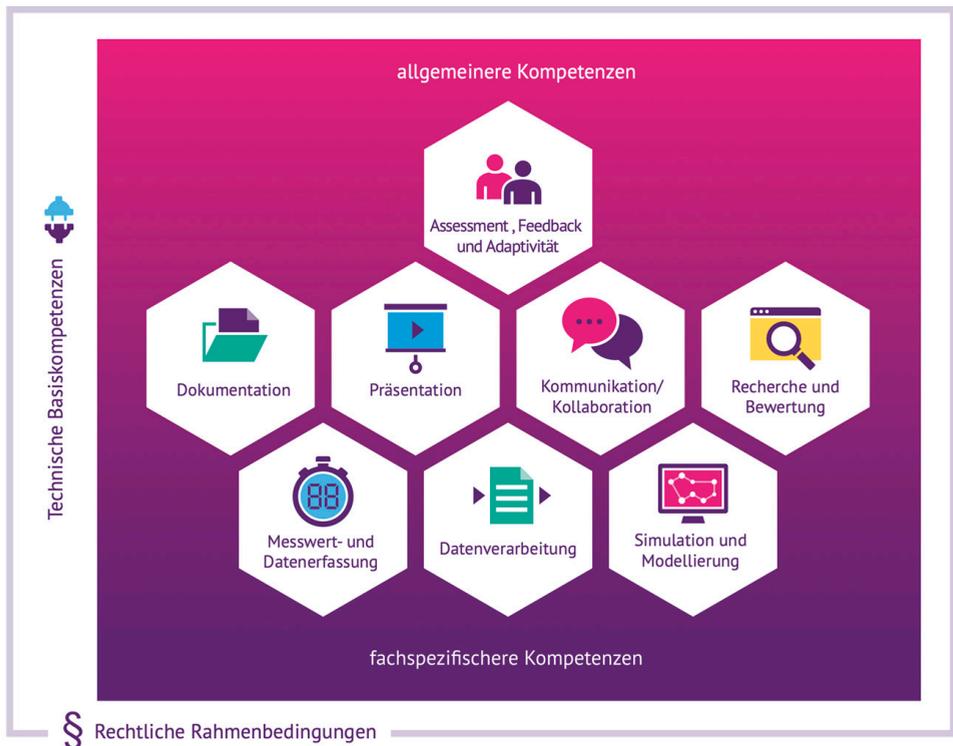


Abbildung 1: Oberflächenstruktur des Orientierungsrahmens „Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – PLUS“ – DiKoLAN PLUS (Meier et al., 2025).

Mit einer verstärkten Integration von formativem Assessment gehen zusätzliche Aufgaben für Lehrkräfte einher, weshalb hier Konzepte für eine strukturelle Entlastung und Verteilung von Aufgaben zu achten ist. Eine große Initiative, welche sich der Professionsentwicklung von Lehrkräften in adaptiven Settings mit digitaler Technologie widmet und damit auf die existierenden Herausforderungen reagiert, ist das Netzwerk MINT-ProNeD (Reinhold et al., 2025). Das Kompetenznetzwerk unterstützt Lehrkräfte mit entsprechenden Fort- und Weiterbildungsangeboten. In Zeiten von Lehrkräftemangel muss hierzu ggf. auf digitale Technologien und KI zurückgegriffen werden.

5 Künstliche Intelligenz als Game-Changer(?)

Die rasante Weiterentwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI) und die damit einhergehende fortschreitende Integration KI-basierter Technologie in verschiedenste Lebensbereiche verändern die Art und Weise, wie wir arbeiten, leben und lernen, tiefgreifend. Insbesondere im Bildungsbereich hat die Einführung von KI-Technologien das Potenzial, transformative Veränderungen zu bewirken. Dennoch sind Fehlvorstellungen und Präkonzepte zu KI weit verbreitet (Bewersdorff et al., 2023). Universitäten und Hochschulen, als zentrale Akteure in der Wissensvermittlung und Forschung, stehen vor neuen Herausforderungen, um Studierende auf eine Zukunft vorzubereiten, in der KI im Bildungsbereich (vgl. SWK, 2024) und in der Gesellschaft ganz allgemein eine entscheidende Rolle zukommt. Diese Notwendigkeit wird durch die Verbreitung generativer KI-Systeme wie ChatGPT, die in kurzer Zeit eine breite Nutzendenbasis gewonnen haben, noch verstärkt. In diesem Kontext wird die Entwicklung und Vermittlung von KI-bezogenen Kompetenzen bei Lehrkräften zu einer Kernaufgabe der Hochschulbildung.

5.1 Künstliche Intelligenz in der naturwissenschaftlichen Forschung

Ohne dass dies bereits in der breiten Öffentlichkeit transparent ist, spielt KI in den Naturwissenschaften bereits vielfach eine tragende Rolle (vgl. Huwer et al., 2024; Meier et al., 2024). Traditionell basiert naturwissenschaftliche Forschung auf experimentellen und empirischen Methoden, die stark auf menschliche Beobachtung und Interpretation angewiesen sind. Mit dem Aufkommen und der zunehmenden Integration von KI-Technologien in die wissenschaftliche Praxis hat sich dieser Ansatz jedoch grundlegend gewandelt, hin zu stärker datengetriebenen und automatisierten Forschungsansätzen. Digitale Informationstechnologien, wie Hochleistungsrechner und Sensornetzwerke, in Kombination mit Methoden des Maschinellen Lernens ermöglichen heutzutage die Erfassung und Analyse von Datenmengen in einem Umfang, der noch vor wenigen Jahren unvorstellbar war. Diese Methoden erlauben es, große Datensätze effizient zu analysieren, Muster und Zusammenhänge zu erkennen und daraus neue Erkenntnisse zu gewinnen. Ein weiterer bedeutender Einfluss von KI auf die naturwissenschaftliche Forschung ist die zunehmende Automatisierung von experimentellen Prozessen. So werden bspw. repetitive und standardisierte Labortätigkeiten, die traditionell von Forschenden manuell durchgeführt werden, zunehmend von Robotern und KI-gesteuerten Systemen übernommen. Diese Entwicklung kann nicht nur dazu beitragen, die Effizienz und Präzision von Experimenten zu verbessern, sondern minimiert auch menschliche Fehlerquellen. Die zunehmende Abhängigkeit von KI-Systemen setzt damit für eine qualitativ hochwertige Forschung ein tiefes Verständnis der zugrunde liegenden Algorithmen und der möglichen Grenzen und Verzerrungen, die diese Systeme mit sich bringen könnten, voraus. Im Zuge von zukünftigen Diskussionen im Kontext von Wissenschaftsvertrauen und -skepsis ist ein Grundverständnis dieser Zusammenhänge wesentlich. Die Integration von KI in die

naturwissenschaftliche Forschung bietet somit nicht nur immense Chancen, sondern stellt die wissenschaftliche Gemeinschaft auch vor neue Herausforderungen. Während KI-basierte Methoden das Potenzial haben, naturwissenschaftliche Forschungsmethoden zu transformieren und sogar neue Forschungsfelder zu erschließen, erfordert ihr Einsatz eben auch eine kritische Auseinandersetzung mit den ethischen und gesellschaftlichen Implikationen. Fragen der Transparenz, der Nachvollziehbarkeit von KI-Entscheidungsprozessen und der möglichen Verzerrungen in den Ergebnissen müssen bei Forschungsprozessen Berücksichtigung finden.

5.2 Bedeutung von KI im naturwissenschaftlichen (Lehramts-)Studium

Als Konsequenz daraus sollten Studierende nicht nur die traditionellen Methoden ihrer Fachdisziplin beherrschen, sondern auch die Fähigkeiten und Fertigkeiten entwickeln, KI-basierte Systeme und Techniken (sowohl im Bildungs- als auch Fachkontext) effektiv zu nutzen, gleichzeitig aber auch kritisch zu hinterfragen. Dies erfordert eine entsprechende Anpassung der Curricula und eine stärkere Betonung interdisziplinärer Ansätze, die technische, ethische und methodische Aspekte miteinander in Verbindung bringen.

Zudem müssen Lehrkräfte nicht nur selbst über KI-bezogene Kompetenzen verfügen, sondern auch in der Lage sein, diese an Schülerinnen und Schüler weiterzugeben, d.h. sie müssen nicht nur die fachlichen Grundlagen ihrer Disziplinen beherrschen, sondern auch ein Verständnis für die neuen, KI-gestützten Methoden entwickeln, die heute die naturwissenschaftliche Forschung prägen. Dies erfordert eine Erweiterung der bestehenden Curricula um Inhalte, die den Studierenden sowohl die technischen als auch die methodischen und ethischen Aspekte des Einsatzes von KI vermitteln. So wie Lehrkräfte aktuell fachgemäße Arbeitsweisen und Erkenntnismethoden (z.B. Chemie: Haber-Bosch-Verfahren, Rutherford'scher-Streuversuch, Biologie: CRISPR-Cas, Aufklärung der Semikonservativen DNA-Replikation, Physik: numerische Wettermodelle) im Fachunterricht vermitteln, werden zukünftig KI-basierte Verfahren berücksichtigt werden müssen (z.B. Chemie: Inverse Moleküldesignverfahren, Biologie: Strukturaufklärung von Proteinen, Design von Proteinen mit bestimmter Struktur, Physik: Wettervorhersage, Vorhersage des Verhaltens bisher unerforschter Substanzen in der Vielteilchenphysik, vgl. Übersicht Huwer et al., 2024).

5.3 Die Rolle von KI für Assessment, Feedback und Adaptivität

KI bietet im Bereich der Adaptivität und des Feedbacks vielversprechende Ansätze, um den Unterricht individueller und effektiver zu gestalten. Adaptivität im Kontext des technologieunterstützten Lernens beschreibt die Fähigkeit eines Systems, sich den individuellen Lernbedürfnissen von Schüler*innen anzupassen. Dies umfasst die dynamische Anpassung von Lerninhalten, -methoden und -tempi an die spezifischen Fähigkeiten, Interessen und auch Schwierigkeiten der Lernenden. In einer traditionellen

Schulumgebung ist es für Lehrkräfte oft schwierig, alle Schüler*innen gleichermaßen und gleichzeitig individuell zu fördern. Hier können KI-Systeme eine Lösung bieten. Ein bekanntes Beispiel sind Intelligente Tutorielle Systeme, die in Echtzeit Lernprozess-Daten sammeln, aufbereiten und analysieren, um den Lernstand zu bewerten und entsprechende Aufgaben, Erklärungen oder Hilfestellungen anzubieten. Diese Systeme lernen mit der Zeit dazu und verbessern ihre Anpassungsfähigkeit durch Methoden des Maschinellen Lernens.

In solchen Lernprozessen nimmt Feedback eine zentrale Rolle ein. Schüler*innen können dadurch ihren Lernstand einschätzen und werden mit Defiziten konfrontiert. Mittels KI kann Feedback auf verschiedenen Ebenen gegeben werden: KI-Systeme können Lernleistungen am Ende eines Lernabschnitts automatisiert bewerten und korrigieren, durch die Analyse von Antwortmustern individuelle Fehlvorstellungen und Wissenslücken identifizieren und darauf basierend gezielte Erklärungen oder Übungen auswählen oder auch potenzielle zukünftige Leistungen vorhersagen und frühzeitig Interventionen vorschlagen, um Lernschwierigkeiten und Brüchen im Bildungsverlauf vorzubeugen. Solche Leistungen können durch KI-Systeme aber nur durch das Training mit und die kontinuierliche Erfassung von Lernendendaten erbracht werden (vgl. Wilke, 2025). Im schulischen Bereich sind solche Daten jedoch besonders schützenswert, da es sich bei den Lernenden um Kinder und Jugendliche handelt. Die unterrichtliche Implementation erfordert darum neben einer adäquaten technischen Ausstattung eine Auseinandersetzung mit Fragen des Datenschutzes und der Datensicherheit. Zudem müssen Lehrkräfte entsprechend geschult werden, sodass sie in die Lage versetzt werden, die Systeme professionell, didaktisch sinnvoll und kritisch reflektiert einsetzen zu können und dabei die endgültige Kontrolle über pädagogische Entscheidungen behalten. Da davon auszugehen ist, dass KI über die unterrichtlichen Ebenen hinaus auch auf in Schulverwaltungsprozessen und Qualitätssicherung (Schmidt et al., 2021) eine Rolle spielen wird, kommen für Lehrkräfte wahrscheinlich auch abseits des eigenen Unterrichts weitere Schnittstellen zu KI-Systemen hinzu.

6 Der Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt der Naturwissenschaften für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz – DiKoLAN^{KI}

Die Integration von KI in die Hochschullehre erfordert koordinierte Strategien und strukturierte Lehrkonzepte. Kompetenzraster bieten dazu eine Orientierung und helfen Dozierenden dabei, die erforderlichen Kompetenzen effektiv, systematisch und im Idealfall sogar über Fachwissenschaften, Fachdidaktiken und Bildungswissenschaften hinweg abgestimmt und kohärent zu vermitteln sowie alle notwendigen Bereiche abzudecken.

6.1 Umgang mit Künstlicher Intelligenz erfordert mehr als technisches Wissen

Die Lehrkräftebildung steht durch die in immer mehr Bereiche ausstrahlende digitale Transformation vor neuen Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf die Wissensbasis und Kompetenzen, die für den Unterricht erforderlich sind. Das TPACK-Modell (Technological Pedagogical Content Knowledge) von Mishra und Koehler (2006) bildet für Überlegungen zu einer entsprechenden Kompetenzbasis einen wichtigen Ausgangspunkt, indem es die Integration von technologischem, pädagogischem und fachlichem Wissen in den Unterricht betont. Doch angesichts der ständigen technologischen Weiterentwicklungen, die auch immer stärker in das soziale Miteinander und in gesellschaftliche Prozesse ausstrahlen, zeigt sich, dass das ursprüngliche TPACK-Modell diesbezüglich auf Vollständigkeit und fortschrittsbedingte Anpassungen zu prüfen ist. Der Technologiebereich (TK) im TPACK-Modell ist leicht nachvollziehbar, da er sich auf konkrete Technologien und Tools bezieht, die ggf. auch im Unterricht verwendet werden. Weniger offensichtlich ist jedoch, dass auch die Inhalte im Sinne eines Lernens über Fachmethoden kontinuierlich durch technologische Innovationen transformiert werden (TCK – Technological Content Knowledge), was von Lehrkräften erfordert, ihr Wissen stetig zu erweitern und anzupassen. Darüber hinaus müssen Lehrkräfte nicht nur über technologische Fähigkeiten verfügen, sondern auch die soziokulturelle Akzeptanz und die Auswirkungen dieser Technologien auf Lernende verstehen. Dieser Erkenntnis folgend ist eine Ergänzung des Modells zum DPACK-Modell (Digitally-related Pedagogical and Content Knowledge, Thyssen et al., 2023), welches das TPACK-Modell um (digitalitätsbezogenes) soziokulturelles Wissen (SK) erweitert (Abb. 2), ein möglicher Ansatz, neue Anforderungen an die Lehrkräfteausbildung abzubilden, die auch von Schöpfern des TPACK-Modells gesehen werden. Durch die Erweiterung um SK entstehen jeweils neue Schnittbereiche mit den bisherigen TPACK-Bereichen (in der Nomenklatur folglich mit S vorangestellt), wie z. B. SPK (Socio-cultural Pedagogical Knowledge) bzw. überall da, wo eine ST-Schnittstelle entsteht, spricht man von Digitally Related Knowledge (z. B. DK).

Mishra et al. (2023) betonen insbesondere die zunehmende Relevanz von Contextual Knowledge („Contexts“), das die sozialen und kulturellen Rahmenbedingungen des Lernens und Lehrens berücksichtigt. Beispielsweise hat die Einführung von KI die Art und Weise verändert, wie Menschen kommunizieren und auch wie Unterricht gestaltet werden kann. Die soziale Akzeptanz von KI und anderen Technologien hängt dabei stark von den kulturellen und gesellschaftlichen Kontexten ab, in denen sie eingesetzt werden. Für Lehrkräfte bedeutet dies, dass sie nicht nur Technologien kennen, sondern auch die sozialen Dynamiken verstehen müssen, die den Einsatz dieser Technologien beeinflussen oder z. B. auch als wie menschlich KI wahrgenommen wird. D. h. sowohl aktive Lehrkräfte als auch Lehrkräftebildner*innen profitieren bei der Anpassung von eigenen Kompetenzständen und Ausbildungskonzepten von Orientierungshilfen, die die Rolle von KI in unterrichtlichen Handlungsfeldern und daraus ableitbare Kompetenzanforderungen beleuchten.

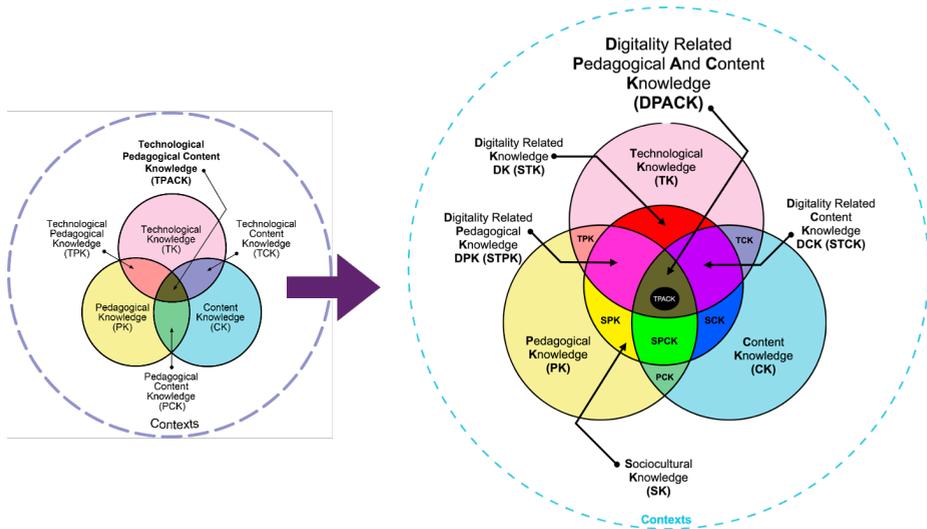


Abbildung 2: Soziokulturelle Erweiterung von TPACK zu DPACK (tpack.org; Thyssen et al., 2023)

6.2 KI-Perspektive auf unterrichtliche Handlungsfelder: Von DiKoLAN PLUS zu DiKoLAN^{KI}

Um unterrichtsrelevante, KI-assoziierte Anwendungen und damit verbundene Kompetenzen zusammenzustellen, wurden die acht zentralen Kompetenzbereiche von DiKoLAN PLUS mit Blick auf den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) analysiert und abhängig vom Ergebnis der Sichtung in drei Varianten angepasst, wobei DiKoLAN^{KI} entstand (Huwer et al., 2024):

- **Substitution:** Hierbei werden im KI-Kontext als relevant eingestufte digitale Kompetenzen unmittelbar in KI-bezogene Kompetenzen übertragen, indem „digital(e)“ durch „KI-bezogene“ ersetzt wird.
- **Augmentation:** Bestehende, im KI-Kontext erweiterbare digitale Kompetenzen werden um spezifische Aspekte der KI ergänzt. Die reine Wortersetzung reicht nicht aus, da neue Aspekte in den Fokus rücken.
- **Neudefinition/Deletion:** Es wurden neue, KI-relevante Kompetenzen, wie etwa in der Mensch-Maschine-Kommunikation, hinzugefügt. Außerdem wurden allgemein-digitale Kompetenzen gestrichen, die im KI-Kontext keine Anwendung finden.

DiKoLAN^{KI} wurde in mehreren Zyklen vom Expertenteam der AG Digitale Basiskompetenzen (Autor*innengruppe dieses Beitrags) entwickelt und in einem Entwurf auf der GDCP-Schwerpunkttagung „KI in der naturwissenschaftlichen Bildung – Perspektiven, Herausforderungen & Verantwortung für Forschung & Lehrkräftebildung“ (2024) zur Diskussion gestellt. Nach dem Feedback der Expert*innen wurde der erste Rahmen angepasst. Das Ergebnis dieses Prozesses liegt nun als „Orientierungsrah-

men digitale Kompetenzen für das Lehramt der Naturwissenschaften für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz – DiKoLAN^{KI} vor.

6.3 Erläuterung der Struktur von DiKoLAN^{KI}

DiKoLAN^{KI} wurde entwickelt, um spezifische Kompetenzen von Lehrkräften für den naturwissenschaftlichen Unterricht mit und über KI zu strukturieren. Er baut auf dem bestehenden DiKoLAN PLUS auf, indem er die vorhandenen unterrichtlichen Handlungsfelder (Kompetenzbereiche) analysiert, diese bzgl. KI-spezifischer Aspekte reflektiert und DiKoLAN PLUS um diese erweitert. DiKoLAN^{KI} ist deshalb ebenfalls in acht Kompetenzbereiche gegliedert; d. h. die Oberflächenstruktur ist identisch zu DiKoLAN PLUS, wobei zur besseren Unterscheidung eine andere Farbe (im Sinne eines Filters auf KI-spezifische Kompetenzen) verwendet wird. Die acht Kompetenzbereiche orientieren sich an den bereits existierenden grundlegenden Handlungsfeldern (von DiKoLAN PLUS) des unterrichtlichen Handelns (Abb. 3). Diese umfassen Dokumentation, Präsentation, Kommunikation und Kollaboration, Recherche und Bewertung, Messwert- und Datenerfassung, Datenverarbeitung, Simulation und Modellie-



Abbildung 3: Oberflächenstruktur des Orientierungsrahmens „Digitale Kompetenzen für das Lehramt der Naturwissenschaften für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz“ – DiKoLAN^{KI} (Huwer et al., 2024).

rung sowie Assessment, Feedback und Adaptivität. Diese Kompetenzbereiche sind wie bisher in verschiedene Niveaus (Nennen, Beschreiben, Anwenden) differenziert, um eine zielgerichtete und kumulative Kompetenzentwicklung zu ermöglichen.

DiKoLAN^{KI} bietet folglich einen strukturierten Rahmen, der es ermöglicht, KI-bezogene Kompetenzen systematisch in bestehende Lehrveranstaltungen zu integrieren, neue Lehr-Lernformate zu konzipieren oder generell aus einer Perspektive unterrichtlichen Handelns digitale Technologien und Kompetenzen mit einem Fokus auf KI zu betrachten. Dabei ist essentiell, dass die Betrachtung und Vermittlung von KI-Kompetenzen nicht abstrakt und isoliert erfolgt, sondern in den Kontext des fachlichen und pädagogischen Wissens eingebettet wird, um in den einzelnen Handlungsfeldern handlungsfähig zu werden und im Zuge von weiteren technologischen Entwicklungen auch zu bleiben.

7 Fazit und Ausblick

In Zeiten von adaptivem Unterricht und KI wird deutlich, dass digitalisierungsbezogene Kompetenzen für das Lehramt der Naturwissenschaften sowohl im fachlichen als auch pädagogischen Bereich wesentlicher Teil der Lehrkräfteprofessionalisierung sind, um einerseits Lernprozesse mit digitaler Unterstützung individueller und flexibler gestalten zu können und andererseits auch aktuelle naturwissenschaftliche Forschung und Grundlagen zu dort bereits etablierten digitalen und z.T. KI-gestützten Methoden im Fach vermitteln zu können. Wenn mit der Proteinstrukturaufklärung mittels KI innerhalb eines Jahres bereits 2.000-mal mehr Proteinstrukturen als in den letzten 10 Jahren herkömmlicher Forschung aufgeklärt werden konnten, dann wird deutlich, dass eine Auseinandersetzung mit KI aus naturwissenschaftlicher Perspektive unumgänglich sein wird. Spannend ist in diesem Zusammenhang auch die Diskussion, ob das Programmiererteam oder die KI selbst (AlphaFold) den Chemie-Nobelpreis erhalten hätte sollen (z.B. Grolle, 2022). Wenn zugleich kommerzielle KI-Lernbegleitung immer verfügbarer wird (z.B. <https://lerne-mit-alena.de/>), dann ist zu erkennen, dass sich Kernbereiche des Lehrkräftehandelns in einer rasanten Transformation befinden und Lehrkräfte selbst hierbei nicht am Rande, sondern kompetent mit im Zentrum stehen sollten, um diese Technologien selbst für adaptiven Unterricht nutzen sowie ihren Einsatz begleiten und lenken zu können. Die KI-Erweiterungen von DiKoLAN PLUS sollen dabei unterstützen und (mit strukturierten Best-Practice-Beispielen, vgl. Tabelle 1) Impulse geben.

Tabelle 1: Praxisbeispiele für Möglichkeiten zur Entwicklung von KI-bezogenen Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht (vgl. Beiträge in Huwer et al., 2024)

Kompetenzbereich	Referenzen
Assessment, Feedback und Adaptivität	Thyssen, 2025; Kremser, 2025; Meier & Kastaun, 2025; Maurer & Brückner, 2024; Kastaun et al., 2024
Dokumentation	Thoms & Huwer, 2024
Präsentation	Lindlahr, 2024; Thoms & Huwer, 2024; Kühne & Schanze, 2024
Kommunikation und Kollaboration	Graup et al., 2024; Lauer et al., 2024; Damköhler et al., 2024
Recherche und Bewertung	Wiedenmann et al., 2024; Tassoti, 2024; Henze et al., 2024; Fehrmann, 2024; Berber et al., 2024
Messwert- und Datenerfassung	Thoms et al., 2024; Albicker et al., 2024
Datenverarbeitung	Bewersdorff & Nerdel, 2024; von Kotzebue et al., 2024
Simulation und Modellierung	te Vrugt, 2024; Winkelmann et al., 2024

Literatur

- Albicker, J., Yanakieva, E., Knittel, V., Welker, V., Becka, T., Pampel, B., Bieniusa, A., Huwer, J. & Thyssen, C. (2024). Nichtgenerative KI im Biologieunterricht am Beispiel von Bilderkennung zur Blattbestimmung. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 134–137). Waxmann.
- Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (Hrsg.). (2020). *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. Joachim Herz Stiftung.
- Berber, S., Syskowski, S. & Huwer, J. (2024). Science-Future-Lab – ein innovatives Lehr-Lern-Labor-konzept zur Integration von Zukunftstechnologien. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 138–141). Waxmann.
- Bewersdorff, A. & Nerdel, C. (2024). KI in gymnasialer und beruflicher Lehrkräftebildung an der TUM: Interdisziplinäres und fachdidaktisches Umsetzungsbeispiel. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 110–113). Waxmann.
- Bewersdorff, A., Zhai, X., Roberts, J. & Nerdel, C. (2023). Myths, mis- and preconceptions of artificial intelligence: A review of the literature. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100143. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100143>

- Budde, J. (2017). Heterogenität: Entstehung, Begriff, Abgrenzung. In T. Bohl, J. Budde & M. Rieger-Ladich (Hrsg.), *Umgang mit Heterogenität in Schule und Unterricht. Grundlagentheoretische Beiträge und didaktische Reflexionen* (S. 13–26). Klinkhardt.
- Braun, T., Büsch, A., Dander, V., Eder, S., Förschler, A., Fuchs, M., Gapski, H., Geisler, M., Hartong, S., Hug, T., Kübler, H.-D., Moser, H., Niesyto, H., Pohlmann, H., Richter, C., Rummler, K. & Sieben, G. (2000). Positionspapier zur Weiterentwicklung der KMK-Strategie ‚Bildung in der digitalen Welt‘. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 1–7. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2021.11.29.X>
- Buholzer, A., Baer, M., Ruelmann, M. & Zulliger, S. (2023). Formatives Assessment – eine vernachlässigte Dimension von Unterrichtsqualität? *Bildung und Erziehung*, 76(1), 43–60. <https://doi.org/10.13109/buer.2023.76.1.43>
- Cornelsen (2020). „Schule früher und heute“ als Unterrichtsthema – Die Schule im Wandel der Zeit. <https://www.cornelsen.de/magazin/beitraege/schule-frueher-und-heute> (letzter Zugriff: 30.08.2024).
- Damköhler, J., Lutz, W. & Trefzger, T. (2024). Das Würzburger KI-Projekt: ChatGPT als Reflexionscoach im Lehr-Lern-Labor-Seminar Physik. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 70–73). Waxmann.
- Fehrmann, R. (2024). Let's prompt – aber sicher!? Den Funktionsweisen künstlicher Intelligenz durch Computational Thinking und Educational Robotics begegnen. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 126–129). Waxmann.
- Graup, J., Hansen, C., Rachbauer, T. & Rutter, E. (2024). Eine vierteilige Modulreihe zur Förderung von Digital und Artificial Intelligence (AI) Literacy in der Lehrerbildung. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 86–89). Waxmann.
- Grolle, J. (2022). KI-System AlphaFold – Sollte diese Maschine den Nobelpreis bekommen? *SpiegelOnline*. <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/alphafold-sollte-diese-maschine-den-nobelpreis-bekommen-a-04a5b4a2-5e79-4e1e-aeb9-690f9a1999ef> (letzter Zugriff: 30.08.2024).
- Henze, J., Therolf, S., Lademann, J., Bresges, A. & Becker-Genschow, S. (2024). Entdeckungsreise KI: Lernen durch Gestalten und Analysieren. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 94–97). Waxmann.
- Huwer, J., Becker-Genschow, S., Thyssen, C., Thoms, L.-J., Kotzebue, L. von, Finger, A., Kremser, E., Berber, S., Brückner, M., Maurer, N., Bruckermann, T. & Meier, M. (2024). Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz in den Naturwissenschaften: DiKoLAN KI. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Pers-*

pektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften (S. 4–59). Waxmann.

- Kastaun, M., Hundeshagen, N., Lange, M. & Meier, M. (2024). KI für die Professionalisierung von angehenden Biologielehrpersonen am Beispiel naturwissenschaftlicher Hypothesenbildung. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 98–101). Waxmann.
- KMK, Kultusministerkonferenz (2016). *Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz*. https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf (letzter Zugriff: 20.08.2024).
- Kremser, E. (2025, in press). Kollaborativ geführtes Live-Peer-Feedback. In C. Thyssen, M. Meier, S. Becker-Genschow, T. Bruckermann, A. Finger, J. Huwer, E. Kremser, L.-J. Thoms & L. von Kotzebue (Hrsg.), *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS*. Joachim Herz Stiftung.
- Kühne, P. & Schanze, S. (2024). KI in der naturwissenschaftlichen Lehrkräfteausbildung: KI-kompetente Lehrkräfte für die Gestaltung modernen Unterrichts. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 106–109). Waxmann.
- Lauer, L., Poensgen, S. & Peschel, M. (2024). Einsatz von KI-basierten Chatbots in der Ausbildung von Sachunterrichtslehrkräften. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 90–93). Waxmann.
- Lindlahr, W. (2024). KI-generierte Bilder für MINT-Kontexte: Bildgeneratoren unter didaktischen Gesichtspunkten einsetzen und reflektieren. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 118–121). Waxmann.
- Maurer, N. & Brückner, M. (2024). Möglichkeiten und Limitationen der Nutzung von KI für den naturwissenschaftlichen Unterricht – ein Weiterbildungskonzept. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 130–133). Waxmann.
- Meier, M., Schaal, S. & Thyssen, C. (2024). *Digital Biologie unterrichten: Grundlagen, Impulse und Perspektiven*. Kallmeyer.
- Meier, M., Thyssen, C., Becker-Genschow, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Thoms, L.-J. & von Kotzebue, L. (2025, in press). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS. In C. Thyssen, M. Meier, S. Becker-Genschow, T. Bruckermann, A. Finger, J. Huwer, E. Kremser, L.-J. Thoms & L. von Kotzebue (Hrsg.), *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS*. Joachim Herz Stiftung.

- Meier, M. & Kastaun, M. (2025, in press). Digital gestütztes Feedback gestalten, einsetzen und reflektieren. In C. Thyssen, M. Meier, S. Becker-Genschow, T. Bruckermann, A. Finger, J. Huwer, E. Kremser, L.-J. Thoms & L. von Kotzebue (Hrsg.), *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS*. Joachim Herz Stiftung.
- Mientus, L. & Borowski, A. (2024). KI und Co. bewusst einplanen: KI-CoRes als unterstützendes Tool zur Unterrichtsvorbereitung. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 114–117). Waxmann.
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Mishra, P., Warr, M. & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 39(4), 235–251. <https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480>
- Nyaaba, M. & Zhai, X. (2024). Generative AI Professional Development Needs for Teacher Educators. *Journal of AI*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.61969/jai.1385915>
- Reinhold, F., Brod, G., Burde, J.-P., Friesen, M., Gerjets, P., Huwer, J., Kuhn, J., Thyssen, C. & Lachner, A. (2025, in press). Lehrkräfte für einen adaptiven, digital gestützten und prozessorientierten MINT-Unterricht vorbereiten: Das Verbundprojekt MINT-ProNeD. In C. Thyssen, M. Meier, S. Becker-Genschow, T. Bruckermann, A. Finger, J. Huwer, E. Kremser, L.-J. Thoms & L. von Kotzebue (Hrsg.), *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS*. Joachim Herz Stiftung.
- Robert Bosch Stiftung (2024). *Deutsches Schulbarometer: Befragung Lehrkräfte. Ergebnisse zur aktuellen Lage an allgemein- und berufsbildenden Schulen*. Robert Bosch Stiftung.
- Schmid, U., Blanc, B., Toepel, Mi., Pinkwart, N. & Drachsler, H. (2021). *KI@Bildung: Lehren und Lernen in der Schule mit Werkzeugen Künstlicher Intelligenz*. Deutsche Telekom Stiftung.
- SWK, Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (2021). Stellungnahme zur Weiterentwicklung der KMK-Strategie „Bildung in der digitalen Welt“. Bonn. https://www.pedocs.de/volltexte/2023/26115/pdf/SWK_2021_Stellungnahme_zur_Weiterentwicklung.pdf, <https://doi.org/10.25656/01:26115>
- SWK, Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (2024). Large Language Models und ihre Potenziale im Bildungssystem. Impulspapier der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz. Bonn. <https://doi.org/10.25656/01:28303>
- Tassoti, S. (2024). Der Einsatz generativer KI in digitalen Projekten zur Förderung von Prompting und Co-Creation-Prozessen. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 74–77). Waxmann.
- te Vrugt, M. (2024). Ein einfaches neuronales Netz und seine Anwendung in der Biotechnologie. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen*

- und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften (S. 82–85). Waxmann.
- Thoms, L.-J. & Huwer, J. (2024). Design Thinking zur Antizipation von Einsatzmöglichkeiten Künstlicher Intelligenz in Unterricht, Schule und Alltag. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 78–81). Waxmann.
- Thoms, L.-J., Rothlin, T., Purandare, M., Loch, F. & Huwer, J. (2024). ChemStrucLearn – KI-basierte Bilderkennung zur Diagnose von Schülerfehlern beim Zeichnen von Strukturformeln. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 66–69). Waxmann.
- Thyssen, C., Pankow, A., Klaeger, K. & Chernyak, D. (2021a). Kompetenzen und Nutzungsperspektiven von Lehrkräften zum Einsatz digitaler Medien zur Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Unterricht. In T. Reuter, A. Weber, S. Nitz & M. Leuchter (Hrsg.), *Empirische Pädagogik: 1-2021. Problemlösen in digitalen Kontexten*. Verlag Empirische Pädagogik.
- Thyssen, C., Tolou, A. & Bednarz, M. (2021b). Ich kam, sah und kommentierte ...: Kollaborative Videoanalysen mit smallpart. *digital unterrichten Biologie*, 2021(5), 10–11.
- Thyssen, C. (2022). Smartphone als portable Dokumentenkamera. *digital unterrichten Biologie*, 2022(7), 12.
- Thyssen, C., Huwer, J., Irion, T. & Schaal, S. (2023). From TPACK to DPACK: The “Digitally-Related Pedagogical and Content Knowledge”-Model in STEM-Education. *Education Sciences*, 13(8), 769. <https://doi.org/10.3390/educsci13080769>
- Thyssen, C. (2025, in press). Digitale Lehrbegleitung: Peer-Feedback & Assessment. In C. Thyssen, M. Meier, S. Becker-Genschow, T. Bruckermann, A. Finger, J. Huwer, E. Kremser, L.-J. Thoms & L. von Kotzebue (Hrsg.), *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS*. Joachim Herz Stiftung.
- Ungerer, L. & Slade, S. (2022). Ethical Considerations of Artificial Intelligence in Learning Analytics in Distance Education Contexts. In P. Prinsloo, S. Slade & M. Khalil (Hrsg.), *SpringerBriefs in Education. Learning Analytics in Open and Distributed Learning* (S. 105–120). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0786-9_8
- 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. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 115–129. <https://doi.org/10.1007/s40573-019-00095-6>
- von Kotzebue, L., Steinacher, F. & Schönbrodt, S. (2024). KI im Biologieunterricht: Von den Grundlagen zur praxisorientierten Anwendung. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 102–105). Waxmann.
- Wagner, M. (2024, 2. August). Global warming could unlock carbon from tropical soil. *Rhein-Main Kurier*. <https://rm-kurier.de/panorama/old-school-bedeutung/>
- Wilke, T. (2025). www.chemie-ki.de (zuletzt abgerufen am 19.02.2025)

- Wiedenmann, J., Aumann, A. & Weitzel, H. (2024). BioLogisch Denken: Mit KI Computational Thinking und naturwissenschaftliches Forschen verknüpfen. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 62–65). Waxmann.
- Winkelmann, J., Leifheit, L., Belschner, S., Holz, H., Beuttler, B., Löfflad, D. & Meurers, D. (2024). Künstliche Intelligenz im MINT-Unterricht: Entwicklung einer Lehrveranstaltung für Lehramtsstudierende. In J. Huwer, S. Becker-Genschow, C. Thyssen, L.-J. Thoms, A. Finger, L. v. Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 122–125). Waxmann.
- Zhai, X. & Nehm, R. H. (2023). AI and formative assessment: The train has left the station. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(6), 1390–1398. <https://doi.org/10.1002/tea.21885>

Keywords: Adaptiver Unterricht, Digitale Transformation, KI, digitalisierungsbezogene Kompetenzen, Orientierungsrahmen DiKoLAN

Einschätzung einer digitalen Lernumgebung zur chemischen Bindung und Formelsprache

1 Vom STRAKNAP-Konzept zur digitalen Lernumgebung

Die hier diskutierte Lernumgebung greift die Gestaltungsmerkmale des STRAKNAP-Konzeptes (STRAtegy – KNowledge -APplication) (Hermanns, 2021) auf. Dieses wurde anhand der theoretischen Grundlagen des Konstruktivismus (Bransford et al., 1999), der kognitiven Belastung (Sweller, 2010) sowie der Zone der proximalen Entwicklung (Shabani et al., 2010) entwickelt. Es werden drei verschiedene Hilfen (Scaffolds) bereitgestellt: strategische Tipps, benötigtes Fachwissen und Hilfen zur Anwendung des Fachwissens. In der digitalen Lernumgebung übernehmen einleitende Videos die Funktion der strategischen Tipps, indem sie erläutern, wie die Lernumgebung genutzt werden soll. Benötigtes Fachwissen wird über hinterlegte Fachinformationen, ein Fachbegriffsglossar sowie ein verlinktes PSE zur Verfügung gestellt. Welches Wissen angewendet werden soll, wird bei den Aufgaben in einem Info-Kasten, welcher auch die Links zum Fachwissen enthält, angegeben.

2 Aufbau und Testung der digitalen Lernumgebung

Die Lernumgebung wurde mit genialy (genially, o.J.) als Ergänzung zu bestehenden Lehrveranstaltungen an der Universität Potsdam in allgemeiner, anorganischer und organischer Chemie in den ersten drei Semestern erstellt. Zielgruppe sind alle Studierenden, die Chemielehrveranstaltungen besuchen, sowohl im Haupt- als auch im Nebenfach. Die Lernumgebung dient dem selbstständigen Überprüfen und des Trainings chemischer Fähigkeiten in den Themengebieten: Periodensystem der Elemente (PSE), chemische Bindung, chemische Formeln sowie chemische Reaktionen. Zu jedem Themengebiet gibt es einen Selbsttest zum Fachwissen und zur Anwendung, mit dem die Studierenden ihre fachlichen Fähigkeiten überprüfen können. Jeder Selbsttest besteht dabei aus zwei separaten Tests: einem Fachwissenstest (10–18 Aufgaben) und einem mit Anwendungsaufgaben (10–23 Aufgaben).

Neben Trainingsmaterialien mit Musterlösungen sind auch Lernspiele wie z. B. ein Paare-Spiel, bei dem einem Fachbegriff die korrekte Abbildung zuzuordnen ist, zu Fachbegriffen enthalten. Zur Unterstützung sind ein Fachbegriffsglossar für das schnelle Aufrufen von Fachbegriffserklärungen bei der Aufgabenbearbeitung sowie ein PSE verlinkt. Beispielaufgaben dienen der Rückmeldung des Lernstandes am Ende des Arbeitens mit der Lernumgebung. In kurzen Videos (simpleshow, 2024) erfahren die Studierenden, wie die Lernumgebung aufgebaut ist und wie sie mit dieser arbeiten können. Bei der Gestaltung der Videos wurde auf eine sinnvolle Verknüpfung von

Bild und Sprache geachtet, weil nur so eine sinnvolle Verarbeitung der auditiven und visuellen Informationen möglich ist (Mayer, 2005). Die Bilder, die von simpleshow vorgeschlagen wurden, wurden passend zum Text angeordnet. Es wurde auch darauf geachtet, dass gleiche Bilder für den gleichen Begriff verwendet wurden, und die Anzahl an Bildern sollte nicht zu groß werden (max. 7 pro Folie). Da das erfolgreiche Arbeiten mit einer digitalen Lernumgebung nicht nur von den Inhalten, sondern auch vom Aufbau der Lernumgebung abhängt (Schneeweiss et al., 2022), wurde bei der Gestaltung auf eine möglichst anwenderfreundliche Navigation geachtet. Die Navigation ist nur durch Buttons möglich, bei denen erklärt wird, wohin man gelangt. Für gleiche Funktionen werden gleiche Buttons verwendet. Die zusätzlichen Hilfen (PSE, Fachbegriffsglossar) sind über Links zugänglich. Bei den Anwendungsaufgaben muss man die Lösung anklicken, um weiterzukommen. Insgesamt ist die Lernumgebung modular aufgebaut; vier Themengebiete mit den Inhalten: Fachwissen testen, Anwendungsaufgaben lösen sowie Trainingsmaterialien bearbeiten (vergleichbar zum Segmentations-Prinzip von Mayer, 2005).

3 Studie zur technischen Umsetzung der digitalen Lernumgebung

Die technische Umsetzung wurde in einer Studie im Prä-Post-Design untersucht. Hier wurde sowohl gefragt, was die Studierenden in Bezug auf technische Aspekte als auch auf inhaltliche Aspekte von einer Lernumgebung erwarten. Für die Erstellung des Fragebogens wurde in bekannten Studien nach geeigneten Items gesucht (Hauck et al., 2022; Hermanns & Keller, 2022; Kay & Knaack, 2009; Lewis, 2002). Diese sind geclustert, auf Dopplung überprüft, an die Lernumgebung angepasst und durch eigene Items ergänzt worden. Es handelt sich um offene Fragen und geschlossene Items mit vierstufiger Likert-Skala (forced-choice): 1 = trifft überhaupt nicht zu, 2 = trifft eher nicht zu, 3 = trifft eher zu, 4 = trifft völlig zu. Beim Post-Fragebogen werden nur die Ergebnisse der 10 Studierenden, die an der Lerntagebuchstudie teilnahmen, betrachtet, da dort sichergestellt war, dass die Studierenden sich aktiv mit der Lernumgebung beschäftigt haben. Die Unterschiede zwischen den Items im Prä-Test und den Items im Post-Test sind nur gering: „Ich erwarte von der Lernumgebung, dass sie ansprechend designt ist“ heißt im Post-Test: „Ich finde, dass sie ansprechend designt ist“. In diesem Beitrag werden nur die Items zur technischen Umsetzung vorgestellt und anhand der Forschungsfragen diskutiert.

Stichprobe und Intervention

Im Prä-Test haben 51 Lehramtsstudierende (19 aus der Lehrveranstaltung „Allgemeine und Anorganische Chemie“ im Bachelor, 16 aus der Lehrveranstaltung „Organische Chemie 1“ im Bachelor und 16 aus der Lehrveranstaltung „Weiterführende Organische Chemie“ im Master) teilgenommen. Im Post-Test haben 10 Studierende (alle Organische Chemie 1) teilgenommen. Sie wurden in der Lehrveranstaltung angeworben. Wer mitmachen wollte, hat mitgemacht. Die Studierenden erhielten 40 Euro für ihre investierte Zeit. Leider konnten keine Studierenden aus dem ersten Semester für

die Lerntagebuchstudie gewonnen werden, wodurch die Passung zwischen Stichprobe und Lernumgebung suboptimal ist. In der Lerntagebuchstudie haben die Studierenden über drei Wochen verteilt einzelne Bestandteile der Lernumgebung erkundet, erarbeitet und bewertet. Der Post-Test wurde nach diesen drei Wochen von den Studierenden ausgefüllt.

4 Diskussion der Ergebnisse mit Beantwortung der Forschungsfragen

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse (Mittelwerte und Standardabweichungen) für die Prä- und Postbefragung aufgelistet.

Tabelle 1: Erwartungen und Erfahrungen der Studierenden an die und mit den technischen Aspekten der Lernumgebung.

Items	Prä (N = 51)	Post (N = 10)
	M (SD)	M (SD)
Ansprechendes Design	3.29 (.729)	3.70 (.483)
Übersichtliche Gestaltung	3.92 (.272)	3.30 (.675)
Einheitlicher Aufbau	3.45 (.673)	3.90 (.316)
Gliederung in sinnvolle Einheiten	3.67 (.476)	3.80 (.422)
Logische Vernetzung der Themen und Bestandteile	3.69 (.469)	3.30 (.483)
Gute Integration der einzelnen Funktionen	3.49 (.505)	3.50 (.527)
Enthaltene Elemente werden gezeigt	3.29 (.642)	3.60 (.699)
Wie man mit ihr arbeiten kann, wird gezeigt	3.35 (.688)	3.50 (.707)
Schnelles Zurechtfinden	3.61 (.568)	3.50 (.707)
Effizientes Arbeiten	3.86 (.348)	3.70 (.483)
Keine Ablenkung von den fachlichen Inhalten	3.39 (.777)	3.80 (.422)
Motivation für Beschäftigung mit den Fachinhalten	3.27 (.750)	2.90 (.738)
Motivation für Auseinandersetzung mit den Fachinhalten	3.35 (.744)	3.10 (.568)
Hilfe für Begeisterung von den Fachinhalten	2.98 (.860)	3.10 (.316)

Farbcodes: Grün = Items zum Aufbau; Orange = Items zur Funktionsweise; Blau = Items zum persönlichen Arbeiten

Wie sind die technischen Erwartungen der Studierenden an eine digitale Lernumgebung?

Die Studierenden erwarten v.a. eine übersichtliche Gestaltung ($M = 3.92$, $SD = 0.27$), was zu den Anforderungen an das erfolgreiche Arbeiten mit einer digitalen Lernumgebung, z.B. Aufbau, passt (Schneeweiss et al., 2022). Bei diesem Item ist nicht nur der Mittelwert am größten, sondern es herrscht auch die größte Einigkeit (kleinste Standardabweichung) unter den befragten Studierenden. Obwohl das ansprechende Design mit einem Mittelwert $M = 3.29$ am wenigsten gut bewertet wird, ist die Zustimmung hier immer noch im Bereich „trifft eher zu“. Die Standardabweichung ist relativ hoch ($SD = 0.73$), was zeigt, dass hier die individuellen Vorzüge der Studierenden unterschiedlich sind. Zwischen den Items „übersichtliche Gestaltung“ und „einheitlicher Aufbau“ ($r_s = 0.388^{**}$) und zwischen „einheitlicher Aufbau“ und „Gliederung in sinnvolle Einheiten“ ($r_s = 0.329^*$) liegen signifikante Korrelationen im mittleren Bereich vor, was für die Entwicklung einer digitalen Lernumgebung bedeutet, dass alle Designelemente (Gliederung, Gestaltung, Aufbau) berücksichtigt werden müssen. Für das Arbeiten mit der Lernumgebung wird die logische Vernetzung der Themen am positivsten bewertet ($M = 3.69$; $SD = 0.47$). Auf die Navigation innerhalb der Lernumgebung wurde bei der Entwicklung auch am meisten Wert gelegt. Studierende, die sich Informationen dazu wünschen, „welche Elemente in der Lernumgebung enthalten sind“, wollen auch „gezeigt bekommen, wie man mit dieser arbeiten kann“ ($r_s = 0.375^{**}$). Daher sollten in den Erklärvideos zur Lernumgebung nicht nur deren Aufbau, sondern zugleich auch die Arbeitsweise mit dieser vorgestellt werden. Die Studierenden erwarten von der Lernumgebung, dass sie mit dieser effektiv arbeiten können ($M = 3.86$; $SD = 0.35$). Wenn auch immer noch im Bereich „trifft eher zu“, wurden die Items zur Motivation etwas weniger gut bewertet ($M = 3.27$ bzw. 3.35). Die Erwartungen an die Lernumgebung als Hilfe zur Begeisterung der Fachinhalte sind mit $M = 2.98$ am geringsten, aber auch mit einer Standardabweichung von $SD = 0.86$ am wenigsten homogen. Insgesamt sind die Erwartungen an die Gestaltung am größten, was auch am einfachsten umsetzbar wäre. Motivationale Aspekte sind sehr persönlich, was sich in der Prä-Studie an den höheren Standardabweichungen ($SD = 0.74 - 0.86$) zeigt, wodurch zu erwarten ist, dass die Lernumgebung dort nicht für alle passend sein wird.

Wie schätzen die Studierenden ihre technischen Erfahrungen mit der digitalen Lernumgebung ein?

Die Mittelwerte der Items des Post-Tests liegen alle zwischen $M = 2.90$ bis $M = 3.90$ und damit im Bereich „trifft eher zu“ bis „trifft völlig zu“. Die Studierenden der Lernstagebuchstudie haben damit positive Erfahrungen mit den technischen Aspekten der Lernumgebung sammeln können. Insgesamt wurden die Items zum Aufbau am besten bewertet ($M = 3.30 - 3.90$). Das Item „einheitlicher Aufbau“ wurde mit $M = 3.90$ und $SD = 0.32$ am besten bewertet, mit der geringsten Standardabweichung; die Einschätzung der Studierenden ist daher homogen. Trotz der geringen Stichprobe ($N = 10$) gibt diese Einschätzung einen wichtigen und positiven Hinweis zum Aufbau der Lernumgebung. Die Items zur Funktionsweise wurden ebenfalls alle im Bereich „trifft eher

zu“ bis „trifft völlig zu“ ($M = 3.30 - 3.60$) bewertet. Die Standardabweichungen sind hier im mittleren bzw. höheren Bereich ($SD = 0.48 - 0.71$), was zeigt, dass der aktive Umgang mit der Lernumgebung, wenig überraschend, individuell ist. Als Motivation für die Beschäftigung mit den Fachinhalten wurde die Lernumgebung am wenigsten gut eingeschätzt ($M = 2.90$). Das liegt sicherlich auch an der nicht so guten Passung der Stichprobe zur Lernumgebung. Leider konnten nur Studierende des 3. Fachsemesters angeworben werden, für die viele Fachinhalte bekannt sein müssten.

Welchen Zusammenhang gibt es zwischen den Erwartungen und den Bewertungen der Studierenden?

Insgesamt gibt es keine großen Unterschiede in der Bewertung der Erwartungen und der Erfahrungen. Die Mittelwerte liegen alle im Bereich „trifft eher zu“ bis „trifft völlig zu“.

Literatur

- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. (1999). *How people learn: brain, mind, experience and school*. National Academy Press.
- Genially. (o.J.). *Genially Plattform für eLearning und die Erstellung interaktiver Inhalte*. <https://genially.com/de/>
- Hauck, D. J., Steffen, A. & Melle, I. (2022). A Digital Collaborative Learning Environment to Support First-Year Students in Learning Molecular Orbital Theory. In M. Rusek, M. Tóthová & D. Koperová (Hrsg.), *Conference Proceedings: Project-based education and other student-activation strategies and issues in science education XX*. (S. 178–192). Charles University, Faculty of Education.
- Hermanns, J. (2021). The task navigator following the STRAKNAP concept: development, application and evaluation of a new scaffold to support non-major chemistry students while solving tasks in organic chemistry. *J. Chem. Educ.*, 98(4), 1077–1087. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01162>
- Hermanns, J. & Keller, D. (2022). The development, use and evaluation of digital games and quizzes in an introductory course on organic chemistry for preservice chemistry teachers. *J. Chem. Educ.*, 99(4), 1715–1724. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.2c00058>
- Kay, R. H. & Knaack, L. (2009). Assessing Learning, Quality and Engagement in Learning Objects: The Learning Object Evaluation Scale for Students (LOES-S). *Educational Tech. Research Dev.*, 57(2), 147–168. <https://doi.org/10.1007/s11423-008-9094-5>
- Lewis, J. R. (2002). Psychometric Evaluation of the PSSUQ Using Data from Five Years of Usability Studies. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 14(3–4), 463–488. <https://doi.org/10.1080/10447318.2002.9669130>
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 31–48). Cambridge University Press.
- Schneeweiss, N., Jesgarz, M., Buchholz, J. & Sieve, B. (2022). Digitale Lernumgebungen lernförderlich gestalten. *MNU*, 75(4), 314–321.
- Shabani, K., Khatib, M. & Ebadi, S. (2010). Vygotsky's zone of proximal development: instructional implications and teachers' professional development. *Engl. Lang. Teach.*, 3(4), 237–248.

simpleshow. (2024). *Erklärvideos erstellen mit simpleshow*. Simpleshow. <https://simpleshow.com/de/>

Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123–138.

Keywords: Digitale Lernumgebung – Evaluation – Gamification – Genially

Motivieren mit (Teil-)Aufgaben zur Erklärvideoproduktion im Chemieunterricht

1 Erklärvideos im Unterricht

Ein Alltag ohne digitale Medien ist heute kaum mehr vorstellbar. Wir erleben aktuell eine rasante Weiterentwicklung der digitalen Tools durch die breite Anwendung und Implementierung der künstlichen Intelligenz. Der gesellschaftliche Wandel, der unter anderem durch die beschriebenen Veränderungen vorangetrieben wird, verändert die Anforderungen an die Kompetenzen sowohl von Lehrenden als auch von Lernenden (KMK, 2020). Der Alltag ist von den digitalen Medien und einer zunehmenden Medienzeit geprägt, was die Ergebnisse der JIM-Studie 2023 auch deutlich machen. In dieser gaben 82 % der 1200 befragten Zwölf- bis 19-Jährigen an, dass sie täglich bzw. mehrmals pro Woche Videos im Internet anschauen (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2023). 80 % der befragten SchülerInnen verbringen laut der Studie im Durchschnitt 91 Minuten auf YouTube [ebd.]. Durch die weit verbreitete Nutzung von YouTube und damit (Erklär-)Videos von Jugendlichen in der Freizeit, aber auch im Zusammenhang mit schulischem Lernen, ist YouTube schon längst ein Akteur im Bildungssektor geworden (Zeller & Bohrmann-Linde, 2021). Jörissen et al. zeigten bereits im Jahre 2019 in ihrer Studie, dass sich die YouTube-Nutzung auf das Lernverhalten auswirkt und (Erklär-)Videos u. a. sehr häufig für die Wiederholung von Unterrichtsthemen genutzt wird (Jörissen et al., 2019). Daher ist es unerlässlich, (Erklär-)Videos in den Unterricht einzubinden und den SchülerInnen zu ermöglichen, die für den Umgang damit benötigten digitalisierungsbezogenen Kompetenzen zu erwerben. Der rezeptive sowie produktive Einsatz von Erklärvideos kann große Vorteile mit sich bringen, die das Lernen nachhaltig fördern können. Beispielsweise kann die gleichzeitige Präsentation von Bild und Ton den Lernprozess unterstützen (Mayer, 2021) und die Erschließung von Inhalten per Video einen positiven Einfluss auf die Motivation haben (Cornelius & Bohrmann-Linde, 2022). Die vielfältigen Anwendungsbereiche von Erklärvideos und Aufgaben zur Erklärvideoproduktion (Dorgerloh & Wolf, 2020) ermöglichen es, dieses digitale Medium fachbezogen und zielgerichtet einzusetzen und den gleichzeitigen Erwerb bzw. die Vertiefung von fachlichen, überfachlichen und digitalisierungsbezogenen Kompetenzen zu fördern. Voraussetzung dafür ist der didaktisch sinnvolle und mit klaren Intentionen verbundene rezeptive und produktive Einsatz von Erklärvideos, dessen Anleitung und Begleitung durch unterstützende Aufgaben. Vor allem für die produktiven Aufgaben ist es wichtig, ein förderliches und unterstützendes Unterrichtssetting zu schaffen. Dabei muss die Komplexität der Methode und die große Vielfalt an Kompetenzen, die für die Erklärvideoproduktion notwendig sind, berücksichtigt werden. In diesem Beitrag wird

anhand von praktischen Beispielen aufgezeigt, wie die schrittweise Erklärvideoproduktion zielführend angebahnt werden kann.

2 Erklärvideoproduktion von SchülerInnen im Chemieunterricht

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde ein digitales und interaktives Selbstlernbuch zum Thema „Einführung in die organische Chemie“ für iPads erstellt und iterativ, basierend auf den Erhebungsergebnissen und den Rückmeldungen der Lehrkräfte und SchülerInnen, in mehreren Schleifen weiterentwickelt (Cornelius & Bohrmann-Linde, 2023). Ein Ziel dieses Selbstlernbuchs ist es, den SchülerInnen die notwendigen Kompetenzen und das Wissen zu vermitteln, welche sie benötigen, um am Ende der Einheit ein Erklärvideo selbst produzieren zu können. Ein mediendidaktisch-methodischer Strang, der schrittweise die SchülerInnen auf die Erklärvideoproduktionsaufgabe vorbereitet, ist dabei mit einem inhaltlich-experimentellen Strang eng verwoben (Cornelius & Bohrmann-Linde, 2024). Der Einsatz des Selbstlernbuchs wurde mit Fragebogenerhebungen und Leitfadeninterviews wissenschaftlich begleitet, um unter anderem mehr über die Wirksamkeit der Erklärvideoproduktion im Unterricht zu erfahren. Einige der Ergebnisse der Evaluation werden im Folgenden vorgestellt.

Im Schuljahr 22/23 wurden 365 ZehntklässlerInnen an 15 Gymnasien in Baden-Württemberg, an denen iPads für den Unterricht zur Verfügung standen, vor der Intervention im Regelunterricht befragt, ob sie motiviert waren, im Rahmen der Arbeit mit dem Selbstlernbuch ein Erklärvideo zu produzieren. 50 % der ZehntklässlerInnen stimmten dieser Frage (eher) nicht zu (17 % trifft zu; 33 % trifft eher zu; 31 % trifft eher nicht zu; 19 % trifft nicht zu). Da die Frage nach der Motivation vor der Intervention und der darin enthaltenen Erklärvideoproduktion gestellt wurde, ist davon auszugehen, dass vorangegangene Erfahrungen Einfluss hatten. 75 % der befragten SchülerInnen gaben an, dass sie bereits ein Erklärvideo im Unterricht produziert hatten (54 % 1–2-mal, 19 % 3–5-mal, 2 % 6–10-mal). Nur 27 % der befragten SchülerInnen hatten jedoch in der Schule beigebracht bekommen, wie ein Erklärvideo mit dem iPad produziert wird. Da alle befragten SchülerInnen aus iPad-Klassen stammen, ist davon auszugehen, dass nur selten thematisiert wurde, wie ein Erklärvideo produziert wird. Aufgrund der Komplexität der Produktionsaufgabe könnte die Gegebenheit, dass ein Teil der SchülerInnen vor diese Aufgabe gestellt wird, ohne auf diese vorbereitet worden zu sein, eine Ursache für die geringere Motivation sein (Kerres, 2024). Um mehr über weitere Ursachen für die Demotivation gegenüber der Aufgabe zur Erklärvideoproduktion herausfinden zu können, wurden im Schuljahr 23/24 134 ZehntklässlerInnen unter anderem gefragt, was sie bei der eigenen Erklärvideoproduktion demotiviert. Die Antworten der SchülerInnen wurden in MAXQDA nach der Vorgehensweise von Mayring (Mayring, 2015) strukturiert zusammengefasst. Anhand eines induktiv entwickelten Kodiersystems (siehe Abbildung 1) wurden die Antworten codiert und eine Häufigkeitsanalyse durchgeführt.

Ergänzend zu diesen Ergebnissen ist anzumerken, dass 55 % (28 % trifft zu und 27 % trifft eher zu) der befragten SchülerInnen im SJ 23/24 angaben, dass sie sich da-

rauf freuen, in der kommenden Einheit selbst ein Erklärvideo zu produzieren. Daraus kann gefolgert werden, dass die genannten Gründe für die Demotivation nicht grundsätzlich dazu führen, dass die SchülerInnen keine Lust bzw. Motivation auf die eigene Erklärvideoproduktion haben. Basierend auf weiteren Erkenntnissen aus den Fragebogenerhebungen und Leitfadeninterviews zur Wirksamkeit von den im Selbstlernbuch enthaltenen Produktionsaufgaben und den Effekten auf die Motivation, die im Rahmen dieses Beitrags nicht weiter erläutert werden können, wurden begleitende Materialien entwickelt und erprobt.

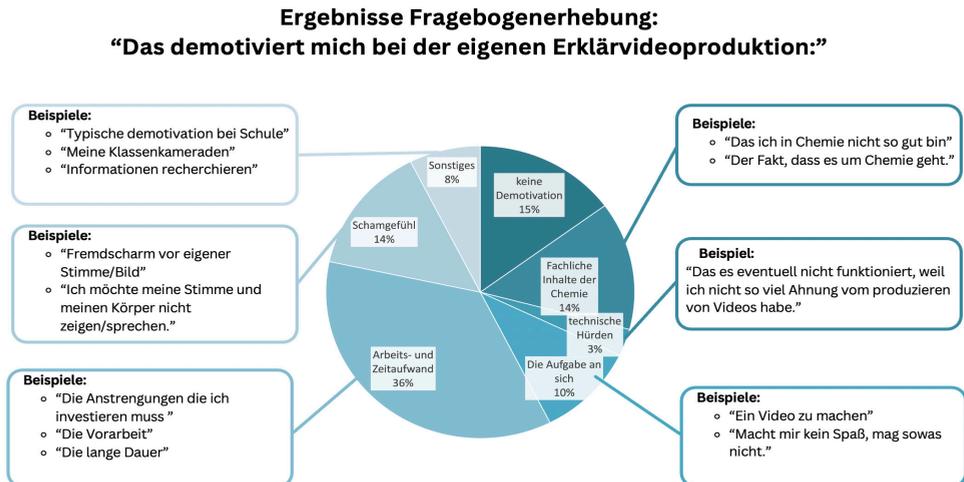


Abbildung 1: Ergebnisse strukturierende Zusammenfassung in MAXQDA der in den im Schuljahr 23/24 angegebenen Gründe für die Demotivation bei der Erklärvideoproduktion.

3 Teilproduktionsaufgaben

Ca. 36% der befragten SchülerInnen nannten als Ursache für eine demotivierende Wirkung auf die Aufgabe der Erklärvideoproduktion den Arbeits- und/oder Zeitaufwand (siehe Abbildung 1). Eine Möglichkeit, positiv Einfluss auf die Motivation nehmen zu können, wäre daher, den SchülerInnen zunächst Teilproduktionsaufgaben zu stellen, wie es auch im Selbstlernbuch „Einführung in die organische Chemie“ umgesetzt wurde. Beispielsweise könnten die SchülerInnen die Aufgabe erhalten, ein bereits vorhandenes Video von einem Versuch zu vertonen. Dieses Video kann entweder vorab oder direkt im Unterricht aufgenommen werden. Für die Vertonung schreiben die SchülerInnen ein Skript oder Storyboard. Als Differenzierungsmöglichkeiten können Hilfen in Form von Textbausteinen, Schlüsselbegriffen oder auch ein vorstrukturiertes Storyboard ausgegeben werden (siehe Kapitel 3.1).

3.1 Vorbereitende Aufgaben

Bevor den SchülerInnen die Aufgabe gestellt wird, ein Erklärvideo zu produzieren, sollten die Merkmale eines Erklärvideos (Cornelius & Bohrmann-Linde, 2023) sowie der Aufbau und mögliche Stilmittel im Unterricht thematisiert werden. Dafür wurde ein Arbeitsblatt (siehe Abbildung 2) entwickelt, mit Hilfe dessen die SchülerInnen, im Sinne des Ansatzes Lernen durch Beispiele, mögliche Stilmittel kennenlernen und ein bestehendes Erklärvideo (selbst gewählt oder durch die Lehrkraft vorgegeben) und dessen Aufbau hinsichtlich verschiedener Merkmale reflektieren. Gleichzeitig können die SchülerInnen dieses Arbeitsblatt auch als Planungshilfe für die eigene Produktion nutzen.

Aufbau eines Erklärvideos

Aufgabe 1:

Lerne den Aufbau von Erklärvideos anhand von Beispielen kennen. Schau dir dazu ein Erklärvideo ganz genau an und kreuze die zutreffenden Kriterien an und mache dir Notizen.

Aufgabe 2:

Plane deine eigene Erklärvideo-Produktion. Überlege welche Kriterien du in deinem Erklärvideo umsetzen möchtest und kreuze diese an.

Einleitung

- beträgt maximal 10-15 % der Gesamtlänge (bei 5 Minuten sind das 30-45 Sekunden)
- Verbindung zum Zuschauer wird aufgebaut durch:
 - das Stellen einer Frage
 - Inhaltsversprechen (z.B. „In diesem Video lernst du...“)
 - Vorwissen aktivieren
 - Alltagsbezug herstellen
 - Konflikt erzeugen
 - Zusammenfassen des Themas
 - Sonstiges: _____



Die Einleitung gefällt mir gut, weil...



Die Einleitung gefällt mir nicht so gut, weil...

Abbildung 2: Auszug aus dem Arbeitsblatt unter anderem zur Planung eines Erklärvideos.

3.2 Storyboardübungen

Für die erfolgreiche Produktion eines fachlich richtigen Erklärvideos ist es sehr zu empfehlen, dass die SchülerInnen zunächst ein Storyboard erstellen (Seibert et al., 2019) und dieses von der Lehrkraft kontrollieren lassen. So kann die Anzahl der Iterationsschleifen, die die SchülerInnen bei der Produktion vollziehen müssen, reduziert und damit Zeit eingespart werden. Die SchülerInnen sollten sich, bevor sie ein eigenes

Storyboard erstellen, mit dieser Aufgabe vertraut machen können. Dazu können sie ein Storyboard gezeigt bekommen (Greitemann et al., 2022) oder ein vorstrukturiertes Storyboard erhalten, in dem beispielsweise die Einleitung vorgegeben ist oder Storyboard-Übungen bearbeitet werden (siehe Materialverlinkung).

4 Fazit

Die vorgestellten Ergebnisse machen deutlich, dass der produktive Einsatz von Aufgaben zur Erklärvideoproduktion im Chemieunterricht einen positiven Einfluss auf die Motivation haben kann. Teilproduktionsaufgaben und vorbereitende bzw. begleitende Aufgaben könnten sich weiterhin positiv auf die Motivation auswirken. Wichtig ist es aber, neben der sinnhaften Integration der Aufgaben zur Erklärvideoproduktion zu bedenken, dass aufgrund der Komplexität der Aufgabe die SchülerInnen schrittweise an die Produktion sowie die Teilaufgaben unter anderem zur inhaltlichen Vorbereitung des Erklärvideos (Storyboard) herangeführt werden und es dadurch zu keiner Überforderung der SchülerInnen kommt. Die vorgestellten Materialien können dabei unterstützen, die SchülerInnen an die Produktion heranzuführen. Die im Beitrag vorgestellten und weitere begleitende Materialien für den Unterricht können über den folgenden Link eingesehen und heruntergeladen werden: <https://uni-wuppertal.sciebo.de/s/8IACZifafES5oNE>

Literatur

- Cornelius, S. & Bohrmann-Linde, C. (2022). Einsatz eines digitalen und interaktiven Selbstlernbuchs zur Einführung in die Organische Chemie – Erste Erprobungen im Chemieunterricht und motivationale Betrachtungen. *Chemie & Schule*, 4, 5–9.
- Cornelius, S. & Bohrmann-Linde, C. (2023). Kompetenzförderung durch Erklärvideos in einem Selbstlernbuch zum Einstieg in die Organische Chemie. *MNU-Journal*, 01.2023, 48–54.
- Cornelius, S. & Bohrmann-Linde, C. (2024). Ein Selbstlernbuch zum Einstieg in die organische Chemie mit rezeptiven und produktiven Elementen. In C. Bohrmann-Linde, N. Meuter & D. Zeller, *Netzwerk Digitalisierter Chemieunterricht. Sammelband NeDiChe-Treff 2022*. Didaktik der Chemie Wuppertal. https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/fileadmin/Chemie/chemiedidaktik/files/material/nediche/NeDiChe_Band_2_-_2022/NeDiChe_Band_2022_Final_.pdf
- Dorgerloh, S. & Wolf, K. D. (Hrsg.). (2020). *Lehren und Lernen mit Tutorials und Erklärvideos: Mit E-Book inside*. Beltz.
- Greitemann, L., Melle, I. & Habig, S. (with Technische Universität Dortmund). (2022). *Wirkung des Tablet-Einsatzes im Chemieunterricht der Sekundarstufe I unter besonderer Berücksichtigung von Wissensvermittlung und Wissenssicherung*. Logos Verlag Berlin.
- Jörissen, B., Jebe, F. & Rat für Kulturelle Bildung (Hrsg.). (2019). *Jugend/YouTube/Kulturelle Bildung: Studie: eine repräsentative Umfrage unter 12- bis 19-Jährigen zur Nutzung kultureller Bildungsangebote an digitalen Kulturorten*. Rat für Kulturelle Bildung.

- Kerres, M. (2024). *Mediendidaktik: Lernen in der digitalen Welt*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783111201078>
- KMK. (2020). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife 18.06.2020*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf
- Mayer, R. E. (2021). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3. Aufl., S. 57–72). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333.008>
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12., überarbeitete Auflage). Beltz.
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest. (2023). *JIM-Studie 2023: Jugend, Information, Medien*. https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2022/JIM_2023_web_final_kor.pdf
- Seibert, J., Kay, C. W. M. & Huwer, J. (2019). EXPlainistry: Creating Documentation, Explanations, and Animated Visualizations of Chemistry Experiments Supported by Information and Communication Technology To Help School Students Understand Molecular-Level Interactions. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2503–2509. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00819>
- Zeller, D. & Bohrmann-Linde, C. (2021). Videos in der chemiedidaktischen Lehre – von der Rezeption zur Produktion. In N. Graulich, J. Huwer & A. Banerji (Hrsg.), *Digitalisation in Chemistry Education. Digitales Lehren und Lernen an Hochschule und Schule im Fach Chemie*. Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830994183>

Keywords: Erklärvideoproduktion im Unterricht, Motivationale Aspekte und Storyboard-Übungen

Druckänderungen sichtbar machen!

1 Einleitung

Zu den Kriterien für die Auswahl geeigneter Schulexperimente gehört, dass Experimente einen deutlichen Effekt zeigen, in den Zeitrahmen passen sollten und den Sicherheitsvorschriften entsprechen müssen (Kotter, 1975). Darüber hinaus soll ein gutes Experiment genau die Phänomene klar darstellen, die es zu vermitteln gilt. Bestimmte Phänomene, wie die Entstehung farbloser Gase oder Druckänderungen, können in Experimenten jedoch schwer erfassbar sein. Hier bieten digitale Messsensoren das Potential, solche „unsichtbaren“ Vorgänge während eines Experiments sichtbar und für Lernende erfassbar zu machen (v. Kotzebue & Fleischer, 2020).

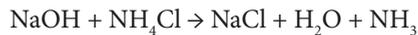
In einem Projekt an der Europa-Universität Flensburg werden bewährte Schulexperimente hinsichtlich der benannten Kriterien auf ihre Eignung für den modernen Chemieunterricht überprüft und gegebenenfalls modifiziert. Solche Anpassungen werden z. B. durch die Integration von digitalen Messsensoren in den Aufbau oder durch die Anpassung der eingesetzten Gefahrstoffe an heutige Sicherheitsvorschriften erreicht. In diesem Beitrag werden zwei durch einen Gasdrucksensor erweiterte Experimente vorgestellt, sodass Druckänderungen während des jeweiligen Experiments erfasst und so die Verständlichkeit des Experiments und dessen Eignung für den Schulunterricht erhöht werden. Zudem wird eine Interventionsstudie zur Wirksamkeit dieser Modifikationen vorgestellt.

2 Druck als Lerngegenstand im Fach Chemie

Der Druck ist definiert als der Quotient der senkrecht auf eine Fläche wirkenden Kraft und des Flächeninhalts dieser Fläche. Er ist eine ungerichtete Zustandsgröße (Tipler & Mosca, 2015). Während eines Experiments kann sich der Druck im System ändern. Dies ist häufig schwer wahrnehmbar, außer es ist eine gerichtete Bewegung, z. B. des Stempels eines Kolbenprobers, zu beobachten. Diese Bewegung ist ein Resultat von Druckausgleichsprozessen. Dass der Druck in Experimenten und auch in unserer Sprache („Ich übe Druck auf etwas aus“) häufig mit Bewegungen assoziiert ist, begünstigt bei Lernenden das Präkonzept, dass der Druck eine gerichtete Größe sei (Wodzinski, 2000). Durch den Einsatz eines Drucksensors im isochoren System kann in verschiedenen Themengebieten (z. B. chemische Energetik (Rautenstrauch, Rebenstorff & Junk, 2024)) dieses Präkonzept im Unterricht experimentell aufgegriffen und gezeigt werden, dass in isochoren Systemen ein starker Druckanstieg auch ohne gerichtete Bewegung möglich ist.

3 Der Springbrunnenversuch

Der Springbrunnenversuch mit Ammoniak (Freienberg & Flint, 2001) ist ein bewährtes Schulexperiment im Themenbereich Säure-Base-Reaktionen. Das Besondere an diesem Experiment ist der Springbrunnen-Effekt, welcher durch ein schlagartiges Einströmen von Wasser in ein Reaktionsgefäß charakterisiert ist und durch einen Unterdruck hervorgerufen wird. Um diesen Vorgang besser erklärbar zu machen, wird der Springbrunnenversuch um einen digitalen Drucksensor erweitert. Das Experiment wird gemäß Abb. 1 aufgebaut und durchgeführt. Im linken Erlenmeyerkolben ist eine heftige Reaktion und eine Gasbildung zu beobachten. Ammoniumchlorid und Natriumhydroxid reagieren miteinander, wobei sich u. a. gasförmiges Ammoniak bildet.



Weil dies eine volumenvergrößernde Reaktion ist, kann beobachtet werden, dass der Druck während dieser heftigen Reaktionszeit deutlich ansteigt (von ca. 98 kPa auf 105 kPa). Da ein offenes Reaktionssystem vorliegt, kann das Ammoniakgas durch den Schlauch wandern, sich zu einem Teil in Wasser lösen und zu einem Teil entweichen, sodass der Druck wieder auf das Normalniveau absinkt, wenn die Reaktion abebbt (Abb. 1). Der Indikator zeigt dabei durch das Lösen von Ammoniakgas in Wasser einen Farbumschlag von gelb nach blau. Es treten so lange Gasblasen aus dem Schlauch aus, so lange pro Zeiteinheit mehr Ammoniak gebildet wird als sich im Wasser lösen kann. Wenn die Reaktion nachlässt, löst sich mehr Ammoniak im Wasser als gebildet wird. Dies hat eine Volumenreduktion zur Folge, wodurch im System ein deutlich geringerer Druck herrscht als in der Umgebung (Abb. 1). Zum Druckausgleich wird Wasser in den Schlauch gedrückt und es kann der Springbrunneneffekt beobachtet werden, indem schlagartig das Wasser aus dem rechten Erlenmeyerkolben in den linken Kolben hinüberwandert. Nachdem der Springbrunneneffekt eingetreten ist, normalisiert sich der Druck schlagartig wieder auf das Niveau vor Versuchsbeginn. Somit kann verdeutlicht werden, dass das Hinüberwandern des Wassers im System als Druckausgleich dient.

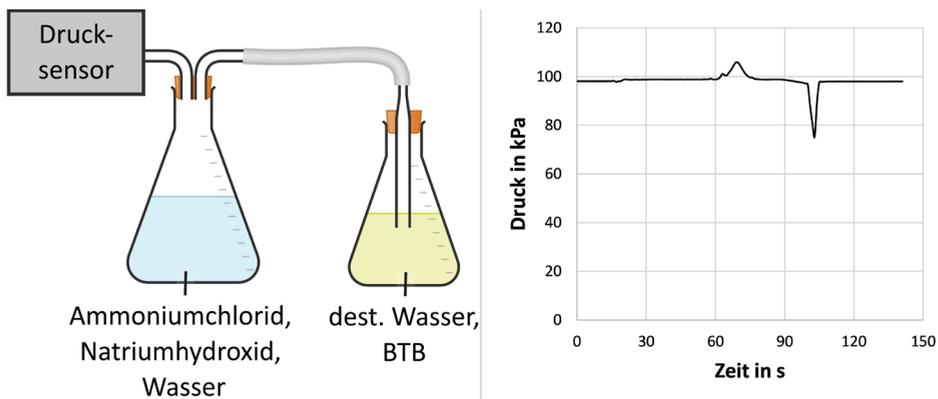


Abbildung 1: Versuchsaufbau (links) und gemessener Druck im Springbrunnenversuch (rechts)

4 Der Eiswasserkocher

Der Eiswasserkocher (de Vries, 2002) ist ein Experiment zur Demonstration der Druckabhängigkeit der Siedetemperatur. Nach der herkömmlichen Durchführung können Schüler:innen oder auch Studierende jedoch lediglich eine Temperatur unter 100°C und eine Blasenbildung beobachten. Die Änderung des Drucks während des Experiments kann nicht direkt beobachtet werden. Bezogen auf die Kriterien guter Experimente nach Kotter (1975) bedeutet dies, dass das Experiment in seiner herkömmlichen Durchführung das Phänomen, das es zu vermitteln gilt, nicht vollständig darstellt. Durch Einbringen eines digitalen Gasdrucksensors in dieses Experiment wird das Erfassen des Drucks im Reaktionssystem möglich. Dazu wird in den Deckel einer Weithalsflasche ein durchbohrter Stopfen mit verschlossenem Luer-Hahn eingebracht. Über einen Luer-Adapter wird der Drucksensor an dem Hahn angeschlossen (Abb. 2). In die Glasflasche wird ein Thermometer gegeben. Sie wird randvoll mit kochendem Wasser gefüllt und verschlossen. Der Luer-Hahn wird geöffnet und die Druckmessung gestartet. Mit Eiswürfeln wird der Deckel der Flasche (nicht das Glas!) gekühlt. Zu Beginn des Experiments kann eine Temperatur nahe 100°C beobachtet werden. Der Druck liegt bei $105,9\text{ kPa}$, sinkt dann rapide und später langsamer ab auf $45,1\text{ kPa}$ (Abb. 2). Die Temperatur sinkt während des Experiments ebenfalls langsam ab auf bis zu 60°C . In der Flasche steigen nach kurzer Zeit Gasblasen nach oben. Das Wasser siedet. Unter dem Deckel bildet sich ein leer erscheinender Raum. Ab und zu tropfen Wassertropfen vom Deckel in das Wasser. Das Wasser siedet weiter, auch bei Temperaturen deutlich unter 100°C .

Es handelt sich bei dem Experiment um ein geschlossenes System mit einem konstanten Raumvolumen. Zu Beginn des Experiments ist die Flasche vollständig mit kochendem Wasser gefüllt. Der Druck liegt zu Beginn des Experiments etwas über dem Umgebungsdruck, was auf das heiße Wasser und die Volumenausdehnung des kleinen Luftvolumens im Luer-Hahn zurückzuführen ist. Durch das Kühlen der Flasche am Deckel (und die kühlere Umgebungsluft) kühlt sich das Wasser in der Flasche ab. Dadurch kommt es zur Volumenverringerng des Wassers. Da es sich um ein geschlossenes System handelt, sinkt der Druck im System ab (Abb. 2). Die Siedetemperatur ist druckabhängig und sinkt bei einem geringeren Druck als Normaldruck. Dadurch siedet das Wasser nun auch bei Temperaturen unter 100°C . Unter dem Deckel sammelt sich der Wasserdampf aus den aufsteigenden Wasserdampfblasen, welcher am kalten Deckel kondensiert und zurück in die Flüssigkeit tropft. Im Laufe der Zeit nähern sich die Druck-, Temperatur- und auch die Volumenverringerng einem Minimalwert an.

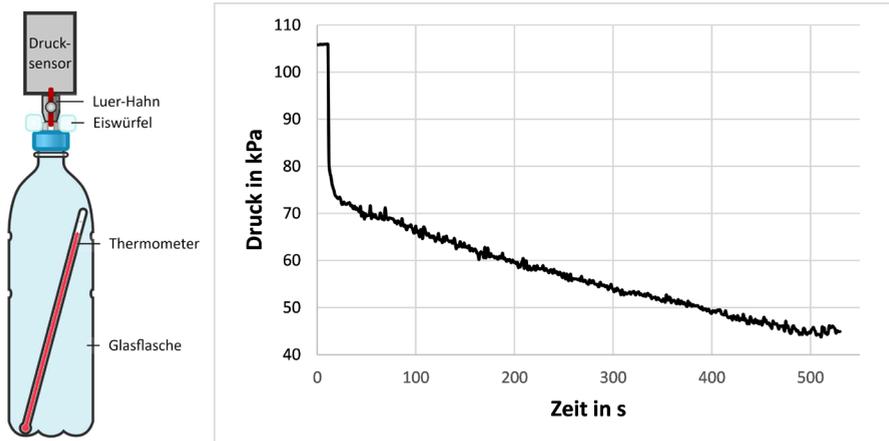


Abbildung 2: Versuchsaufbau (links) und gemessener Druck im Eiswasserkocher-Versuch (rechts)

4.1 Interventionsstudie

Um zu untersuchen, inwieweit der Einsatz eines Gasdrucksensors Lernenden hilft, die Zusammenhänge zwischen Druck und Siedetemperatur experimentell mit dem „Eiswasserkocher“ zu erarbeiten, wurde eine erste Interventionsstudie mit Lehramtsstudierenden des Sachunterrichts ($N=60$) des ersten Bachelorsemesters durchgeführt. Das Experiment ist Teil eines Laborpraktikums und hat in den letzten Jahren in der herkömmlichen Durchführung oft Lernschwierigkeiten bereitet. Zum Erfassen des Vorwissens der Studierenden zum Themenbereich Aggregatzustände erstellen diese in einem Paper-Pencil-Setting eine Concept-Map zum „Kochen von Wasser“ mit neun vorgegebenen Begriffen. Anschließend führen die Studierenden das Experiment mit oder ohne Gasdrucksensor (Zufallsstichprobe: Interventionsgruppe: $N_{\text{gesamt}}=26$, $N_{\sigma}=5$, $N_{\varphi}=19$, $\bar{\varphi}_{\text{Alter}}=20,96$; Kontrollgruppe $N_{\text{gesamt}}=28$, $N_{\sigma}=7$, $N_{\varphi}=19$, $\bar{\varphi}_{\text{Alter}}=22,12$) durch und verfassen im unmittelbaren Anschluss eine Beobachtung und Auswertung. Zum Ende des Semesters wird die Concept-Map erneut erstellt, um den längerfristigen Lernerfolg zu erfassen. Die Concept-Maps (Vor- und Nachtest) sowie die Beobachtungen und Auswertungen werden mit einem zuvor von Expert:innen erstellten Codiermanual vor allem hinsichtlich ihrer inhaltlichen Korrektheit ausgewertet. Die Concept-Maps zur Erfassung des Vorwissens zeigen im t-Test hinsichtlich der Anzahl korrekt angegebener Propositionen keine Unterschiede zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe ($p=.063$, $N=26/24$). Somit kann von einem ähnlichen Vorwissen in beiden Gruppen ausgegangen werden. Die Beobachtungen und Auswertungen werden ebenfalls hinsichtlich ihrer inhaltlichen Korrektheit ausgewertet. Für jeden richtig dargestellten Aspekt gibt es einen Punkt und hieraus wurde jeweils ein Summenscore gebildet. Im t-Test zeigt sich, dass sowohl die Beobachtungen ($p=.007$, $d=-.697$, $M_1=3.04/M_2=3.77$, $N=28/26$) als auch die Auswertungen ($p=.006$, $d=-.716$, $M_1=2.19/M_2=3.00$, $N=27/26$) derjenigen Studierenden signifikant besser sind, die das Experiment mit dem Gasdrucksensor durchgeführt haben. Fraglich ist, inwieweit ein langfristiger Lernerfolg erzielt werden kann. Im Nachtest zeigten sich weiterhin keine si-

signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen bezogen auf die Anzahl korrekt angegebener Propositionen in der Concept Map ($p=,478$, $N=20/18$).

5 Zusammenfassung und Diskussion

Durch das Einbringen eines Gasdrucksensors können Druckänderungen während chemischer und physikalischer Prozesse, wie hier an zwei Beispielen gezeigt, für Lernende erfassbar gemacht werden. Inwieweit diese Änderungen des Aufbaus tatsächlich lernförderlich sein können, wird in einer ersten Interventionsstudie untersucht. Aufgrund der sehr kleinen Stichprobengröße können die dargestellten Befunde allerdings nur eine erste Tendenz aufzeigen. Sie deuten darauf hin, dass das Einbringen eines Gasdrucksensors in das Experiment der Eiskocher zu einem besseren Erfassen des Phänomens „Druckabhängigkeit der Siedetemperatur“ führen könnte, zumindest werden signifikant bessere Versuchspunkte verfasst. Weitere Untersuchungen, z. B. mit Schüler:innen oder anderen qualitativen methodischen Zugängen, wie lautem Denken ergänzend zur Concept Map, stehen noch aus.

Literatur

- De Vries, T. (2002). Der „Eiskocher“. *Chemkon*, 9(4), 199–200. [https://doi.org/10.1002/1521-3730\(200210\)9:4%3C199::AID-CKON199%3E3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1521-3730(200210)9:4%3C199::AID-CKON199%3E3.0.CO;2-K)
- Freienberg, J. & Flint, A. (2001). Ein alternativer „Springbrunnen-Versuch“. *Chemkon*, 8(2), 91–91. <https://doi.org/10.1002/ckon.20010080207>
- Kotter, L. (1975). *Das Experiment im Chemieunterricht*. Strumberger.
- Kotzebue, L. von & Fleischer, T. (2020). Experimentieren mit digitalen Sensoren – Unsichtbares sichtbar machen. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 58–61). Joachim Herz Stiftung.
- Rautenstrauch, H., Rebenstorff, A. & Junk, A. (2024). Standardreaktionsenthalpien anschaulich machen: Innere Energie, Enthalpie und Druck-Volumen-Arbeit in Experimenten mit digitalen Sensoren untersuchen. *NiU Chemie*, 35(201), 22–29.
- Tipler, P. A. & Mosca, G. (2015). *Physics for Scientists and Engineers*. 6. Aufl. Springer Spektrum.
- Wodzinski, R. (2000). Zustandsgröße Druck. Zur Einführung des Druckbegriffs in der Sekundarstufe I. *Unterricht Physik*, 11(57), 124–126.

Keywords: Druck, digitale Messsensoren, Schulexperimente

Was sollten angehende Lehrkräfte über computerbasierte Simulationen wissen? Und was wissen sie tatsächlich?

Eine epistemologische Perspektive im Vergleich zu Experimenten und Animationen

1 Einleitung

Computerbasierte Simulationen spielen aus zweierlei Perspektive eine zunehmend wichtige Rolle für den Chemieunterricht. Erstens sind sie konkret für die digital angeereicherte Lehre interessant; sie eignen sich zum gemeinsamen Einsatz mit Experimenten und zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen (Stinken-Rösner & Abels, 2020). Moleküldynamiksimulationen bieten einen Zugang zur submikroskopischen Ebene (Landriscina, 2013; Schwedler & Kaldewey, 2020). Diese Ebene ist essentiell für das Verständnis chemischer Phänomene, bleibt jedoch oft schwer zugänglich. Zweitens werden computerbasierte Simulationen zunehmend auch in gesellschaftlichen und politischen Entscheidungsprozessen (z. B. Klimawandel oder COVID-19) genutzt. Diese naturwissenschaftlich-gesellschaftliche Rolle ist aus der Perspektive der *scientific literacy* ebenfalls von großer Bedeutung (Seoane et al., 2022). Um Schüler*innen das Wissen über und das Verständnis von Simulationen näherzubringen, braucht es Lehrkräfte, die hierfür entsprechend ausgebildet sind. Da bislang nur wenig über die studentische Perspektive auf Simulationen bekannt ist, zielt das nachfolgend dargestellte Forschungsprojekt darauf ab, das Wissen Lehramtsstudierender der Chemie über computerbasierte Simulationen zu erfassen. Im Rahmen dieses Artikels werden zunächst die schulisch relevanten epistemologischen Grundlagen computerbasierter Simulationen im Vergleich zu Experimenten und Animationen dargestellt. Anschließend wird vergleichend betrachtet, welche Vorstellungen die Studierenden in diesem Wissensbereich tatsächlich aufweisen.

2 Die Epistemologie computerbasierter Simulationen

Im Rahmen des beschriebenen Forschungsprojektes werden computerbasierte, d. h. spezifisch modellbasierte Simulationen betrachtet, die als Instrumente der Erkenntnisgewinnung genutzt werden, um etwas über ein Bezugssystem zu lernen. Die Epistemologie computerbasierter Simulationen (nachfolgend nur Simulationen genannt) zeichnet sich insbesondere durch ihre Dynamik, Interaktivität und die im Hintergrund durch Approximationsalgorithmen berechneten Daten aus (Grüne-Yanoff & Weirich, 2010). Simulationen ermöglichen somit den Zugang zu komplexen Systemen, sei es zu Vielteilchensystemen oder zum weltweite Klima (Orgill et al., 2019; Vallver-

dú, 2014). Dabei nutzen sie Idealisierungen, Abstraktionen und Fiktionen (Winsberg, 2010). In den Naturwissenschaften werden Simulationen zum Gewinn genuin neuer Erkenntnisse eingesetzt (Jebeile, 2017). Obwohl die von Schüler*innen durch Simulationen gewonnene Erkenntnis nicht genuin neu ist, können sie Simulationen zur Hypothesentestung und -generierung im Erkenntnisgewinnungsprozess nutzen. Entsprechend eignen sich Simulationen besonders, um Phänomene zu verstehen, zu erklären und vorherzusagen (Winsberg, 2010). Vor diesem Hintergrund ist es möglich, Simulationen und ihre epistemologische Bedeutung mit zwei weiteren, für die Schule relevanten, Erkenntnispezies zu vergleichen. Nachfolgend werden *Animationen* und *Experimente* mit ihren epistemologischen Eigenschaften sowie Gemeinsamkeiten und Unterschieden zu Simulationen vorgestellt.

2.1 Vergleich zu Animationen

Der Vergleich von Simulationen mit Animationen liegt insbesondere aus einer schulischen Perspektive nah, da auf den ersten Blick häufig nicht eindeutig zu erkennen ist, ob es sich um eine Simulation mit ikonischer Repräsentation oder eine Animation handelt. Dennoch unterscheiden sich die beiden Spezies epistemologisch betrachtet deutlich. Animationen sind dynamische Visualisierungen, die in jedem Durchgang exakt gleich ablaufen. Das liegt daran, dass im Hintergrund keine komplexen Berechnungen stattfinden und die Parameterwahl nicht von den Nutzenden gesteuert werden kann. In der Konsequenz ist das Ergebnis einer Animation stets vorher bekannt, wodurch keine genuin neuen Erkenntnisse möglich sind. Dies führt auch dazu, dass Animationen keine Relevanz zur Erkenntnisgewinnung in der fachwissenschaftlichen Forschung zukommt und somit auch keine wissenschaftsphilosophische Auseinandersetzung stattfindet. Im Chemieunterricht werden Animationen hingegen häufig eingesetzt, da die Visualisierung dynamischer Prozesse auf der Teilchenebene besonders relevant für das Verständnis chemischer Phänomene auf der submikroskopischen Ebene ist (Johnstone, 2000). Im Gegensatz zu Simulationen sind Animationen jedoch nicht interaktiv (im Sinne einer Beeinflussung des Systemverlaufs) und eignen sich weniger zu Hypothesentestung und -generierung.

2.2 Vergleich zu Experimenten

Experimente stellen die Basis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung dar und sind zudem das unterrichtsgestaltende Element im Chemieunterricht (Bader & Lühken, 2018). Ein Experiment zeichnet sich durch ein aktives Eingreifen in ein zu beobachtendes System aus. Dabei wird eine bestimmte Einflussgröße verändert, um ihren Einfluss auf die Effektgröße zu erfassen (Beisbart, 2018). Auf den ersten Blick weisen Simulationen und Experimente Ähnlichkeit auf, doch ihr Einsatz als Instrumente der Erkenntnisgewinnung bedingt rege wissenschaftsphilosophische Diskussionen um ihre Vergleichbarkeit (Beisbart, 2018; Frigg & Reiss, 2009). Grundsätzlich haben Simulatio-

nen eine höhere interne und Experimente eine höhere externe Validität (Grüne-Yanoff & Weirich, 2010). Jedoch muss zwischen dem Einsatz zu Lehr- und Forschungszwecken unterschieden werden. Während Experimente in der Naturwissenschaft genuin neue Erkenntnisse erzeugen, werden sie im Chemieunterricht neben der selbstständigen Problemlösung auch angeleitet und zur Einübung laborpraktischer Fähigkeiten eingesetzt, weshalb sie auch als Versuche bezeichnet werden (Hartinger et al., 2013). Dies stellt eine Parallele zum Einsatz von Simulationen in Naturwissenschaft und Unterricht dar.

3 Interviewstudie

Anschließend an die theoretische Auseinandersetzung wird ein Teil einer Interviewstudie, mit der die Vorstellungen von Lehramtsstudierenden der Chemie zur epistemologischen Rolle von Simulationen untersucht werden sollen, vorgestellt. Im Vordergrund steht dabei die folgende Teilforschungsfrage:

Wie unterscheiden die Studierenden den Einsatz von Simulationen im Vergleich zu Animationen und Experimenten aus einer epistemologischen Perspektive?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden über drei Semester (WiSe 22/23 – WiSe 23/24) problemzentrierte Interviews (à ca. 1h) mit 27 Chemie-Lehramtsstudierenden (w=9, m=18, d=0) im Master durchgeführt. Dabei erstellten die Studierenden zunächst mit der *Think-aloud*-Methode eine *concept map* zur Fragestellung „Was sind eigentlich Simulationen und welche Rolle spielen sie in den Naturwissenschaften?“; auf dieser Grundlage folgte dann ein explizierendes und anschließend ein vertiefendes Interview. Die Studierenden wurden zum Vergleich von Simulationen mit anderen Erkenntnispezies, ihren Vorstellungen zu Einsatz und Funktionen in Wissenschaft und Schule, zur Rolle von Idealisierungen und Funktionen sowie zur Vorläufigkeit, Multiplizität, Vergleichbarkeit und Veränderbarkeit von Simulationen befragt. Die Interviews wurden mittels deduktiv-induktiver Kategorienbildung deskriptiv und evaluativ inhaltsanalytisch ausgewertet (Kuckartz & Rädiker, 2022).

3.1 Ergebnisse

Insgesamt zeigen die Studierenden sehr unterschiedliche Vorstellungen sowohl zum Verhältnis zu Animationen als auch zu Experimenten.

In Bezug auf Animationen können drei verschiedene Sichtweisen unterschieden werden, die im Folgenden dargestellt werden (Abbildung 1). Animationen werden a) mit Simulationen gleichgesetzt (n=6), b) als Teil- oder Schnittmenge von Simulationen (n=10) oder c) als von Animationen verschieden verstanden (n=8). Eine Gleichsetzung (a) der beiden Spezies liegt zumeist vor, wenn beiden die Funktion der Visualisierung zugeschrieben wird. Diese Auffassung verkennt den erkenntnisgewinnenden Anteil von Simulationen. Werden Animationen als Teil oder Schnittmenge verstanden (b), wird dies zumeist damit begründet, dass Animationen die Visualisierung

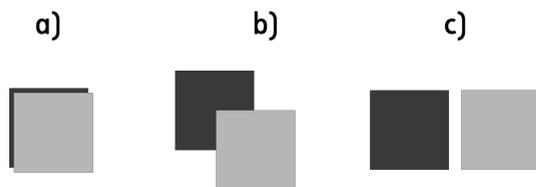


Abbildung 1: Darstellung berichteter Verhältnisse zwischen Simulationen und Animationen.

von Simulationen seien. Diese Vorstellung ist nicht prinzipiell als unangemessen zu bezeichnen, enthalten doch viele Simulationen Visualisierungen. Allerdings ist dies keine zwingende Voraussetzung für Simulationen und auch hier fehlt meist der Blick auf eigenständige Simulationen und die daraus resultierende Unterscheidbarkeit der beiden Spezies. Werden Simulationen als von Animationen verschieden beschrieben (c), wird meist die fehlende Interaktivität von Animationen als Unterscheidungsmerkmal hervorgehoben. Diese Auffassung ist fachlich angemessen, obgleich vielen Studierenden die Bedeutung dieser Unterscheidung für die Erkenntnisgewinnung nicht bewusst ist.

Experimenten schreibt das Gros der Studierenden ($n=18$) eine epistemologisch überlegene Stellung zu. Gerade im wissenschaftlichen Einsatz werden Ergebnisse von Simulationen als weniger valide und aussagekräftig interpretiert, weil sie nur theoretisch seien und ihnen der Bezug zur materiellen Ebene fehle. Aus schulischer Sicht werden Simulationen vor allem als direkter Ersatz für Experimente verstanden. Die Studierenden beschreiben einen solchen Ersatz dann als sinnvoll, wenn durch die Simulation eine erhöhte Sicherheit oder ein verringerter Ressourcen- und Zeitaufwand gewährleistet wird. Die Mehrheit betont jedoch, dass kein vollständiger Ersatz erfolgen sollte, da das Experimentieren als Handwerk unbedingt gelehrt werden müsse. Echte didaktische Vorteile von Simulationen als Ersatz für Experimente werden vergleichsweise seltener genannt. Insgesamt fehlt den Studierenden Wissen über den erkenntnisgenerierenden Einsatz von Simulationen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Umstand, dass Lehramtsstudierende heterogene Vorstellungen zur Rolle computerbasierter Simulationen für Chemieunterricht und Forschung haben, zeigt drei Dinge:

Erstens müssen Lehramtsstudierende für die Unterscheidung zwischen Simulationen und Animationen sensibilisiert werden. Das ist insbesondere für den jeweiligen konkreten Einsatz im Unterricht relevant und sollte daher in zukünftigen Lehrinnovationen zur Förderung des Modellverständnisses von Simulationen explizit thematisiert werden.

Zweitens sollte in diesem Rahmen die Vorstellung gestärkt werden, dass Simulationen mehr sind als bunte Bilder, nämlich genuine Instrumente der Erkenntnisgewinnung.

Und **drittens** bedarf es einer verstärkten Reflexion über den Einsatz und die Rolle von Simulationen in Naturwissenschaft und Gesellschaft.

Diese Erkenntnisse sind einerseits für die Gestaltung konkreter Lehrinhalte relevant, indem sie die aufgezeigten Bedarfe adressieren. Damit zusammenhängend ist zudem interessant, welchen Einfluss eine auf dieser Basis entwickelte Lehrinnovation auf die Vorstellungen der Studierenden hat. Diesen Perspektiven wird in weiteren Teilen des Forschungsprojektes nachgegangen.

Literatur

- Bader, H.-J. & Lühken, A. (2018). Experimente. In K. A. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Unterricht Chemie. Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (S. 460–470). Aulis.
- Beisbart, C. (2018). Are computer simulations experiments? And if not, how are they related to each other? *European Journal for Philosophy of Science*, 8(2), 171–204. <https://doi.org/10.1007/s13194-017-0181-5>
- Frigg, R. & Reiss, J. (2009). The philosophy of simulation: hot new issues or same old stew? *Synthese*, 169(3), 593–613. <https://doi.org/10.1007/s11229-008-9438-z>
- Grüne-Yanoff, T. & Weirich, P. (2010). The Philosophy and Epistemology of Simulation: A Review. *Simulation & Gaming*, 41(1), 20–50. <https://doi.org/10.1177/1046878109353470>
- Hartinger, A., Grygier, P., Tretter, T. & Ziegler, F. (2013). *Lernumgebungen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren: (Modul für SINUS an Grundschulen)*. IPN.
- Jebeile, J. (2017). Computer Simulation, Experiment, and Novelty. *International Studies in the Philosophy of Science*, 31(4), 379–395.
- Johnstone, A. H. (2000). Chemical Education Research: Where from here? *University Chemistry Education*, 4(1), 34–38.
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (5., überarbeitete Aufl.). Beltz Verlagsgruppe.
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and learning: A model-centered approach*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1954-9>
- Orgill, M., York, S. & MacKellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2720–2729. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00169>
- Schwedler, S. & Kaldewey, M. (2020). Linking the submicroscopic and symbolic level in physical chemistry: how voluntary simulation-based learning activities foster first-year university students' conceptual understanding. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(4), 1132–1147. <https://doi.org/10.1039/C9RP00211A>
- Seoane, M. E., Greca, I. M. & Arriasecq, I. (2022). Epistemological aspects of computational simulations and their approach through educational simulations in high school. *SIMULATION*, 98(2), 87–102. <https://doi.org/10.1177/0037549720930084>
- Stinken-Rösner, L. & Abels, S. (2020). Gase auf submikroskopischer Ebene untersuchen: Einbinden von Simulationen in den Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* (177/178), 47–51.
- Vallverdú, J. (2014). What are Simulations? An Epistemological Approach. *Procedia Technology*, 13, 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.02.003>
- Winsberg, E. (2010). *Science in the age of computer simulation*. The University of Chicago Press.

Keywords: Computerbasierte Simulationen, Epistemologie, Animationen, Experimente

Stefan Müller

***e-lement* – Evaluation eines Studienmoduls zur Entwicklung digitaler Lernumgebungen für den Chemieunterricht**

1 Grundlegendes Konzept des Projekts *e-lement*

Die zunehmende Digitalisierung beeinflusst das Bildungswesen in noch nie dagewesener Weise und bietet insbesondere für den Naturwissenschaftsunterricht großes Potenzial (Scheiter, 2021). Um digital unterstützte Lehr-Lern-Prozesse im Chemieunterricht erfolgreich umsetzen zu können, müssen Lehrkräfte eine große Zahl an verschiedenen Kompetenzen aufweisen (Thyssen, Huwer, Irion & Schaal, 2023), welche bereits im Verlauf des Lehramtsstudiums angebahnt werden sollten (von Kotzebue et al., 2021). Das Lehrprojekt *e-lement* (Akronym für: „*e-Learning* entwickeln *mitsamt* Evaluation durch *neue* Techniken“) soll dazu beitragen, dass angehende Chemielehrkräfte digitale Lernumgebungen und Tools für ihren Unterricht nutzen, gestalten und die digital unterstützten Lehr-Lern-Prozesse eigenständig reflektieren können (Reiners, Schmitz & Mueller, 2020).

Zu diesem Zweck entwickeln die Studierenden im Rahmen des zugehörigen Studienmoduls eigenständig digitale Lernumgebungen mithilfe von PowerPoint (Banerji, 2017; Müller, Müller & Reiners, 2021) zu ausgewählten Themen des Chemieunterrichts. Ausgangspunkt für die Auswahl der Inhalte der Lernumgebungen sind dabei jeweils die Chemielehrkräfte, deren Klassen bzw. Kurse am Projekt teilnehmen und für welche die jeweilige Lernumgebung in enger Kooperation gestaltet wird. So sind z. B. Lernwelten zu den Eigenschaften von Alkanolen oder zur Wiederholung zentraler Inhalte aus der Sekundarstufe I entwickelt worden. Die Studierenden setzen sich dabei zunächst in Form einer Sachanalyse und durch die Erstellung einer zugehörigen Concept-Map mit dem jeweiligen Lerngegenstand auseinander. Um die lernförderlichen Potenziale der digitalen Lernumgebungen für den Chemieunterricht zu nutzen, wird bei deren anschließender Entwicklung, die in stetem Austausch mit den kooperierenden Lehrkräften geschieht, darauf geachtet, dass die Umgebungen im Sinne des Digital Game-Based-Learning (Breuer, 2010) immersiv und spielerisch gestaltet sowie stets mit praktischen Experimenten verknüpft werden. Im Anschluss werden die Lernumgebungen von den Schülerinnen und Schülern der kooperierenden Schulklassen getestet. Bei dieser Testung können die Studierenden verschiedene Datenerhebungs- und Datenauswertungsmethoden der empirischen Sozialforschung einsetzen, um in Form kleiner Forschungsprojekte zu untersuchen, inwiefern sich ihre Lernumgebungen für den Einsatz im Chemieunterricht eignen. Auf diese Weise sollen die Studierenden Kompetenzen zur kritischen Reflexion des Einsatzes von digitalen Medien im Unterricht erwerben. Gleichzeitig können sie so auf die Durchführung von Forschungsprojekten im Bereich Chemiedidaktik vorbereitet werden. Ein Fließdiagramm

zum Ablauf des Studienmoduls sowie weitere Informationen zum Aufbau des Projektes *e-lement* finden sich bei Müller, Müller und Reiners (2021).

Um zu klären, ob das Studienmodul tatsächlich geeignet ist, um die digitalen Kompetenzen der zukünftigen Lehrkräfte anzubahnen, wurden in einer explorativen Begleitstudie im Prä-Post-Design die folgenden Untersuchungsfragen adressiert:

- 1) Wie beurteilen die Studierenden das Studienmodul von *e-lement*, insbesondere im Hinblick auf ihre zukünftige Unterrichtspraxis?
- 2) Inwiefern ist das Modul geeignet, um die digitalen Kompetenzen der Studierenden im Hinblick auf die Gestaltung von Chemieunterricht zu fördern?

2 Methodik: Datenerhebung und -auswertung

In diesem Beitrag soll vor allem die erste Untersuchungsfrage zur Evaluation des Studienmoduls betrachtet werden. Eine genauere Betrachtung der Ergebnisse bezogen auf die zweite Frage findet sich bei Müller (2024). Um die Untersuchungsfragen beantworten zu können, wurden im Zuge des Prä-Post-Designs der Begleitstudie Fragebögen mit offenen und geschlossenen Items eingesetzt (Denzin & Lincoln, 2011; Reiners, Schmitz & Mueller, 2020). Zur Evaluation des Studienmoduls werden vor allem offene Items aus den Post-Fragebögen genutzt, in welchen die Studierenden unter anderem angeben sollten, welche Aspekte ihnen am Modul besonders gut gefallen haben, aber auch welche Verbesserungen sie vorschlagen würden. Um erste Hinweise darauf zu erhalten, ob die Studierenden ihre erworbenen Kompetenzen auch auf ihre Unterrichtspraxis anwenden, wurden im Jahr 2023 Follow-Up-Interviews mit fünf ehemaligen Teilnehmenden geführt, von denen vier zum Zeitpunkt der Interviews bereits als Chemielehrkräfte tätig waren. Die offenen Items der Fragebögen und die transkribierten Interviews wurden mithilfe induktiver Kategorienbildung entsprechend der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) ausgewertet. Zur Prüfung der Objektivität und Reliabilität der auf diese Weise ermittelten Kategorien wurden sämtliche Fundstellen aus den Fragebögen anschließend durch eine zweite Person erneut kategorisiert. Die ermittelte Inter-coderreliabilität wird im Folgenden zu jedem Item jeweils in Form einer prozentualen Übereinstimmung p_0 und in Form eines Cohens-Kappa-Koeffizienten κ angegeben (Döring & Bortz, 2016).

Da das Projekt *e-lement* die Kompetenzen von Lehramtsstudierenden zur Gestaltung und Nutzung von digitalen Lernumgebungen für den Chemieunterricht fördern soll, richtet es sich den Empfehlungen von Schubatzky et al. (2023) entsprechend an Masterstudierende, die kurz vor dem Ende ihres Studiums sind, also bereits über fachinhaltliches und fachdidaktisches Vorwissen verfügen sollten. Zwischen 2019 und 2022 haben insgesamt $N = 117$ Chemiestudierende des Lehramts für Gymnasien und Gesamtschulen das zugehörige Studienmodul an der Universität zu Köln durchlaufen. Davon nahmen $n = 95$ Studierende ($w = 46$; $m = 49$) an der Begleitstudie des Projektes teil.

3 Zentrale Ergebnisse der Evaluation

Im Anschluss an das Studienmodul wurden die Studierenden zunächst zu Aspekten befragt, die sie am Modul besonders positiv bewerten würden. Die induktiv gebildeten Kategorien ($p_0 = .78$; $\kappa = .76$) zeigen (siehe Tabelle 1), dass den Studierenden insbesondere die praktische Entwicklung der digitalen Lernumgebung gefallen hat. Darüber hinaus wurde neben der Organisation und Betreuung der Veranstaltung besonders häufig der große Bezug zur Unterrichtspraxis, bedingt durch das Testen der Lernumgebungen mit Schulklassen, sowie die für den Chemieunterricht erstellte Lernumgebung als Lernprodukt gelobt. Der Student PE19 gab z. B. an: „Das Erstellen eines Produktes, welches im späteren Beruf genutzt werden kann. Dies zeigt die Sinnhaftigkeit der Veranstaltung“.

Tabelle 1: Übersicht über die induktiv gebildeten Kategorien zur Evaluation des Studienmoduls von *e-lement* durch die Teilnehmenden ($n = 95$), welche jeweils am häufigsten kodiert wurden.

Selektionskriterium:	Kategorie (Anzahl der Kodierungen):
Aspekte, die den Studierenden besonders gut am Modul <i>e-lement</i> gefallen haben	Die Entwicklung und Gestaltung der digitalen Lernumgebung (28) Dozierende/Betreuung (26) Organisation und Struktur des Moduls (24) Bezug zur Unterrichtspraxis (19) Die erstellte Lernumgebung als Lernprodukt (13)
Aspekte, die die Studierenden laut eigenen Angaben aus dem Modul <i>e-lement</i> „mitnehmen“	Kompetenzen zur Gestaltung von digitalen Lernumgebungen (45) Wissen über Forschungsmethoden/Forschungsprojekte (25) Chancen und Herausforderungen von digitalem Chemieunterricht (21) Die erstellte digitale Lernumgebung (8) Das Erstellen von digitalen Lernumgebungen ist zeitaufwendig (5)
Aspekte, die die Studierenden am Modul <i>e-lement</i> verbessern würden	Praktikum zu Forschungsmethoden kürzen/streichen (16) Arbeitsaufwand reduzieren (14) Die Lernumgebungen in Modulabschlussnote einfließen lassen (13) Praktikum über Forschungsmethoden ausbauen (5) Größere Stichprobe bei der Testung der Lernumgebungen (5)

Bezogen auf die Frage, was die Teilnehmenden ihrer eigenen Ansicht nach aus dem Modul mitnehmen würden ($p_0 = .86$; $\kappa = .82$), war die mit Abstand am meisten genannte Antwort, dass sie Kompetenzen zur Entwicklung und Gestaltung von digitalen Lernumgebungen für den Chemieunterricht erworben hätten, beispielsweise Animationsfunktionen von PowerPoint. Zudem gaben viele Studierende an, Wissen über Forschungsmethoden im Modul erlernt zu haben und für Chancen und Herausforderungen von digital-unterstütztem Chemieunterricht sensibilisiert worden zu sein (siehe Tabelle 1). Fünf Studierende deuteten allerdings auch an, dass ihnen aufgrund der Teilnahme am Modul bewusst geworden sei, dass die eigenständige Erstellung von digitalen Lernumgebungen und Tools für den Chemieunterricht sehr viel Zeit und Arbeitsaufwand erfordern kann.

Neben dem Vorschlag, die inhaltliche Behandlung der Forschungsmethoden zu reduzieren und dem Wunsch, die erstellte Lernumgebung in der Modulabschlussnote zu berücksichtigen (die auf Grundlage einer Klausur oder mündlichen Prüfung erworben wurde), war die Reduzierung des Arbeitsaufwandes dementsprechend auch einer der häufig genannten Verbesserungsvorschläge der Teilnehmenden ($p_0 = .84$; $\kappa = .82$; siehe Tabelle 1). Zudem wünschten sich einige Studierende, dass „mehr Testpersonen für die Lernwelten akquiriert werden“ (CL05). Dabei muss festgehalten werden, dass im Vergleich zu den positiven Aspekten (170 Kodierungen) insgesamt deutlich weniger Fundstellen für Verbesserungsvorschläge kodiert werden konnten (82 Kodierungen).

Die ersten Ergebnisse der Follow-Up-Interviews weisen darauf hin, dass die ehemaligen Studierenden ihre im Modul erworbenen Kenntnisse laut eigenen Angaben auch in der Praxis anwenden. So gaben die vier Befragten, die inzwischen auch als Chemielehrkräfte tätig sind, alle an, bereits eigene digitale Lernumgebungen für den Chemieunterricht entwickelt und eingesetzt zu haben: „Ich habe im Referendariat für den letzten Unterrichtsbesuch eine PowerPoint-Lernumgebung kreiert, welche die Lernenden [...] durch die gesamte Unterrichtsstunde geführt hat; auch zur Anleitung und Auswertung eines Schülerexperiments. Das hat perfekt geklappt, den Lernenden viel Spaß bereitet und die Fachleitung war auch sehr beeindruckt“ (DWi21m1). Drei der Interviewten erklärten allerdings auch, dass sie die im Rahmen des Moduls entwickelte Lernumgebung bislang noch nicht im eigenen Unterricht eingesetzt hätten. Rückblickend würden sich die ehemaligen Studierenden aufgrund ihrer inzwischen gewonnenen Lehrerfahrungen unter anderem eine Behandlung weiterer digitaler Tools und Programme (4 Kodierungen), noch mehr Kontakt mit Lernenden (3 Kodierungen) sowie weitere Hilfen zur Erstellung der Umgebungen (2 Kodierungen) wünschen, z. B. durch die Bereitstellung von Grafiken.

4 Ausblick: Wie „*e-lement*“ zu „*e-lement & Co.*“ wird

Die vorgestellten Evaluationsergebnisse belegen, dass das Studienmodul von *e-lement* von den Lehramtsstudierenden größtenteils positiv bewertet und als geeignet angesehen wird, um die Kompetenzen zu erwerben, digitale Lernumgebungen für den Chemieunterricht gestalten, einsetzen und reflektieren zu können. Die ersten Ergebnisse aus den Follow-Up-Interviews deuten zudem auf einen gelungenen Transfer der erworbenen Kompetenzen in die Unterrichtspraxis hin. Einschränkend muss bei der Interpretation der vorgestellten Evaluationsergebnisse, neben der Standortgebundenheit und dem Stichprobenumfang, darauf hingewiesen werden, dass die Evaluation der Studierenden bislang vor allem auf deren Selbsteinschätzungen beruht und die Follow-Up-Interviews nur erste Hinweise darauf geben können, ob die Studierenden die digitalen Kompetenzen tatsächlich auch in ihrer Unterrichtspraxis nutzen.

Unter anderem um diesem Desiderat zu begegnen, soll das Projekt *e-lement* aufbauend auf den vorgestellten Ergebnissen zukünftig als „*e-lement & Co.*“ an der Universität Koblenz ausgebaut werden. Dabei sollen den Einschätzungen der ehemaligen Teilnehmenden entsprechend weitere digitale Tools und Programme integriert

und durch eine konstante Einbindung des Projektes in ein Schülerlabor der Kontakt zu mehr Schulklassen ermöglicht werden. Da der Arbeitsaufwand zur Entwicklung der Lernumgebungen von einigen Teilnehmenden als sehr hoch eingeschätzt und sich auch im Hinblick auf die Unterrichtspraxis hierbei mehr Entlastung gewünscht wird, sollen zudem Unterstützungsmöglichkeiten bei der Gestaltung der Lernumgebungen durch das Einbinden von KI-Tools untersucht werden.

Literatur

- Banerji, A. (2017). Teaching Chemistry 2.0 – Creating Digital Learning Environments with PowerPoint and Prezi. In O. E. Finlayson, E. McLoughlin, S. Erduran & P. Childs (Hrsg.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2017 Conference. Research, Practice and Collaboration in Science Education* (S. 630–636). Dublin City University.
- Breuer, J. (2010). *Spielend lernen? Eine Bestandsaufnahme zum (Digital) Game-Based Learning*. Landesanstalt für Medien Nordrhein-Westfalen.
- Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (Hrsg.). (2011). *The Sage handbook of qualitative research* (4. Aufl.). Sage.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5., überarb. Aufl.). Springer.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12., überarb. Aufl.). Beltz.
- Müller, L., Müller, S. & Reiners, Ch. S. (2021). Digitale Lernwelten ohne Programmierkenntnisse erstellen. *CHEMKON*, 28(6), 257–259. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100001>
- Müller, S. (2024). Förderung digitaler Kompetenzen von Lehramtsstudierenden der Chemie. In H. van Vorst (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Hamburg 2023* (S. 94–97). GDPC.
- Reiners, Ch. S., Schmitz, L. & Mueller, S. (2020). Developing and Assessing E-Learning Settings by Digital Technologies. In M. Ludwig, S. Jablonski, A. Caldeira & A. Moura (Hrsg.), *Research on Outdoor STEM Education in the digital Age. Proceedings of the ROSETA Online Conference in June 2020* (S. 213–216). WTM.
- Scheiter, K. (2021). Lernen und Lehren mit digitalen Medien: Eine Standortbestimmung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24, 1039–1060.
- Schubatzky, T., Burde, J.-P., Große-Heilmann, R., Haagen-Schützenhöfer, C., Riese, J. & Weiler, D. (2023). Predicting the development of digital media PCK/TPACK: The role of PCK, motivation to use digital media, interest in and previous experience with digital media. *Computers & Education*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104900>
- Thyssen, C., Huwer, J., Irion, T. & Schaal, S. (2023). From TPACK to DPACK: The “Digitality-Related Pedagogical and Content Knowledge”-Model in STEM-Education. *Education Sciences*, 13, 769.
- von Kotzebue, L., Meier, M., Finger, A., Kremser, E., Huwer, J., Thoms, L.-J., Becker, S., Bruckermann, T. & Thyssen, C. (2021). The Framework DiKoLAN (Digital Competencies for Teaching in Science Education) as Basis for the Self-Assessment Tool DiKoLAN-Grid. *Education Sciences*, 11, 775.

Keywords: Digitale Lernumgebungen, e-Learning, Lehrkräftebildung

Mit digitalen Technologien adaptiven Naturwissenschaftsunterricht gestalten

1 Hintergrund

In den letzten Jahren wurden in Deutschland bei den Lernenden zunehmend Leistungsabfälle beobachtet. Die PISA-Studie 2022 bietet dabei wichtige Einblicke in das deutsche Bildungssystem (Lewalter et al., 2023). Die Ergebnisse zeigen beispielsweise in der Mathematik, dass das Kompetenzniveau der deutschen Lernenden im Vergleich zu 2003 gesunken ist. Insgesamt hat sich seit 2012 die Gruppe der leistungsschwachen Lernenden vergrößert, während die Anzahl der Spitzenleistungen abgenommen hat. Zwar liegt Deutschland im Durchschnitt der OECD-Staaten, jedoch ist auffällig, dass viele asiatische Länder sowie europäische Nachbarstaaten wie die Schweiz, die Niederlande, Belgien, Dänemark, Polen und Österreich deutlich besser abschnitten. Diese Diskrepanz deutet darauf hin, dass die deutschen Bildungserfolge hinter den Potenzialen zurückbleiben. Ähnlich besorgniserregend ist der Trend in den Naturwissenschaften (Lewalter et al., 2023). Hier liegen die Kompetenzen der deutschen Lernenden zwar über dem OECD-Durchschnitt, jedoch bleibt Deutschland hinter den Spitzenstaaten zurück. Erstmals seit 2018 wurde ein signifikanter Leistungsrückgang festgestellt. Dieses Phänomen, das nicht nur in Deutschland zu beobachten ist, könnte teilweise auf die Auswirkungen der Corona-Pandemie zurückzuführen sein. Ein interessanter Aspekt ist der Vergleich der verschiedenen Schulsysteme. Dabei fällt auf, dass das Kompetenzniveau der Gymnasien etwa 1,5 Stufen höher als das der anderen Schularten liegt (Lewalter et al., 2023). Dennoch zeigt sich auch in den einzelnen Schulformen eine sehr hohe Heterogenität (Lewalter et al., 2023). So sind an Gymnasien beispielsweise fünf verschiedene Kompetenzstufen vertreten. Die PISA-Ergebnisse verdeutlichen die Heterogenität in deutschen Klassenzimmern (Lewalter et al., 2023). Die Lernenden unterscheiden sich stark in ihren Vorkenntnissen, Lernstilen und Fähigkeiten. Diese Vielfalt stellt Lehrkräfte vor erhebliche Herausforderungen, da traditioneller Unterricht oft nicht in der Lage ist, auf die individuellen Bedürfnisse jedes Einzelnen einzugehen. Hier bietet der adaptive Unterricht eine notwendige und vielversprechende Lösung.

2 Adaptiver Unterricht

Bereits Glaser (1978) und Snow (1980) schlugen einen systematischen adaptiven Unterricht als Lösung für die Herausforderung vor, Einzelpersonen innerhalb von Gruppen zu unterrichten. Sie definierten adaptiven Unterricht als ein Mittel, um auf die Lernbedürfnisse des Einzelnen einzugehen und sowohl gemeinsame als auch indivi-

duelle Ziele zu erreichen. Glaser (1978) betonte dabei die Bedeutung von diagnostischen Tests und kontinuierlichem Feedback, um den Lernfortschritt zu überwachen und den Unterricht entsprechend anzupassen. Snow (1980) legte den Fokus auf die Anpassung der Lehrmethoden und -strategien an die kognitiven und affektiven Merkmale der Lernenden, um eine optimale Lernumgebung zu schaffen. Beide Ansätze zielen darauf ab, die Effizienz und Effektivität des Unterrichts zu steigern, indem sie die Heterogenität der Lernenden berücksichtigen und individuell auf ihre Bedürfnisse eingehen. Corno (2008) betont jedoch, dass die individuelle Anpassung des Unterrichts an die Lernenden nicht das einzige Ziel der Lehrkraft sein sollte. In ihren Beschreibungen von adaptivem Unterricht spricht sie daher von der Förderung unterschiedlicher Talente, während die Lernenden prozessbezogene Kompetenzen erlernen, um selbst Anpassungen vornehmen zu können. Diese Art von Unterstützung wirkt sich letztlich nicht nur positiv auf den einzelnen Lernenden aus, sondern auch auf die gesamte Klasse.

Adaptiver Unterricht umfasst insgesamt drei Komponenten, die in Abbildung 1 veranschaulicht sind (Corno, 2008; Sibley et al., 2023). Zunächst muss eine formative Diagnose durchgeführt werden, um die aktuellen Voraussetzungen der Lernenden zu ermitteln. Diese Ergebnisse dienen dann als Grundlage für Anpassungen auf der Makroebene, wie zum Beispiel die Einteilung der Klasse in verschiedene niveaudifferenzierte Arbeitsgruppen. Schließlich können während des Unterrichts eine oder mehrere Anpassungen auf Mikroebene vorgenommen werden, etwa durch individuelles Feedback oder zusätzliche Unterstützungsangebote nach Bedarf. Um eine kontinuierliche Förderung auf dem richtigen Niveau sicherzustellen („zone of proximal development“ (Vygotskij & Cole, 1979)), muss die formative Diagnose als iterative Schleife immer wieder in den Lernprozess integriert werden.

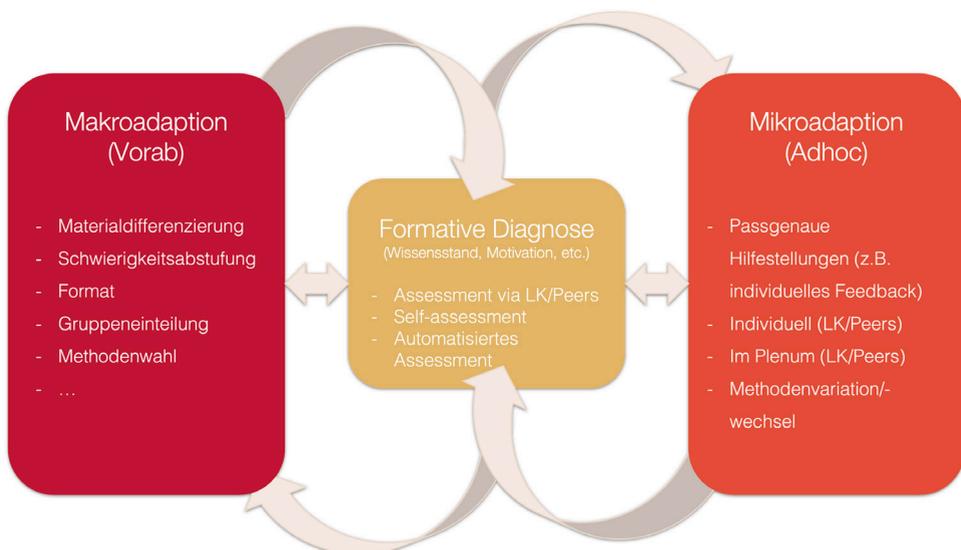


Abbildung 1: Rahmenmodell für adaptive Lernumgebungen angelehnt an Sibley et al. (2023: 29)

Zusammenfassend zielt Adaptiver Unterricht darauf ab, den Lernprozess an die individuellen Bedürfnisse und Fortschritte der Lernenden anzupassen. Durch adaptiven Unterricht können Leistungsunterschiede im Klassenzimmer verringert und die Motivation und das Engagement der Lernenden gesteigert werden (Corno, 2008). Indem der Unterricht auf die individuellen Stärken und Schwächen eingeht, kann das Lernen effizienter und effektiver gestaltet werden.

3 Umsetzung adaptiven Unterrichts mithilfe digitaler Technologien

Die Umsetzung von adaptivem Unterricht stellt Lehrkräfte vor eine erhebliche Herausforderung (Sibley et al., 2023). Beispielsweise erscheinen die Erstellung und Auswertung formativer Diagnoseinstrumente zunächst äußerst zeitaufwändig und erfordern nebenbei von der Lehrkraft eine individuelle Analyse der Ergebnisse der Lernenden. Die Anwendung digitaler Technologien kann dabei eine Hilfestellung bieten. Digitale Technologien können den Lehrkräften beispielsweise bei der Durchführung formativer Diagnosen helfen. Mit Quizzen oder Online-Tests lassen sich Diagnoseprozesse effizient gestalten und die Ergebnisse rasch auswerten. Dies ermöglicht eine zügige, anonyme oder personalisierte Analyse (Sibley et al., 2023). Als eine mögliche Erweiterung oder Ergänzung können Schulplattformen eingebunden werden, welche auf Grundlage dieser Diagnosen einen passenden Lernpfad vorschlagen. Auf Ebene der Mikrooptionen sind digitale Medien eine große Bereicherung, um nicht nur Feedback von der Lehrkraft zu übermitteln, sondern auch Peer-Feedback in der Schule oder von Zuhause zu ermöglichen (Sibley et al., 2023). Eine immer prominenter Form für die Ermöglichung von individuellem Feedback sind Large Language Models (LLMs) (Labadze et al., 2023). In Schulen werden sie verstärkt im Sprachunterricht eingesetzt, um erste Rückmeldungen zu Texten zu geben und deren grammatikalische sowie inhaltliche Richtigkeit zu überprüfen (Kohnke, 2021; Yuan, 2023). Insgesamt bietet die zunehmende Vielfalt an neuen Technologien zahlreiche Möglichkeiten, den Unterricht adaptiv zu gestalten. Dabei ist jedoch unerlässlich, eine angemessene Nutzung dieser Technologien im Einklang mit der Lebenswelt der Lernenden und der Gesellschaft zu wählen (Huwer et al., 2019).

4 Förderung von adaptivem MINT-Unterricht in Deutschland

Auch im europäischen Rahmenplan für digitale Kompetenzen von Lehrkräften (DigCompEdu) wird das Thema des Assessments und des Feedbacks durch digitale Technologien behandelt. Dabei wird besonders die durch Technologien ermöglichte Differenzierung und Individualisierung betont (Punie, 2017). Um digital-adaptiven Unterricht auch in Deutschland zu fördern, wurde 2023 das Projekt MINT-ProNeD (Professionelle Netzwerke zur Förderung adaptiver, prozessbezogener digital-gestützter Innovationen in der MINT-Lehrpersonenbildung) ins Leben gerufen. Die zentrale Ausrichtung dieses Projekts liegt auf der progressiven Entwicklung der Lehrkompe-

tenzen im Bereich der digital gestützten adaptiven MINT-Unterrichtsgestaltung, wobei das bewährte Rahmenkompetenzmodell DiKoLAN (Becker et al., 2020) als essentielle Leitlinie fungiert. DiKoLAN steht für „Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften“ und wurde in diesem Projekt für eine erste Orientierung gewählt, da es Kompetenzen von Lehrkräften aufführt, welche für die Konzeption von digital-gestütztem (adaptiven) Unterricht in den Naturwissenschaften benötigt werden. Das Gesamtprojekt zeichnet sich durch ein ganzheitliches Konzept für die Lehrkräftebildung aus, das auf einer Verknüpfung von drei interdisziplinären Netzwerken basiert. Sie setzen sich zusammen aus: Netzwerk (1), welches zuständig ist für die Planung und Durchführung von Lehrerfortbildungen; Netzwerk (2), welches eine Weiterführung aus den Fortbildungen in Form von Unterrichtsentwicklung und -beratungen für Lehrkräfte bildet und Netzwerk (3), welches unterstützend neueste zukunftsweisende Technologien sichtet und erprobt.

Im Rahmen des Projektes MINT-ProNED (als Teil des Kompetenzzentrums MINT von Lernen:digital) hat der Projektstandort an der Universität Konstanz eine Fortbildung entwickelt, die beispielhaft aufzeigt, wie adaptiver Unterricht gefördert werden kann. Die Fortbildung richtet sich an Lehrkräfte der Naturwissenschaften und vermittelt Grundlagen zu zukunftsweisenden Technologien wie Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) und Künstlicher Intelligenz (KI). Ein zentrales Thema der Fortbildung ist die Entwicklung von adaptivem Unterricht. Lehrkräfte erarbeiten gemeinsam die Vor- und Nachteile von Chatbots und erhalten einen ersten Einblick in die Nutzung dieser Technologien zur Unterrichtsvorbereitung sowie zur Differenzierung und Individualisierung von Aufgaben. Es wird eine implizite Förderung informatischer Kompetenzen (Braun & Huwer, 2022) angestrebt, indem verschiedene Prompting-Techniken und Differenzierungsbefehle vermittelt werden, um das Potenzial von Chatbots zu verdeutlichen. Dabei wurde eine Auswahl an Prompting-Techniken getroffen, die sowohl gängige, möglicherweise bereits unbewusst genutzte Methoden wie Zero-Shot-Prompting (Brown et al., 2020) und Few-Shot-Prompting (Brown et al., 2020) umfassen als auch weniger bekannte Ansätze wie die Chain-of-Thought-Methode (Wei et al., 2022). Ein Vergleich zwischen einem etablierten Large Language Model (LLM) wie ChatGPT oder Copilot und einem von uns speziell entwickelten Chatbot für bestimmte Aufgaben zeigt den Lehrkräften, dass es in naher Zukunft auch für Lehrkräfte möglich sein wird, zuverlässigere Lösungen für die naturwissenschaftlichen Ungenauigkeiten derzeitiger kostenloser Chatbots zu entwickeln. Ein trainierter Chatbot, der als Tutor fungiert, kann im adaptiven Sinne nützlich sein, da er hilfreiche Tipps und Hinweise gibt, ohne jedoch Lösungen oder falsche Aussagen zu formulieren. Darüber hinaus wird der Aspekt der angereicherten Realität (AR) thematisiert. Nach einer kurzen Einführung konzentriert sich die Fortbildung auf die Anwendung von AR zur Bereicherung von Unterrichtsmaterialien und Lernumgebungen. Dies kann sowohl bei Arbeitsblättern als auch in realen Umgebungen genutzt werden, um den Lernprozess durch zusätzliche Hilfestellungen zu unterstützen. Es wird exemplarisch aufgezeigt, welche Optionen zur Verfügung stehen, um Arbeitsblätter mittels papierbasierter AR mit Zusatzinformationen und Hilfestellungen (bei Bedarf) anzureichern. Als Hilfestellung können dabei auch dreidimensionale Darstel-

lungen von Atomen, Molekülen oder Ionengruppen zum tieferen Verständnis beitragen. Insgesamt zielt die Fortbildung darauf ab, Lehrkräften der Naturwissenschaften das Wissen und die Werkzeuge zu vermitteln, um adaptiven Unterricht mithilfe moderner Technologien zu gestalten und so den Lernprozess ihrer Lernenden zu verbessern.

Literatur

- Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & Von Kotzebue, L. (2020). *Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen*. <https://dikolan.de/>
- Braun, D. & Huwer, J. (2022). Computational literacy in science education – A systematic review [Review]. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.937048>
- Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D., Wu, J., Winter, C. & Amodei, D. (2020). *Language Models are Few-Shot Learners*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165>
- Corno, L. (2008). On Teaching Adaptively. *Educational Psychologist*, 43, 161–173. <https://doi.org/10.1080/00461520802178466>
- Glaser, R. (1978). Adaptive education: Individual diversity and learning. *Journal of school psychology*, 16(3), 284–285. [https://doi.org/10.1016/0022-4405\(78\)90014-6](https://doi.org/10.1016/0022-4405(78)90014-6)
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU Journal / Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts*, 72(5), 358–364.
- Kohnke, L. (2021, 2021). *Chatbots for Learning: A Facebook Messenger ‘Bot’*. *Emerging Technologies for Education*. Springer.
- Labadze, L., Grigolia, M. & Machaidze, L. (2023). Role of AI chatbots in education: systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00426-1>
- Lewalter, D., Diedrich, J., Goldhammer, F., Köller, O. & Reiss, K. (2023). *PISA 2022: Analyse der Bildungsergebnisse in Deutschland*. Waxmann. <https://doi.org/10.25656/01:28666>
- Punie, Y. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*, EUR 28775 EN. Publications Office of the European Union.
- Sibley, L., Fabian, A., Plicht, C., Wettke, C., Bachfisch, I., Bohl, T. & Lachner, A. (2023). Gestaltung adaptiver Lernumgebungen mit Hilfe digitaler Medien: Ein Werkstattbericht aus dem Tübinger Entwicklungs- und Forschungsprojekt „DiA:GO“. *Lernen und Lehren*, Article NV11-2023-03D7.
- Snow, R. E. (1980). *Aptitude, learning, and instruction*. Erlbaum. <https://go.exlibris.link/FHSzFZ0>
- Vygotskij, L. S. & Cole, M. (1979). *Mind in society: the development of higher psychological processes* (2. print. ed.). Harvard Univ. Press.
- Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Chi, E., Le, Q. & Zhou, D. (2022). *Chain of Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.11903>

Yuan, Y. (2023). An empirical study of the efficacy of AI chatbots for English as a foreign language learning in primary education. *Interactive Learning Environments*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2282112>

Keywords: Heterogenität, adaptiver Unterricht, digitale Technologien, Lehrkräfteprofessionalisierung

3D-Druck im Chemieunterricht

Einleitung

Der 3D-Druck gewinnt in Industrie, Alltag und Schule zunehmend an Bedeutung. In einer Umfrage an deutschen Schulen gaben 45 % der Lehrer an, Zugang zu einem 3D-Drucker zu haben, wobei 22 % den 3D-Druck aktiv im Unterricht eingesetzt haben (Thyssen & Meier, 2023). Auf drei Arten kann dieser im Unterricht integriert werden (Meier et al., 2022). Der Drucker ist selbst Lerninhalt, wenn die Technik oder die verwendeten Kunststoffe mit ihren typischen Eigenschaften thematisiert werden. Entwerfen Schüler*innen eigene Modelle, wird der Druckprozess zum Lerninhalt. Dabei fördert der Umgang mit digitalen Tools in motivierender Weise die digitalen und Problemlösekompetenzen, welche für die Schüler*innen hochrelevant sind (Lee & Kwon, 2023). Mit nur wenig Aufwand können Lehrkräfte hochwertige Unterrichtsmaterialien wie Modelle und Lernspiele herstellen. Mit CAD-Know-how können maßgeschneiderte Lösungen für den Unterricht entwickelt werden. Dabei entstehen deutlich geringere Kosten für Unterrichtsmaterialien als üblich. In diesem Fall dient der 3D-Druck lediglich als Werkzeug für die Unterrichtsvorbereitung. Dieser Artikel beleuchtet kurz zwei Anknüpfungspunkte des 3D-Drucks im Chemieunterricht. Zum einen den 3D-Druck-Prozess und bereits verfügbare Unterrichtsmaterialien.

Grundsätzlich ist der 3D-Druck ein Fertigungsverfahren. Man unterscheidet zwischen subtraktiven, formgebenden und additiven Fertigungsverfahren. Das bekannteste Verfahren ist die subtraktive Fertigungstechnik. Dabei wird aus einem Rohmaterial überflüssiges Material entfernt, bis das gewünschte Werkstück übrigbleibt. Metall, Holz oder Kunststoff wird geschnitten, geschliffen, gefräst oder gebohrt, um das Werkstück herzustellen. Die formgebende Fertigungstechnik geht von einem geschmolzenen Material aus, welches über eine Form in das gewünschte Werkstück überführt wird. Beispiele hierfür sind der Spritzguss oder das Gießen von Metallen. Bei den additiven Fertigungsverfahren wird Material nur an den Stellen aufgetragen, wo es benötigt wird. Dieses Fertigungsverfahren bietet einige Vorteile, wie ein geringeres Abfallaufkommen, schnelle Anpassbarkeit, teils schnellere Fertigungszeiten und Herstellung komplexerer Strukturen. Charakteristisch für den 3D-Druck ist sein dreidimensionaler, additiver und schichtartiger Aufbau des Werkstücks. Beim 3D-Druck greifen Steuerungstechnik, Materialwissenschaften und CAD (computer-aided design) ineinander und machen es zu einem interdisziplinären Thema. Die schulische Einbindung ist daher an vielen Stellen denkbar. In erster Linie dort, wo Technik und Naturwissenschaften aufeinandertreffen, wie in den Verbundfächern (NWT, NWA) oder in Projektarbeiten.

Der Filamentdruck ist eine Art von 3D-Druck, welcher einen thermoplastischen Faden aufschmilzt und diesen durch eine Düse extrudiert, die in alle drei Raumrich-

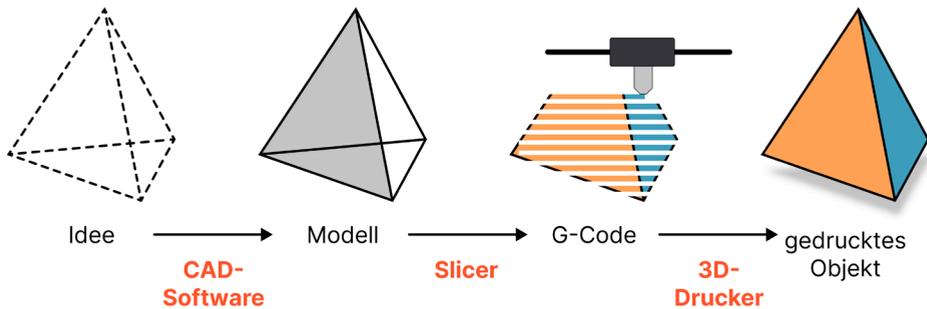


Abbildung 1: Workflow des 3D-Drucks: von der Idee zum gedruckten Objekt.

tungen beweglich ist. Die Kunststoffschmelze erstarrt und bildet die erste Schicht. Auf diese wird eine neue Schicht gesetzt und so „stapelt“ der Drucker 2D-Schichten aufeinander, um ein 3D-Objekt zu erstellen. Das meistverwendete Filament ist Polymilchsäure (PLA), ein biobasierter und bioabbaubarer Kunststoff. Alle folgenden Objekte wurden über einen Filamentdrucker hergestellt. Dieser eignet sich durch geringe Anschaffungs- und Betriebskosten, eine einfache Nachbearbeitung (Post-Processing) und das geringe Gefährdungspotential am besten für die Schule (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), 2019).

Von der Idee zum gedruckten Objekt

Bevor auf die verschiedenen Modelle für den Chemieunterricht eingegangen wird, soll hier ein typischer Workflow bei der Erstellung eines Objekts skizziert werden. Zuerst wird eine abstrakte Idee mit einer CAD-Software modelliert. Anschließend wird dieses Modell mithilfe einer Slicer-Software in Maschinensprache (G-Code) für den Drucker übersetzt. Schließlich führt der Drucker den G-Code aus, um das Objekt zu erzeugen. Jeder Schritt erfordert eine bestimmte digitale Kompetenz seitens des Bedieners. Die Arbeit mit dem 3D-Drucker ermöglicht es, eine Idee innerhalb von nur zwei Stunden als physisches Objekt zu realisieren. Anwender*innen des 3D-Drucks sollten die aktuellen Entwicklungen bei Software und 3D-Druckern verfolgen, da diese sich schnell weiterentwickeln. Wenn eine Prognose über die Zukunft gestattet ist, dann wird in Zukunft wohl die Mehrheit der Haushalte einen 3D-Drucker besitzen. Dieser wird mit einer vollautomatischen Slicer-Software ausgestattet sein und der Druck eines Modells wird so einfach sein wie das Betätigen eines Lichtschalters.

Trotz der schnellen Entwicklung sollen hier exemplarisch einige Programme vorgestellt werden, mit denen an der pädagogischen Hochschule Freiburg gute Erfahrungen gemacht wurden. Eine einfache und kostenlose CAD-Software ist TinkerCAD. Dieses CAD-Programm ist browserbasiert und bietet eine Klassenumgebung. TinkerCAD ist vor allem für Einsteiger*innen geeignet, denn hier wird das Modell nicht aufwendig konstruiert, sondern durch Kombinieren einfacher Körper erzeugt – eine

Art Digitales-Bauklötze-Aneinanderschieben, mit dem bereits komplexe Modelle generiert werden können. Das Programm Fusion 360 von der Firma Autodesk bietet eine vollumfängliche CAD-Software. Diese ist für Schulen und Privatpersonen kostenlos zu nutzen. Daher eignet es sich gut für fortgeschrittene Schüler*innen oder technische Gymnasien. Das grundlegende Funktionsprinzip solcher CAD-Software ist: es wird eine technische Zeichnung angefertigt und anhand dieser Zeichnung wird digital „extrudiert“. Dieses Programm wird häufig für den 3D-Druck verwendet, daher finden sich unzählige Anleitungen im Internet für teils hochkomplexe Modelle. Der Schritt des Modellierens ist nicht zwingend erforderlich, denn ein geeignetes Modell kann von einer Datenbank heruntergeladen werden. Beispiele hierfür sind die Webseiten Thingivers, Printables oder Cults.3D. Die ersten beiden Datenbanken sind kostenlos, während die dritte kostengünstige, hochwertige und für den 3D-Druck optimierte Modelle anbietet. Unabhängig vom gegangenen Weg erhält man eine .stl-Datei.

Ein Slicer wandelt die .stl-Datei in Maschinensprache, den G-Code, um. In diesem Programm werden die Druckparameter festgelegt, wie Schichthöhe oder Rauffüllung. Das Programm schneidet das digitale Modell in 2D-Schichten und schreibt die Bewegungsbefehle des Druckers in eine Datei. Diese Datei hat die Endung .gcode. Der Prusa Slicer eignet sich für diese Anwendung, denn er unterstützt viele Druckertypen, bietet einen großen Funktionsumfang, ist Open Source und besitzt eine bemerkenswerte Dokumentation. Jede Einstellung ist mit Bildern auf der Website von Prusa erklärt. Im letzten Schritt wird diese Datei an den 3D-Drucker übertragen, der die Befehle ausführt und das reale Objekt erstellt. Die Auswahl an 3D-Druckern ist zahllos. Ein geeignetes Modell aus dieser Auswahl ist der Prusa Mini+ (ca. 500 €) aufgrund seines Supports und Open-Source-Gedankens. Viele Teile des Druckers sind selbst mit dem 3D-Drucker hergestellt. Alle Bauteile sind online verfügbar, sodass Ersatzteile für den Drucker selbst gedruckt werden können.

Eine detaillierte Anleitung des 3D-Druck-Prozesses findet sich in Buch „3D-Druck für Schule und Hochschule“ (Pusch & Haverkamp, 2022). Das eigenständige Erstellen eines Modells, beispielsweise der Kristallstruktur von Natriumchlorid, könnte die Modellkompetenz der Schüler*innen stärken. Dabei müssen sie selbst abstrahieren und das Original modellieren. Gleichzeitig können die Abbildungs-, Verkürzungs- und pragmatischen Merkmale, die für das Verständnis eines Modells zentral sind, thematisiert werden (Stachowiak, 1973). Beim Entwerfen eines Modells werden zusätzlich digitale Kompetenzen gestärkt. Zu Beginn eines Projekts recherchieren die Schüler im Internet, filtern die Ergebnisse und passen diese mithilfe von CAD-Software und einem Slicer an die jeweilige Anwendung an. Der allgemeine Workflow erfordert den Umgang mit verschiedenen Datenträgern und Dateiformaten. Alle diese Arbeitsschritte gelten gemäß der Kultusministerkonferenz als digitale Kompetenzen (Kultusministerkonferenz, 2016). Einige Studien berichten von positiven Lernergebnissen der Schüler*innen im Designprozess, im Umgang mit Modellen, inhaltlichem Wissen, Problemlösefähigkeit, Zusammenarbeit, Motivation, Kreativität und Empowerment (Pearson & Dubé, 2022).

3D-Druck für den Chemieunterricht

Im Chemieunterricht spielen Visualisierungen und Modelle eine zentrale Rolle, denn typischerweise sind die zu beschreibenden Vorgänge zu klein oder zu schnell, um sie mit den Sinnesorganen vernünftig erfassen zu können. Zu diesen Visualisierungen zählen Kristallstrukturen (csm12, 2019) oder Modelle von Orbitalen (millss4, 2015), die mit dem 3D-Druck erzeugt werden können. Für den Chemieunterricht stehen zahlreiche didaktisch wertvolle und kommerziell erschwingliche Anschauungsmaterialien zur Verfügung. Auch konkurriert das Modell aus dem 3D-Drucker mit Animationen als Veranschaulichung. Im konkreten Fall muss abgewogen werden, welches Medium am besten zum Ziel und zur Anforderung des Unterrichts, zum Alter und Vorwissen der Schüler*innen passt. In zwei Fällen bieten Visualisierungen aus dem 3D-Drucker einen entscheidenden Vorteil – wenn Visualisierungen nur sehr teuer oder gar nicht erhältlich sind. Oft sind die gesuchten Modelle von anderen Nutzer*innen bereits auf eine Online-Datenbank hochgeladen worden und das Modell wird lediglich geladet und gedruckt. Wenn kein geeignetes Modell verfügbar ist, werden CAD-Kenntnisse benötigt. Das Modell kann selbst entworfen, gedruckt und idealerweise über eine der Datenbanken anderen Nutzer*innen zur Verfügung gestellt werden. Neben den klassischen Modellen bietet der 3D-Druck die Möglichkeit, kreative Unterrichtsideen durch hochwertige Materialien umzusetzen.

Ein Beispiel sind „Ionenwürfel“ (Feigenbaum, 2018). Das Modell besteht aus einem Paar Würfel. Ein Würfel ist mit Elementen, die in der Regel Kationen bilden, beschriftet, während der andere Würfel mit Elementen versehen ist, die üblicherweise Anionen bilden. Ein Arbeitsauftrag könnte sein: Würfel zehnmal, gleiche die Summenformel der Salze aus und benenne diese. Der Atombau, der Umgang mit dem PSE, Nomenklatur und die Ionenbindung können so spielend trainiert werden. Die Würfel können durch den 3D-Druck an die Schüler*innen angepasst werden, indem man z.B. die Ladung der Elemente mitaufnimmt, mehr Elemente auf einem Dodekaeder platziert oder Nebengruppenelemente (dann mit der jeweiligen Oxidationszahl) integriert. Ein weiteres Beispiel ist das Branddreieck, welches die Voraussetzungen eines Brandes (Wärme, Sauerstoff, Brennstoff) auf jeweils einer Seite des Dreiecks zeigt (ICSE, 2023a). Das dritte Modell zeigt, wie mit dem 3D-Druck auf Probleme bei der Unterrichtsplanung eingegangen werden kann. Der baden-württembergische Bildungsplan für Chemie Sekundarstufe I fordert für das Grundniveau folgendes Lernziel: „Die Schülerinnen und Schüler können auf der Grundlage eines Modellversuchs zum Rutherford'schen Streuversuch das Kern-Hülle-Modell beschreiben.“ Die Herausforderung besteht hierbei im Modellversuch. Obwohl mehrere Animationen zur Verfügung stehen, fehlt ein reales Objekt, das als Modellversuch verwendet werden kann. Die Lösung: ein selbst erstelltes 3D-gedrucktes Modell zum Rutherford'schen Streuversuch (ICSE, 2023b). Das Modell ist in Abbildung 2 unten rechts gezeigt. Weitere Beispiele für Modelle im Chemieunterricht sind in einem Übersichtsartikel aufgeführt (Pinger et al., 2020).



Molekülbaukasten

Steckverbindungen
Thema: Stoff-Teilchen,
Struktur-Eigenschafts-
Beziehungen



Kristallgitter

mit herausnehmbarer
Einheitszelle
Thema: Ionengitter,
ionische Bindung



Orbitale

π -Orbitale Ethin
Thema: Atombau,
Orbitaltheorie



Ionenwürfel

Kationen- & Anionen-
Bildner
Thema: Atombau,
PSE, Ionenbindung



Branddreieck

Voraussetzungen
eines Brandes
Thema: Brandschutz,
chemische Reaktion



Trends im PSE

verschiedene Trends
(EN, IE, EA, Radius)
Thema: PSE, Atombau

Abbildung 2: Mögliche Modelle für den Chemieunterricht.

Der 3D-Druck ist eine moderne Fertigungsmethode mit didaktischem Potenzial für den Chemieunterricht. Am 3D-Drucker selbst können grundlegende Konzepte der makromolekularen Chemie erläutert werden. Der Druckprozess kann zudem die Entwicklung digitaler und modellbezogener Kompetenzen fördern. Gedruckte Objekte bieten eine kostengünstige Alternative zu herkömmlichen, oft teuren Unterrichtsmaterialien. Zwar steht vielen Lehrkräften bereits ein 3D-Drucker an der Schule zur Verfügung, doch werden diese Geräte trotz ihrer Vorteile nur selten aktiv in den Unterricht integriert. Die begrenzte Ausbildung der Lehrkräfte und der Mangel an praktischen Anwendungsbeispielen im Unterricht werden häufig als hemmende Faktoren genannt (Thyssen & Meier, 2023). Die offenen Arbeitsanweisungen beim 3D-Druck machen es Lehrkräften schwer, diese zu benoten und mit den Bildungsvorgaben in formalen Lernsettings in Einklang zu bringen (Pearson & Dubé, 2022). Lösungsansätze hierfür können Projektarbeiten und schulinterne Makerspaces sein, verbunden mit praxisorientierten Fortbildungen für Lehrkräfte.

Literatur

- csm12 (2019). *NaCl Ionic Lattice version 2*. Hg. v. Thingivers. <https://www.thingiverse.com/thing:3887597>, zuletzt geprüft am 22.05.2024.
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (2019). *3D-Tischdrucker in Schulen. DGUV Information 202-103*. Hg. v. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV). <https://publikationen.dguv.de/DguvWebcode/index/query/p202103>, zuletzt geprüft am 14.08.2024.
- Feigenbaum, E. (2018): *Chemistry ion Dice*. Hg. v. Thingivers. <https://www.thingiverse.com/thing:2966841>, zuletzt geprüft am 22.05.2024.
- ICSE (2023a). *Branddreieck, Fire Triangle*. Hg. v. Thingivers. <https://www.thingiverse.com/thing:6229930>, zuletzt geprüft am 22.05.2024.
- ICSE (2023b). *Rutherford scattering experiment – educational material for teaching chemistry*. Unter Mitarbeit von Thingivers. Online verfügbar unter <https://www.thingiverse.com/thing:6257002>, zuletzt geprüft am 22.05.2024.
- Kultusministerkonferenz (2016). *Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz*. Hg. v. Sekretariat der Kultusministerkonferenz. Berlin. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf, zuletzt geprüft am 14.08.2024.
- Lee, D. & Kwon, H. (2023). Meta analysis on effects of using 3D printing in South Korea K-12 classrooms. *Education and Information Technologies*, 28(9), 11733–11758. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11644-5>
- Meier, M., Schubatzky, T., Obczovsky, M., Thoms, L.-J. & Thyssen, C. (2022). Fachdidaktische Perspektiven und Szenarien des 3D-Drucks im naturwissenschaftlichen Unterricht. *MNU-Journal* (2022-01), 79–84.
- millss4 (2015). *Acetylene with Pi orbitals*. Hg. v. Thingivers. <https://www.thingiverse.com/thing:826451>, zuletzt geprüft am 22.05.2024.
- Pearson, H. A. & Dubé, A. K. (2022). 3D printing as an educational technology: theoretical perspectives, learning outcomes, and recommendations for practice. *Education and Information Technologies*, 27(3), 3037–3064. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10733-7>
- Pinger, C. W., Geiger, M. K. & Spence, D. M. (2020). Applications of 3D-Printing for Improving Chemistry Education. *J. Chem. Educ.*, 97(1), 112–117. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00588>
- Pusch, A. & Haverkamp, N. (2022). *3D-Druck für Schule und Hochschule*. Springer.
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Springer. <https://permalink.obvsg.at/AC00311331>.
- Thyssen, C. & Meier, M. (2023). 3D Printing as an element of teaching – perceptions and perspectives of teachers at German schools. *Front. Educ.* 8, Artikel 1233337. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1233337>

Keywords: 3D-Druck, CAD, Slicer, Modelle

Michael Spanier, Christoph Thyssen, Annette Bieniusa, Joachim Wünn und Ulrich Fischer

Chancen und Herausforderungen beim kooperativen und kollaborativen Experimentieren mit digitalen Tools im Schulunterricht

Reflexion eines unterrichtspraktischen Beispiels zur Messung der Enzymaktivität mittels Handyphotometer und Datenauswertung mit einem digitalen Laborbuch (LabBook)

Digitalisierung im deutschen Bildungssystem

Im Jahr 2016 verabschiedete die Kultusministerkonferenz mit der Strategie „Bildung in der Digitalen Welt“ insgesamt sechs Kompetenzbereiche für den Umgang und die Anwendung digitaler Tools und Medien (Kultusministerkonferenz, 2016). Mit der Verabschiedung des Digitalpaktes hat die Kultusministerkonferenz mit rund 6,5 Milliarden Euro den Weg für eine digitale Umgestaltung der Lehre an deutschen Schulen geebnet. Die bereitgestellten Geldmittel dienen nicht nur zum Ausbau der Infrastruktur, sondern auch zur Anschaffung von Leihgeräten für Lehrkräfte, Sofortausstattungsprogrammen und Administration (Kultusministerkonferenz, 2019). Mit Beginn der COVID-19-Pandemie im Jahr 2020 und der daraus resultierenden Restrukturierung von bis dato etablierten Unterrichtskonzepten hin zu digital aufbereitetem Unterricht und sogar Homeschooling machte deutlich, wie schleppend diese Strategie bis zu diesem Zeitpunkt vorangekommen war (lpb – Baden-Württemberg, 2021).

Ob und in welchem Umfang die angestrebten Ziele seitdem weiter verwirklicht werden konnten, zeigt z. B. eine Umfrage der Robert Bosch Stiftung (Sichma & Wolf, 2023), in der Lehrkräfte von allgemein- und berufsbildenden Schulen zu aktuellen Herausforderungen in der Schulbildung befragt wurden. Was die technische Infrastruktur an Schulen anbelangt, sehen die Lehrkräfte vor allem in finanzschwachen Kommunen mitunter deutlichen Verbesserungsbedarf, sind aber auch vom Potential digitaler Medien bzw. Tools überzeugt. Ein Vergleich zu den Vorjahren 2020 und 2021 zeigt, dass dieser Trend zunehmend ist (Sichma & Wolf, 2023). Rund 40 % sehen in digitalen Lehrformaten ‚voll und ganz‘ oder ‚eher‘ eine Arbeitsentlastung. Gleichzeitig fordern aber auch 59 % qualitativ hochwertige digitale Tools bzw. Medien. Demnach stellt sich die Frage, was qualitativ hochwertig bedeutet und wie solche digitalen Lehr- und Lernmittel beziehungsweise Tools für den Schulunterricht erstellt und eingesetzt werden können.

Digitale Tools und Medien im Vergleich

Puentedura (2006) liefert zur Strukturierung der Nutzung digitaler Tools und Medien mit dem SAMR-Modell eine mögliche Herangehensweise zur Klärung dieser Frage. SAMR ist ein Akronym für *Substitution*, *Augmentation*, *Modification* und *Redefinition* und beschreibt, wie digitale Tools und Medien mit unterschiedlichen Zielsetzungen in Lehr- und Lernarrangements integriert werden und dabei Aufgaben bzw. Lehrkonzepte verändern können. Über verschiedene Ebenen nimmt im Modell der Grad an Veränderung des Unterrichts durch den Einsatz digitaler Technologien stetig zu. Auf der untersten Stufe, der Substitution, sind digitale Werkzeuge und Tools ein direkter Ersatz für analoge Arbeitsmittel, ohne dass sich dabei Aufgaben und Unterricht grundlegend ändern. Beispiel hierfür ist das Ersetzen von analogen Texten und Schulbüchern durch digitale Formate wie PDF-Dateien. Auf der Stufe der Augmentation werden im Vergleich zu analogen Alternativen Möglichkeiten zur Umsetzung von Aufgaben mittels digitaler Tools erweitert. Beispielsweise werden zeitsparend Produkte erstellt, indem Textpassagen aus PDF-Dateien kopiert oder Daten berechnet und in einem anderen Dokument zur Nutzung eingefügt werden. Wünschenswert wäre es aber, wenn man vom „Nichtschwimmerbereich“ hin zu den höheren Ebenen der *Modification* und *Redefinition* käme (Stevens, 2019). Diese höheren Stufen ermöglichen eine bedeutsame Umgestaltung und Neudefinition von Unterricht und Aufgaben über das Erstellen neuartiger Aufgabenformate, z.B. der Bearbeitung von Aufgaben, die analog aufgrund von Grenzen zeitlicher oder kollaborativer Art nicht möglich wäre, wofür es geeignete digitale Werkzeuge braucht. Beispielsweise ist im Kompetenzbereich naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung eine objektivierte Messung von Konzentrationen nur mittels einer für diesen Zweck entwickelten Handyphotometer-Web-App möglich. Eine Messung mit einem konventionellen Photometer würde weder eine zeitökonomische Aggregation noch eine kollaborative Erfassung von Messdaten im Klassenverbund erlauben.

Baumgarten et al. (2022) liefern eine Strukturierung von digitalen Werkzeugen zur Zusammenarbeit im 3K-Modell (Teufel et al., 1995). Tools werden im 3K-Modell hinsichtlich des jeweiligen Schwerpunkts ihrer Funktionalitäten und Nutzung gruppiert. Hierbei stehen „3K“ für die drei primären Einsatzbereiche (*Kooperation und Kollaboration*, *Koordination* und *Kommunikation*) einer Software. Beispielsweise bieten Videokonferenztools viele Funktionen für den kommunikativen Austausch, eignen sich jedoch weniger für eine gemeinsame Erstellung von Dokumenten oder eine Dokumentation zur Koordination der Zusammenarbeit, weshalb hierfür wiederum andere Tools verwendet werden müssen, die ihren funktionalen Fokus im Bereich der Zusammenarbeit auf die gemeinsame Erstellung von Dokumenten legen.

Hindernisse beim kooperativen und kollaborativen Arbeiten mit digitalen Tools

Kooperation und Kollaboration beschreiben beide eine Form der Zusammenarbeit. Beim kooperativen Arbeiten werden Abläufe arbeitsteilig bearbeitet und Einzelteile später zu einem Gesamtergebnis zusammengefügt, wohingegen das kollaborative Arbeiten die gleichzeitige Bearbeitung einer Aufgabe durch mehrere Personen oder Gruppen meint (Kergel, 2023). Im Kontext Schule müsste eine universell einsetzbare Software für eine gemeinsame Zusammenarbeit auch Funktionen für Kommunikation und Koordination besitzen, die eine asynchrone Bearbeitung von Aufgaben und damit auch eine *Modification* oder *Redefinition* von Aufgaben im Sinne des SAMR-Modells erlaubt. COVID-19-Forschung profitierte von solchen Systemen, die ein Arbeiten mit Daten und etablierten Methoden in Gruppen rund um den Globus erlaubten (McGuire & Paunov, 2022).

Beim Erlernen wissenschaftlicher Methoden und Arbeitsweisen bieten digitale Tools besondere Möglichkeiten, da sie eine schnelle Datenerfassung und Auswertung erlauben. Mittels digitaler Tools können auch für den Schulunterricht neue Messmethoden entwickelt werden, die mit in der Forschung gängigen Geräten allein aus finanzieller Sicht nur in den seltensten Fällen denkbar wären. So finden sich z. B. zur Messung von Stoffmengenkonzentrationen mit dem Smartphone mittlerweile viele unterrichtspraktische Ansätze (Staacks et al., 2018; Thyssen et al., 2020). Ein zeitökonomisches Arbeiten im Rahmen dieser Ansätze kann sich aus diversen Gründen schwierig gestalten. Zum einen werden für die Messungen nicht wissenschaftliche Apps verwendet, deren eigentlicher Zweck nicht die Stoffmengenkonzentrationsbestimmung ist, sondern das Auslesen von Farbwerten aus einer Bilddatei, weshalb zum anderen auch für die Berechnung der Stoffmengenkonzentration aus den Farbwerten weitere Schritte notwendig sind. Bislang gibt es noch keine schulisch etablierten Tools, die eine direkte Messung im Sinne eines Messinstrumentes erlauben. Auch ein kooperatives und kollaboratives Arbeiten ist mit bisherigen Tools nur mühsam umsetzbar, da die Apps nicht auf allen Endgeräten betrieben werden können, sich zum Teil zwischen den Betriebssystemen unterscheiden (oder erst gar nicht vorhanden sind) und auch nicht an Systeme mit kollaborativen bzw. kooperativen Funktionalitäten angebunden sind.

Ein Ansatz, diese Lücke zu füllen, ist die Entwicklung webbasierter Messinstrumente und der kollaborativen / kooperativen Plattform LabBook, um Funktionalitäten für Messwerterfassung, Auswertung sowie Kommunikation und Koordination in einer Umgebung zu verbinden. LabBook ist ein von der RPTU am Standort Kaiserslautern in Kooperation mit dem Teens' Lab der BASF am Standort Ludwigshafen entwickeltes webbasiertes Laborbuch, welches zur Dokumentation, Auswertung und für viele weitere Tätigkeiten im (Schul-)Unterricht und Schülerlaboren eingesetzt werden soll. Ziel dabei ist es nicht, ein allumfassendes Tool mit möglichst vielen Funktionen zu entwickeln, sondern eine Anwendung für den Schul- oder Hochschulunterricht bereitzustellen, die aus didaktischer und methodischer Sicht auf bestimmte Zielsetzungen zugeschnitten wurde. Das LabBook verfügt über eine Programmschnittstelle zu

bereits entwickelten webbasierten Messinstrumenten, welche eine zentrale Sammlung und Auswertung von Daten erlaubt. Dadurch werden Daten nach der Erfassung nicht nur schnell bereitgestellt und an das LabBook übertragen, sondern können im Sinne der Kollaboration und Kooperation dort direkt aggregiert werden. Über Funktionalitäten eines digitalen Whiteboards können ins LabBook transferierte oder dort angelegte Elemente weiterverarbeitet, arrangiert und in Beziehung gesetzt werden. Alle Elemente und Objekte können kommentiert und mit Mitschüler*innen ausgetauscht werden. Die Mess-Apps selbst sind dahingehend zeit- und nutzungsoptimiert, dass sie ausschließlich für die Messung entwickelt wurden, keine weiteren Tools zur Berechnung von Messwerten aus den Farbwerten benötigen und die Ergebnisse direkt als CSV-Datei bzw. für das LabBook bereitstellen.

Digitale Messwerterfassung und Datenauswertung

Der Einsatz von LabBook kann an einem unterrichtspraktischen Beispiel verdeutlicht werden. In einem Einsatzkonzept wurde im Themenfeld der Enzymatik die pH-Wert-abhängige Enzymaktivität der Alpha-Amylase untersucht. Die Schüler*innen hatten zur Aufgabe, in Gruppen den bereits theoretisch erarbeiteten Zusammenhang zwischen pH-Wert und Enzymaktivität experimentell zu untersuchen, d. h. die als Hypothese entsprechend der Theorie zu erwartende Optimumskurve der Enzymaktivität zu ermitteln, wobei das pH-Optimum unbekannt ist und durch das Experiment eingegrenzt werden soll. Hierzu werden Stärkelösungen einer Konzentration von 0,1 g/l mit Pufferlösungen auf verschiedene pH-Werte eingestellt und die Enzymaktivität indirekt über die Konzentrationsabnahme der Stärke beim Verdau gemessen. Das Enzym kann die Stärke aufgrund pH-bedingter Konformationsänderungen bei verschiedenen pH-Werten unterschiedlich effektiv abbauen, weshalb die Differenz der Ausgangskonzentration zur Endkonzentration ein Maß für die Enzymaktivität ist.

Zur Initialisierung des Stärkeabbaus wird zu den Stärkelösungen mit unterschiedlichen pH-Werten die Amylase-Lösung zugegeben. Um einen Abbau in gleichen Zeitspannen zu gewährleisten und da eine gleichzeitige Zugabe der Amylase-Lösung nicht umsetzbar war, wird die Amylase-Lösung im Abstand von 30 Sekunden zu den einzelnen Ansätzen und die Reaktion nach gleicher Reaktionszeit durch Zugabe einer Kombination aus Salzsäure und Lugolscher Lösung gestoppt, wobei sowohl das Enzym denaturiert als auch die verbliebene Stärke „angefärbt“ wird. Mit der auf Komplexbildung beruhenden Blaufärbung geht eine Absorption im sichtbaren Bereich des Lichtspektrums einher, welche vom Kamerasensor detektiert werden und so mit der Handyphotometer Web-App gemessen werden kann. Die anhand der Absorption von den einzelnen Gruppen gemessenen Konzentrationen werden direkt in das LabBook übertragen, wo alle Datensätze gesammelt und ausgewertet werden können. Wie in Abbildung 1 zu erkennen, ist die Hypothese mit den Messergebnissen aus Replikaten der verschiedenen Gruppen verifizierbar. Es lässt sich kein genaues Optimum messen, jedoch sind der Optimumsbereich sowie der qualitative Verlauf der Optimumskurve gut erkennbar.

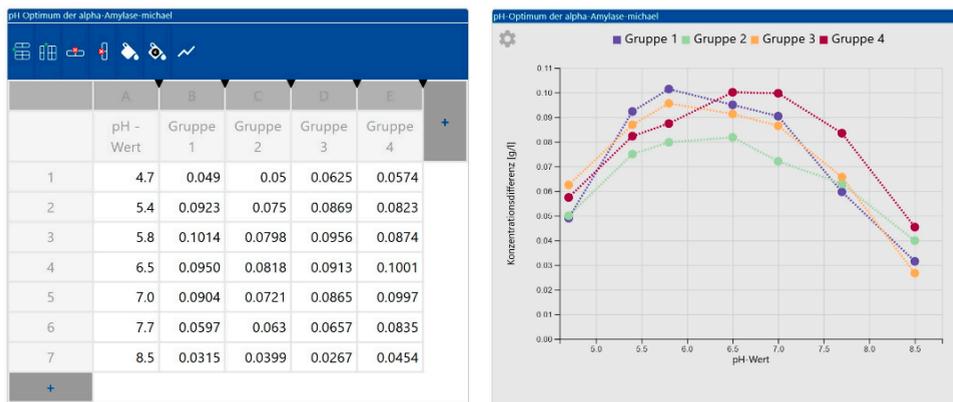


Abbildung 1: Ergebnisübersicht im LabBook mit gesammelten und ausgewerteten Daten der Stoffmengenkonzentrationsmessung.

In der Unterrichtspraxis zeigt sich, dass das LabBook vielversprechende Ansätze liefert, Unterricht mit digitalen Medien neu zu denken und Aufgaben neu zu gestalten, um hierdurch auch höhere Ebenen des SAMR-Modells zu erreichen. Hierzu wurde das zuvor beschriebene Unterrichtsbeispiel mit Schüler*innen ($n = 170$) durchgeführt. Weiter zeigte sich, dass mittels der Kombination von webbasiertem Handyphotometer mit kollaborativen Funktionen des LabBooks eine zeitökonomische Messung, Aggregation der Daten und ihre Auswertung möglich ist. Hierzu wurden von Schüler*innen gemessene Daten ($n = 416$) mit unter Laborbedingungen gemessenen Daten verglichen. Durch den Einsatz von LabBook war es außerdem möglich, kommunikative Anteile der Stunde durch die Verwendung der Kommentarfunktion mit der Erarbeitung in einem Workflow zusammenzuführen. Neben Ergebnissen der Stunde können dabei auch fachliche oder inhaltliche Probleme erfasst und evaluiert werden, welche direkt im Anschluss in Verbindung mit dem Stundenergebnis gesichert werden, was mit bisherigen Werkzeugen nur fragmentiert über verschiedene Software möglich ist.

Literatur

- Baumgarten, C., Brenner, A., Engelke, D., Stöckler, S., Thiel, C., Thoma, A. & Zimmermann, H.-D. (2022). Perspektiven auf das Konzept der digitalgestützten Zusammenarbeit. In A. Cloots (Hrsg.), *Hybride Arbeitsgestaltung* (S. 143–177). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Kergel, D. (2023). *Medienpädagogik. essentials plus online course*. Springer VS. <https://link.springer.com/978-3-658-42037-6>
- Kultusministerkonferenz (2016). Bildung in der digitalen Welt. *Strategie der Kultusministerkonferenz*.
- Kultusministerkonferenz (2019). DigitalPakt Schule 2019 bis 2024. *Verwaltungsvereinbarung*. https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/Themen/Digitale-Welt/VV_DigitalPakt-Schule.pdf
- lpb – Baden-Württemberg (Hrsg.). (06.2021). *Folgen von Corona | Digitalisiert Corona die Schulen?* <https://www.lpb-bw.de/schule-und-corona#c76373>

- McGuire, H. & Paunov, C. (2022). *Towards a new vision of innovation through COVID-19? Vorab-Onlinepublikation*. <https://doi.org/10.1787/15475840-en>
- Puentedura, R. R. (2006). *Transformation, Technology, and Education*. <http://hippasus.com/resources/tte/>
- Sichma, A. & Wolf, D. (2023). *Das deutsche Schulbarometer: Aktuelle Herausforderungen aus Sicht der Lehrkräfte. Ergebnisse einer Befragung von Lehrkräften allgemein- und berufsbildender Schulen*. Robert Bosch Stiftung.
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H. & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics Education*, 53(4), 45009.
- Stevens, J. B. (2019, 5. August). *Erasing the Line | SAMR Model*. <http://www.jaclynbstevens.com/erasing-the-line--samr-model.html>
- Teufel, S., Sauter, C., Mühlherr, T. & Bauknecht, K. (1995). *Computerunterstützung für die Gruppenarbeit*. Addison-Wesley.
- Thyssen, C., Huwer, J. & Krause, M. (2020). Digital Devices als Experimentierwerkzeug: Potenziale digitalen Experimentierens mit Tablet und Smartphone. *Unterricht Biologie: Zeitschrift für die Sekundarstufe* (451), 44–47. <https://www.friedrich-verlag.de/biologie/unterricht-biologie/>

Keywords: Digitalisierung, kooperatives Arbeiten, kollaboratives Arbeiten, digitale Datenerfassung, digitale Datenauswertung

VR-Lernsettings zum Thema Verbrennungsreaktionen

Ein interdisziplinäres Lehrprojekt zur Produktion von VR-Räumen durch Lehramtsstudierende

1 Einleitung

Angehende Lehrkräfte sollen bereits möglichst früh im Studium in ihren digitalisierungsbezogenen Kompetenzen gefördert werden, damit sie nachher selbst über ebendiese verfügen und sie wiederum ihren Lerngruppen vermitteln können (Kultusministerkonferenz (KMK), 2017). Mit diesem Fokus sind in den letzten Jahren in der Hochschullehre viele neue Konzepte, Formate und Angebote für (Lehramts-)Studierende entwickelt worden, die gezielt die Förderung der Medienkompetenz mit fachlichen Kompetenzen verzahnen (Mrohs et al., 2023). Allerdings wird nur selten eine interdisziplinäre, kooperative Perspektive in den Lehrveranstaltungen angestrebt, wobei für die Medienkompetenz auch mediendidaktische und technisch-instrumentelle Grundlagen zentral sind (Baacke, 1997).

Mit Förderung der Stiftung Innovation in der Hochschullehre im Rahmen von „Freiraum 2022“ wurde an der Bergischen Universität Wuppertal das Projekt „Forschungsprojekt-VR“ entwickelt, in dem ein fächerübergreifender und interdisziplinärer Lehr-Lernansatz umgesetzt wurde. Zielgruppe des Lehrprojekts waren Lehramtsstudierende des Fachs Chemie und Sachunterricht, wobei aus Interesse an dem Thema auch Lehramtsstudierende anderer Fächer teilnahmen. Das Projekt wurde iterativ über vier Semester durch einen Pre-/Post-Fragebogen und Studierendeninterviews evaluiert, um festzustellen, inwiefern die Lernziele von den Studierenden erreicht wurden und um weitere Optimierungen der Seminarkonzeption/-inhalte vornehmen zu können (Zeller et al., 2025).

2 Projekt und Projektziele

Das Projekt „Forschungsprojekt-VR: Konzeption, Produktion und Erprobung“ wurde Anfang 2022 entwickelt und seit WiSe 2022/23 semesterweise mit insgesamt 31 Studierenden durchgeführt. Die beteiligten Akteure sind die Institute „Lehren und Lernen mit digitalen Medien“, „Technologien und Management der digitalen Transformation“ und „Didaktik der Chemie“ der Bergischen Universität Wuppertal. Durch die Produktion eigener VR-Lernsettings mithilfe des Autorentools *figments.NRW* soll die Medienproduktionskompetenz angehender Lehrkräfte und gleichzeitig auch die Kompetenz zur digitalen Transformation im Kontext einer zukunftsorientierten Technologie gefördert werden (Kultusministerkonferenz (KMK), 2017; Caena & Redecker, 2019). Für die Gestaltung bekommen die Studierendengruppen neben den techni-

schen Grundlagen eine Einführung in die relevanten fachlichen, fachdidaktischen und mediendidaktischen Inhalte, um einen interdisziplinären Zugang zu gewährleisten. Entscheidend ist dabei, dass die Gruppen aus Studierenden verschiedener Fächer zusammengesetzt sind und so auch in Austausch mit der fachlichen Expertise der verschiedenen Domänen ein interdisziplinärer Diskurs über ihr eigenes Projektziel entstehen kann.

Die inhaltliche Grundlage des VR-Lernsettings ist ein Bereich des im Chemieunterricht verbindlichen Themas „Verbrennungen“. Das Setting soll eine virtuelle Durchführung der Verbrennung von verschiedenen Stoffen in einer Sauerstoff- bzw. Kohlenstoffdioxid-Atmosphäre beinhalten sowie einen Blick auf die Reaktionsabläufe auf der Teilchenebene ermöglichen. Bei der Umsetzung sollen die Studiengruppen sowohl fachliche als auch fach- und mediendidaktische Kriterien berücksichtigen, die in den ersten Sitzungen vermittelt wurden (Zeller et al., 2024). Nach der anschließenden praktischen Erprobung des VR-Settings mit mehreren Schulklassen reflektieren Studierende ihr eigenes Medienprodukt und diskutieren eine Übertragbarkeit auf ihre zukünftige Lehrtätigkeit.

3 Didaktische Überlegungen zur Wahl des VR-Inhalts

3.1 Präkonzepte zum Thema Verbrennungsreaktionen

Das VR-Lernsetting sollte rund um eine klassische Versuchsreihe aus dem Chemie-Anfangsunterricht entstehen, die Verbrennung von Eisen, Kohle und Magnesium in einer Sauerstoff- bzw. einer Kohlenstoffdioxid-Atmosphäre. Dabei hat die virtuelle Umgebung nicht das Ziel, dass ein reales Experimentieren im Klassenraum dadurch ersetzt werden soll. Vielmehr besteht hier die Möglichkeit, gefahrlos auch solche Experimente durchzuführen, die sich real als Schülerexperiment verbieten: In diesem Fall die Verbrennung von Magnesium. Gleichzeitig bietet die Gestaltung eines virtuellen Raums die Möglichkeit, immersiv die Reaktionsabläufe zusätzlich auf der Teilchenebene zu beobachten. Durch den Wechsel auf die Teilchenebene nach dem virtuellen Experimentieren wird somit ohne Medienbruch eine weitere Perspektive auf die fachliche Ebene ermöglicht.

Insbesondere, da das Thema Verbrennungsreaktionen mit zahlreichen lernhinderlichen Präkonzepten verbunden ist, könnte ein dazu passendes VR-Lernsetting einen neuen Zugang zum Verständnis bieten. Eine klassische Vorstellung ist bspw., dass es sich bei der Verbrennung um einen unwiderruflichen Vernichtungsprozess handelt (Barke, 2006). Eine Herausforderung für das Verständnis der Prozesse ist, dass farblose Gase von Lernenden schlecht beobachtet werden können und somit nicht als Beteiligte der Reaktion betrachtet werden (Barke, 2006; Hundertmark & Schanze, 2017). Genau diesen Präkonzepten kann mit den gewählten Versuchen und der fachlichen Erschließung der Reaktionsabläufe auf der Teilchenebene begegnet werden. Zunächst sind die Gase, in die die brennenden Stoffe verbracht werden, optisch nicht sichtbar und daher auch nicht unterscheidbar. Des Weiteren entsteht bei der Reaktion von

Kohle mit Sauerstoff das farblose Gas Kohlenstoffdioxid, sodass bei der Beobachtung des Versuchs die Kohle beim Verbrennen optisch „verschwindet“ und kein neu entstandener Stoff erkennbar ist. Mit dem Übergang von der makroskopischen auf die (sub-)mikroskopische Ebene werden die Gase als Reaktionspartner sichtbar und dadurch die Reaktionen zwischen den Edukten nachvollziehbar. Ebenso wird deutlich, dass keine Vernichtung von Materie stattfindet, sondern die Reaktionspartner zu neuen Verbindungen umgewandelt werden. Im Gegensatz zu anderen im Chemieunterricht häufig verwendeten Medien wie Abbildungen, Videos oder Animationen ist durch die VR-Brille ein immersives Eintauchen in die submikroskopische Ebene möglich. Die Lernenden befinden sich virtuell mit den Teilchen in einem dreidimensionalen Raum und können sich auf die Reaktionsabläufe konzentrieren.

3.2 Didaktische und technische Reduktionen der fachlichen Hintergründe

Im Vorfeld der ersten Durchführung des Projekts im WiSe 22/23 wurden die dreidimensionalen Animationen der Teilchenebene bereits vorgefertigt, da eine eigene Modellierung der Teilchenebene ohne Vorerfahrung mit 3D-Grafiksoftware, wie Blender, durch die Studierenden zeitlich zu umfangreich gewesen wäre. Aus diesem Grund wurden im Vorfeld Storyboards von der Didaktik der Chemie angefertigt, an denen sich die Mitarbeitenden des Instituts Technologien und Management der digitalen Transformation für die technische Umsetzung orientieren konnten (Zeller et al., 2024). Allerdings waren einige Elemente, wie die Schwingungen der einzelnen Atome um ihre Ruhelage auf den Gitterplätzen im Feststoff, technisch und zeitlich nicht so umsetzbar, wie sie im Vorfeld diskutiert worden waren. An dem Lehrplan Chemie des Landes NRW (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019) orientiert sind die Zielgruppe der entwickelten VR-Lernsettings Schüler*innen der 7. Klassen. Daher musste eine didaktische Reduktion der fachlichen Inhalte erfolgen: So wurde beispielsweise auf den Übergang von Elektronen verzichtet und dadurch auch die sich im Laufe einer Reaktion verändernden Radien oder Ladungen der Teilchen unberücksichtigt gelassen.

4 Die VR-Lernsettings zum Thema Verbrennungsreaktionen

Die Umsetzung der VR-Lernsettings erfolgte mit dem Autorentool *figments.NRW*. Dies ist ein Open-Source-VR-Autorenwerkzeug, das für den Einsatz in der Hochschullehre entwickelt wurde (Figments.nrw, 2024). Der Fokus in der Entwicklung lag insbesondere darauf, die Erstellung der VR-Lernsettings, den Einsatz von VR in der Lehre und das Teilen der fertigen Produkte so einfach und benutzerfreundlich wie möglich zu gestalten. Die Erstellung der Inhalte ist durch das „What-you-see-is-what-you-get“-Prinzip so umgesetzt, dass eine Bedienung ohne Vorkenntnisse im Programmieren möglich ist (Müser & Fehling, 2022).

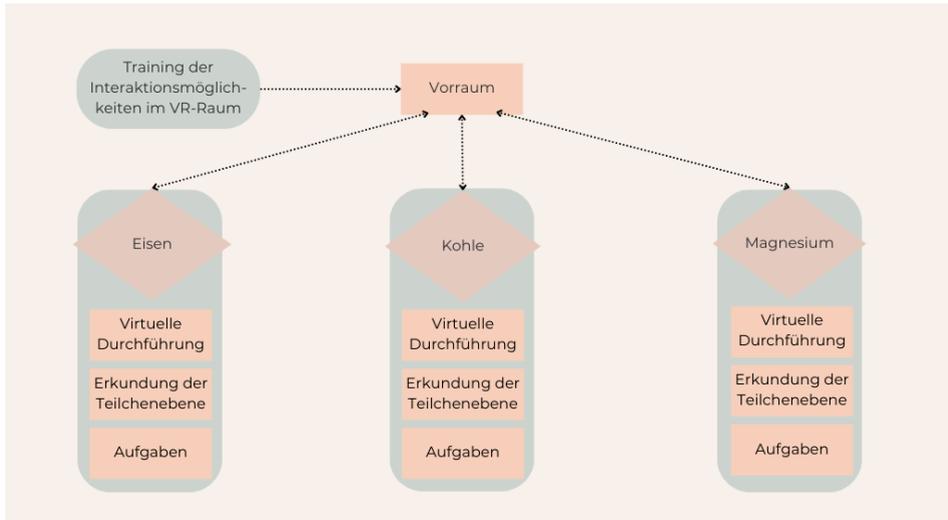


Abbildung 1: Aufbau des für die Erprobung vorbereiteten VR-Raums mit den VR-Lernsettings der drei Studierendengruppen

Für die Gestaltung der VR-Lernsettings wurde den Studierenden ab dem 2. Durchlauf des Seminars bereits ein fertig eingerichtetes 3D-Labor und die zu den Versuchen zugehörigen 3D-Objekte (z. B. Brenner, Tiegelzange, Standzylinder) zur Verfügung gestellt. Die Gruppen bekamen jeweils einen Stoff (Eisen, Kohle oder Magnesium) zugewiesen und mussten dann das Experiment auf zwei Ebenen in einem fachdidaktisch durchdachten VR-Lernsetting umsetzen. Um eine fachliche Auswertung des Experiments zu ermöglichen, mussten didaktische Überlegungen zu Begleittexten, Aufgabenformaten oder Hilfen erfolgen. Die Studienergebnisse wurden anschließend durch Projektmitarbeitende so aufbereitet, dass die einzelnen Lernsettings von den Lernenden in einem gemeinsamen Vorraum angesteuert werden konnten. Dem Eintritt in den Vorraum war eine kurze Trainingseinheit zur Steuerung im VR-Raum mit den Controllern vorgeschaltet, durch die die Lernenden auf das virtuelle Experimentieren mit den ihnen unbekanntenen Funktionen der VR-Brille vorbereitet werden sollten.

5 Ergebnisse des Projekts FoPro-VR

Im Sommersemester 2024 wurde das Projekt FoPro-VR ein viertes Mal durchgeführt, wobei *figments.nrw* erstmalig in vollem Umfang von den Studierenden genutzt werden konnte. Im Anschluss daran wurden die Ergebnisse der Evaluation und die Erfahrungen aus vier Semestern in einem Leitfaden zum Einsatz von VR in der Lehre umgesetzt (Zeller et al., 2025). Neben Hinweisen zum technischen und methodischen Einsatz von VR wird auf der Projektwebsite die Produktion eigener VR-Inhalte mithilfe der Software *figments.NRW* vorgestellt. Die für das Projekt gestalteten 3D-Objekte werden dort ebenfalls im Sinne einer Bibliothek veröffentlicht und können dann

von Lehrkräften oder Dozierenden für eigene Materialien weiterverwendet werden. Weitere Informationen dazu sind auf der Website des Projekts erhältlich (BUW, 2025).

Literatur

- Baacke, D. (1997). *Medienpädagogik*. Niemeyer.
- Barke, H.-D. (2006): *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer. <http://swbplus.bsz-bw.de/bsz264355822cov.htm>.
- BUW (2025). Website des Forschungsprojekts-VR. <https://foprovr.uni-wuppertal.de/de/>, zuletzt geprüft am 13.11.2024.
- Caena, F. & Redecker, C. (2019). Aligning teacher competence frameworks to 21st century challenges: The case for the European Digital Competence Framework for Educators (DigCompEdu). *Eur J Educ*, 54(3), 356–369. <https://doi.org/10.1111/ejed.12345>.
- Figments.nrw (2024). Immersive Welten für die Hochschulbildung. <https://figments.nrw.de/figments-de/>, zuletzt geprüft am 13.11.2024.
- Hundertmark, S. & Schanze, S. (2017). Was wird bei Verbrennungen vernichtet? Von einem Alltagsphänomen zum Konzept der chemischen Reaktion. *NiU-C* 25, (159), 19–25.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2017). *Kompetenzen in der digitalen Welt. Kompetenzbereiche*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 08.12.2016. Stand: 09.11.2017. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2017/KMK_Kompetenzen_in_der_digitalen_Welt_neu_26.07.2017.html.
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2019). *Chemie. Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/198/3415_Chemie.pdf.
- Mrohs, L., Hess, M., Lindner, K., Schlüter, J. & Overhage, S. (Hrsg.) (2023). *Digitalisierung in der Hochschullehre. Perspektiven und Gestaltungsoptionen*. University of Bamberg Press. <https://directory.doabooks.org/handle/20.500.12854/134990>.
- Müser, S. & Fehling, C. D. (2022). AR/VR.nrw. Augmented und Virtual Reality in der Hochschullehre. *HMD*, 59, 122–141.
- Zeller, D., Bohrmann-Linde, C., Mack, N., Diekmann, C. & Schrader, C. (2024). Virtual Reality für den Chemieunterricht. *Nachrichten aus der Chemie*, 72(6), 15–20. <https://doi.org/10.1002/nadc.20244142913>.
- Zeller, D., Bohrmann-Linde, C., Mack, N., Schrader, C. (2025). Produktion eigener VR-Lernsettings im Projekt FoPro-VR. Ein interdisziplinärer Lehransatz für die Lehramtsausbildung. In L. Mrohs, J. Franz, D. Herrmann, K. Lindner & T. Staake (Hrsg.), *Digitales Lehren und Lernen an der Hochschule. Strategien – Bedingungen – Umsetzung* (S. 191–204). Transcript Verlag.

Keywords: Virtual Reality, Verbrennungsreaktionen, Hochschullehre, Digitale Kompetenz, Teilchenebene, Interdisziplinarität

CHAMP – chemische Animationen mit PowerPoint

Vorstellung eines Fortbildungskonzeptes

1 Einleitung

Als Lehrkraft setzt man sich täglich mit Verständnisschwierigkeiten der Schüler*innen auseinander. Besonders das Fach Chemie mit den verschiedenen Repräsentationsebenen (Johnstone, 1993) stellt für die Lernenden eine Herausforderung dar. Vor allem das Verstehen von Erklärungen auf der submikroskopischen Ebene ist sowohl ein wichtiges Ziel des Chemieunterrichts als auch ein großes Problemfeld für Schüler*innen (Abels et al., 2018). Vorgänge auf dieser Ebene sind dynamische Prozesse. Diese werden mit verschiedensten Modellen im Unterricht veranschaulicht, wobei plastische 3D-Modelle oder Abbildungen in Lehrbüchern diese Dynamik nicht adäquat abbilden können (Lowe & Schnotz, 2014). Somit rücken Animationen als dynamische Visualisierungsmethoden in den Fokus von Forschenden (Unsworth, 2020). Im Folgenden wird die Konzeption einer Fortbildung vorgestellt, die Lehrkräfte zur eigenständigen Animationserstellung professionalisieren soll. Dieses Projekt ist Teil des Kompetenzverbundes lernen:digital. Der dazugehörige Projektverbund DigiProMIN beschäftigt sich mit der forschungsbasierten Entwicklung von Fort- und Weiterbildungsangeboten für digitalen und digital gestützten Unterricht in den Fächern Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Sachunterricht (*DigiProMIN*, 2024).

2 Übersicht über das Fortbildungskonzept

Die Fortbildung wird in verschiedenen Formaten angeboten. Hier wird beispielhaft das ganztägige Präsenzformat (Abb. 1) vorgestellt. Zu Beginn der Veranstaltung wird eine Befragung durchgeführt, in der Vorerfahrungen mit der Erstellung von Animationen und Präsentationssoftware sowie weitere Einflussfaktoren auf die Akzeptanz von PowerPoint als Animationstool erfasst werden. Im Anschluss folgt ein Input, der circa 45 Minuten in Anspruch nimmt und wichtige Aspekte aus den Bereichen Wahrnehmungspsychologie und Fachdidaktik aufgreift. Dabei stehen theoriegeleitete Gestaltungskriterien im Zentrum. Nach diesem frontal angeleiteten Setting liegt der Schwerpunkt auf der eigenständigen Arbeit der Lehrkräfte an diversen Animationsaufgaben, die jeweils im Anschluss gemeinsam reflektiert werden. Zum Abschluss wird gemeinsam über die Potentiale von PowerPoint zur Animationserstellung diskutiert sowie eine abschließende Erhebung der Akzeptanz gegenüber dem Tool durchführt. Die Akzeptanzuntersuchung basiert dabei auf dem UTAUT-Modell (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology) nach Venkatesh et al. (2003).

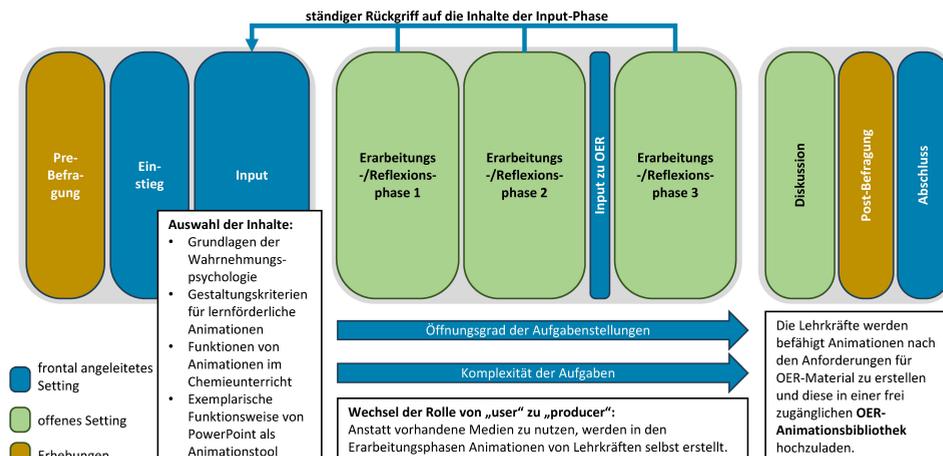


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Fortbildungskonzeptes

2.1 Ziele der Konzeption

Bei der Konzeption wurde ein besonderes Augenmerk auf folgende Aspekte gelegt, deren Erfüllung im Folgenden genauer beschrieben wird:

- Beachtung von regulatorischen Vorgaben
- lernförderliches und adressatengerechtes Grundkonzept für Lehrkräfte
- Modelle zu digitalen Kompetenzen von Lehrkräften als Ausgangspunkt für gezielten Kompetenzerwerb
- Einblick in interdisziplinäre Forschungsergebnisse zur Animationsgestaltung

2.2 Regulatorische Vorgaben

Um eine Migration des Fortbildungsangebotes zu Landesinstituten zu ermöglichen, ist die Beachtung einiger Aspekte notwendig. Als Grundlage wurden die bildungswissenschaftlichen Standards der zweiten Phase der Lehrerbildung (KMK, 2019) genutzt, die verschiedenste Bereiche in der Ausbildung definieren. Im Kompetenzbereich Unterrichten wird Folgendes beschrieben:

„Die Absolventinnen und Absolventen [der zweiten Phase der Lehrerbildung] [...] gestalten Unterrichtsmaterialien sowie analoge und digitale Medien selbstständig und lernförderlich.“ (KMK, 2019, S. 8)

Dieser Standard umreißt die selbstständige Erstellung von digitalen Medien unter besonderer Berücksichtigung didaktischer und lerntheoretischer Aspekte und stellt den Kern des beschriebenen Fortbildungsangebotes dar. Ebenfalls ist von Bedeutung, dass verschiedene Fortbildungsformate geplant sind, um die Akzeptanz von Lehrkräften und Landesinstituten zu sichern und eine Adaption an jeweilige Bedarfe zu ermögli-

chen. So sind ein- bis zweistündige Online-Formate und drei- bis sechsstündige Präsenzformate vorgesehen.

Außerdem gilt es bereits in der Konzeption Hinderungsgründe für die Teilnahme an Fortbildungen zu beachten, um ein Angebot für Lehrkräfte nachhaltig attraktiv zu gestalten. So sollten bereits bei der Bewerbung die Bedürfnisse von Lehrkräften ernst genommen und geeignet in den Fokus gestellt werden. Ebenso sollte ein Input kurz und qualitativ hochwertig gestaltet sein, um den Schwerpunkt auf die Anwendung zu legen. Dabei sollte stets klar werden, wie die hohe Belastung von Lehrkräften durch die vermittelten Inhalte reduziert werden könnte (vgl. Richter et al., 2018).

2.3 Grundkonzept und Auswahl des Tools

Um die Anwendbarkeit des Gelernten in der Praxis zu erhöhen, wurde die Veranstaltung grundlegend nach dem Konzept des „situieren Lernens“ (Schmohl, 2021) konzipiert. Somit wird an authentischen Unterrichtssituationen und Beispielen mit einem hohen Maß an Praxisorientierung gearbeitet. Außerdem werden Probleme des Wissenstransfers sowie Schwierigkeiten in der Praxis diskutiert, damit die erworbenen Kompetenzen auf eine Vielzahl von Unterrichtssituationen angewendet werden können (vgl. Schmohl, 2021).

PowerPoint wurde als Animationstool ausgewählt, da es auf vielen Geräten von Lehrkräften bereits installiert ist, in der Regel Vorerfahrungen mit diesem Programm vorhanden sind und der Funktionsumfang einen niedrigschwelligen Einstieg in die Erstellung von zweidimensionalen Animationen ermöglicht (Banerji, 2017). Viele der in PowerPoint genutzten Funktionen zur Animationserstellung sind aber auch in anderen Präsentationsprogrammen (z. B. Keynote, Libre Office) verfügbar.

2.4 Nutzung von Modellen zu digitalen Kompetenzen von Lehrkräften

In der Konzeption wurden drei Modelle zu digitalen Kompetenzen von Lehrkräften angewendet. Das DPaCK-Modell beschreibt digitalitätsbezogene, pädagogische und fachliche Kompetenzen von Lehrkräften (Huwer et al., 2019). Um einen Überblick über die Adressierung dieser Kompetenzbereiche zu erhalten, wurde das Modell zur Einordnung der operationalisierten Lernziele genutzt (Abb. 2). Die „digitalen Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften“ (DiKoLAN) (Thoms et al., 2022) wurden genutzt, um Voraussetzungen für die Fortbildung und adressierte Teilkompetenzen zu strukturieren. Beispielsweise wird für den Kompetenzbereich „Simulation und

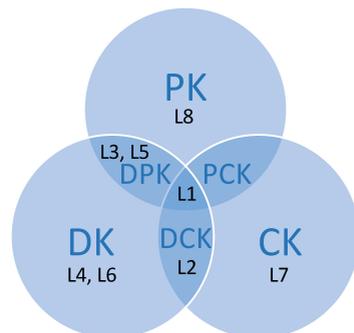


Abbildung 2:
DPaCK-Modell nach Huwer et al.
(2019) mit Lernzielen der Fortbildung

Modellierung“ lediglich vorausgesetzt, dass Lehrkräfte Animationen auf Eignung für den eigenen Unterricht und die Lerngruppe überprüfen können. Durch Teilnahme an der Fortbildung werden die Teilnehmenden befähigt, Animationen zu erstellen und anzupassen sowie Grenzen und Potentiale von PowerPoint als Animationstool zu beschreiben (vgl. Becker et al., 2020). Außerdem wurde der „europäische Rahmen für die digitale Kompetenz Lehrender“ (DigCompEdu) (Redecker, 2021) ähnlich angewendet, um Voraussetzungen und angestrebte Kompetenzniveaus (von A1 – Einsteiger*innen bis C2 – Vorreiter*innen – ähnlich der Niveaustufen für Sprachen (Schmitz, 2001)) zu strukturieren. Diese Analyse lässt den Schluss zu, dass die Voraussetzungen für das Fortbildungsangebot niedrig sind, da lediglich nach dem Kompetenzprogressionsmodell die Niveaustufen A1 oder A2 vorausgesetzt werden (Abb. 3). Somit eignet sich das Fortbildungsangebot für die meisten Lehrkräfte unabhängig ihrer digitalen Kompetenzen. Das angestrebte Kompetenzniveau, sofern es noch nicht erreicht ist, lässt sich jedoch nur durch weitere praktische Anwendung über den Rahmen der Fortbildung hinaus erreichen.

Einordnung in DigCompEdu:	Kompetenzprogression (exemplarisch)					
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
1. Berufliches Engagement	1.2 berufliche Zusammenarbeit					
2. Digitale Ressourcen	2.2 Erstellen/Anpassen					
3. Lehren und Lernen	3.1 Lehren					
4. Evaluation	4.1 Lernstand erheben					
5. Lernerorientierung	5.3 Aktive Einbindung					
6. Förderung digitaler Kompetenz der Lernenden	6.3 Erstellung dig. Inhalte					

Abbildung 3: Beispielhafte Abbildung von Teilkompetenzen des DigCompEdu-Rahmens mit vorausgesetzten und angestrebten Kompetenzniveaus

2.5 Einblick in interdisziplinäre Forschungsergebnisse zur Animationsgestaltung

Um Animationen optimal für den Wissenserwerb von Lernenden zu gestalten, bedarf es der Berücksichtigung mehrerer Forschungsbereiche. Grundlegend ist die Lehr-Lernforschung und die Chemiedidaktik, die Kriterien wie cognitive load, alternative Vorstellungen und Sequenzierung von Inhalten thematisiert. Außerdem müssen Wahrnehmungsgesetze sowie empirisch belegte Wahrnehmungsprinzipien und Modelle aus dem Forschungsbereich Wahrnehmungspsychologie beachtet werden. Als übergeordnete Wissenschaftsdisziplin ist die Neurowissenschaft zu sehen, die anhand der Beschreibung des physiologischen Aufbaus des Gehirns und der Sinnesorgane und der Aufklärung kortikaler Verarbeitungspfade Rückschlüsse auf optimale Mediengestaltung zulässt. Das Grundlagenwerk „Neurowissenschaften“ (Bear et al., 2018) bie-

tet einen ersten Überblick zu dieser Thematik. Die Synthese dieser Disziplinen mündet in Gestaltungskriterien für Animationen im Chemieunterricht.

3 Ausblick

Die Konzeption wurde im April 2024 mit zwei Studierendengruppen in einem vierstündigen und dreistündigen Präsenzformat pilotiert und zeigte eine gute Umsetzbarkeit in der Praxis. Nach erneuter Überarbeitung und Anpassung des Fortbildungsangebotes wurden reguläre Veranstaltungen mit Lehrkräften im August 2024 durchgeführt.

Literatur

- Abels, S., Koliander, B., Plotz, T. & Heidinger, C. (2018). Neon ist ein Gas und hat zwei Ringe – Zur Trennung der makroskopischen und submikroskopischen Ebene des Periodensystems. *CHEMKON*, 25(6), 238–242. <https://doi.org/10.1002/ckon.201800063>
- Banerji, A. (2017). Gestaltung digitaler Lernumgebungen mit PowerPoint und PREZI: Ein Praxisbericht aus der Lehrerbildung. *CHEMKON*, 24(2), 69–72. <https://doi.org/10.1002/ckon.201710296>
- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2018). *Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie* (4. Auflage). Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57263-4>
- Becker, S., Meßinger-Koppelt, J. & Thyssen, C. (2020). *Digitale Basiskompetenzen. Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. Joachim Herz Stiftung. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/JHS_Digitale_Basiskompetenzen_web_srgb.pdf
- DigiProMIN – Kompetenzzentrum MINT | lernen:digital (2024). Kompetenzverbund lernen:digital. <https://lernen.digital/verbuende/digipromin/>
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU Journal / Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts*, 72(5), 358–364.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>
- KMK. (2019). Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften. *Beschluss der Kultusministerkonferenz*, 14. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung-Bildungswissenschaften.pdf
- Lowe, R. K. & Schnotz, W. (2014). Animation Principles in Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 513–546). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.026>
- Redecker, C. (2021). *Europäischer Rahmen für die digitale Kompetenz Lehrender – Dig-CompEdu*. Europäische Union, Übersetzung: Goethe-Institut.
- Richter, E., Richter, D. & Marx, A. (2018). Was hindert Lehrkräfte an Fortbildungen teilzunehmen? Eine empirische Untersuchung der Teilnahmehürden von Lehrkräften.

- ten der Sekundarstufe I in Deutschland. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 21(5), 1021–1043. <https://doi.org/10.1007/s11618-018-0820-4>
- Schmitz, Dr. W. (2001). *Gemeinsamer europäischer Referenzrahmen für Sprachen: Lernen, lehren, beurteilen*. Goethe-Institut Inter Nationes. https://studienseminar.rlp.de/file-admin/user_upload/studienseminar.rlp.de/bb-nr/Europ._Referenzrahmen_Deutsch.pdf
- Schmohl, T. (2021). Situiertes Lernen. In T. Schmohl & T. Philipp (Hrsg.), *Handbuch Transdisziplinäre Didaktik* (Bd. 1, S. 301–312). Transcript.
- Thoms, L.-J., Kremser, E., von Kotzebue, L., Becker, S., Thyssen, C., Huwer, J., Bruckermann, T., Finger, A. & Meier, M. (2022). A framework for the digital competencies for teaching in science education – DiKoLAN. *Journal of Physics: Conference Series*, 2297(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2297/1/012002>
- Unsworth, L. (2020). A Multidisciplinary Perspective on Animation Design and Use in Science Education. In L. Unsworth (Hrsg.), *Learning from Animations in Science Education* (Bd. 25, S. 3–22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56047-8_1
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>

Keywords: Animationen, Digitalisierung, Lehrkräftefortbildungen

Dr. Valences Labor

Ein Escape Game für den Chemieunterricht zum Thema Säuren und Laugen

1 Einleitung:

Spielerische Konzepte haben sich als attraktive Möglichkeit zur Wissensvermittlung erwiesen und werden zunehmend in Lernumgebungen implementiert. Die rasche Weiterentwicklung digitaler und sozialer Medien eröffnet erhebliche Chancen, Gamification auf den Bereich der Wissensvermittlung auszuweiten (Jacob & Teuteberg, 2017). Gamification bezeichnet hierbei die Anwendung von Spielinhalten und Spielmechanismen auf Bildungsbereiche oder andere nicht-spielbezogene Kontexte. Durch diverse Prozesse und Aktivitäten kann eine Verbindung zwischen Lernprozessen und Spielelementen hergestellt werden (Kim et al., 2018). Im Projekt Science4Exit_{School} werden die Vorzüge von Gamification genutzt und finden Anwendung in der Erstellung von Escape Games für den Chemieunterricht. Dabei ist es für das Projekt von großem Interesse, wie Lehrkräfte diese neue Methode beurteilen und inwiefern sie Bereitschaft zeigen, Escape Games in ihren Unterricht zu integrieren. Im Weiteren wird nach der Darlegung des theoretischen Fundaments ein konkretes Escape Game zum Thema Säuren und Laugen vorgestellt, welches für den Chemieunterricht der Klassenstufe 9/10 konzipiert wurde.

2 Gamification

Wenn es darum geht, Gamification zu definieren, wird meist die Definition nach Deterding et al. (2011) herangezogen:

“Gamification” is the use of game design elements in non-game contexts.
(Deterding et al., 2011, S. 10)

Dabei zielt Gamification darauf ab, die Motivation von Anwender*innen eines Produkts oder einer Dienstleistung durch diesen spielerischen Ansatz zu steigern. Die spielerischen Elemente können dabei unterschiedlich gestaltet sein. Durch Punktevergabe für verschiedene Handlungen oder Leistungen, Highscores, verschiedene Level oder auch virtuell zu erhaltende Güter können die Grundbedürfnisse der Spielenden adressiert werden. Diese Bedürfnisse können das Verlangen nach Anerkennung und Belohnung, das Streben nach Überlegenheit in Wettkämpfen sowie der Wunsch, ein bestimmtes Image zu präsentieren und die eigene Sichtbarkeit zu steigern, sein. Sie können auch Lernprozesse fördern, indem Fachinhalte in spielerische Übungen integ-

riert werden, die individuelles und kollektives Lernen unterstützen. Dadurch entsteht ein Mehrwert für das Lernen durch interaktiven Austausch und gemeinsames Erarbeiten von Inhalten (Stieglitz, 2017). Zwischen Gamification und der voranschreitenden Digitalisierung besteht eine Wechselwirkung. Aus diesem Grund ist der digitale Aspekt in diesem Bereich nicht zu vernachlässigen (Anderie, 2018). Die Digitalisierung bewirkt ein immer höheres Aufkommen von mobilen Endgeräten. Diese können durch den Einsatz von verschiedenen Applikationen integriert werden. So lassen sich Übungseinheiten neu auf digitale Weise gestalten (Stieglitz, 2017).

3 Digitalisierungsbezogene Komponente im Projekt Science4Exit_{School}

Wie bereits in der Kultusministerkonferenz 2016 festgestellt wurde, nimmt die Digitalisierung in allen Lebensbereichen zu. Aus diesem Grund ist es basal, digitale Lernumgebungen sinnvoll in den Schulalltag zu integrieren. Dies beinhaltet, dass bereits bestehende Methoden und Unterrichtskonzepte neu ausgerichtet werden müssen (Bogedan & Kultusministerkonferenz, 2016). Diese Neuausrichtung und Eröffnung von neuen Möglichkeiten lassen sich durch den Einsatz von digitalen Medien realisieren. Der individuelle Lernprozess als auch das Autonomieerleben der Schülerinnen und Schüler kann durch verschiedene Einsatzoptionen gefördert werden (Huwer & Brünken, 2018).

Mit dem Einsatz einer Varianz digitaler Medien in den regulären Unterricht können verschiedene Absichten und Ziele verfolgt werden. So können digitale Elemente beispielsweise als Hilfsmittel, oder zur Motivationsförderung dienen. Da der Einsatz von Medien auf die Lernenden motivierend wirkt, als auch Abwechslung bietet, können die digitalen Endgeräte als produktives Werkzeug (z. B. Erstellung von Videos, Fotos, etc.) eingesetzt werden. Vor allem im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich erhalten mobile Endgeräte besondere Aufmerksamkeit. In diesen Fächern können diese das Lernerlebnis steigern, indem ein fließender Übergang vom formellen zum informellen Lernprozess unterstützt wird. So lassen sich Experimente und andere Fachinhalte im Unterricht vertiefen und anschließend zu Hause weiterbearbeiten (Galley & Mayrberger, 2018). Aus den genannten motivierenden Gründen als auch multivariablen Einsatzmöglichkeiten werden auch im Projekt Science4Exit_{School} digitale Medien genutzt, um motivierende Lernsettings zu gestalten.

4 Science4Exit_{School} – Das Projekt

Im Projekt Science4Exit_{School} werden experimentelle Escape Games für den Chemieunterricht konzipiert. Hierbei wird der Bildungsplan des Landes Baden-Württemberg als Grundlage für die zu vermittelnden Fachinhalte herangezogen. Nachdem eine Thematik für das zu erstellende Escape Game festgelegt wurde, beginnt die Sichtung und Sammlung relevanter Fachinhalte. Dazu sind passende Experimente von zentraler Bedeutung. Anschließend werden die chemischen Fachinhalte und Experimente in eine

Geschichte eingebunden, um die Fachinhalte zu transportieren. Neben der Generierung einer geeigneten Geschichte ist die Einbettung des Escape Games in eine geeignete digitale Plattform von Bedeutung. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten: z. B. Genially oder Actionbound. Für die Lehrpersonen wird ebenfalls ein passender Leitfaden zum Spiel erstellt. In diesem werden der Spielablauf, die Lösungen als auch wichtige Informationen zur Vorbereitung aufgeführt. Durch den Leitfaden ist es Lehrkräften möglich, die Escape Games unabhängig vom Projekt einzusetzen und individuell curricular zu verorten. Dies legt die Grundlage für die begleitende Forschung im Projekt. Sobald das Escape Game mit seinen Rätseln, digitalen und haptischen Anreicherungen fertiggestellt wurde, wird es mit 2–3 Lehrpersonen an Schulen pilotiert und ggf. nach anschließenden Gesprächen optimiert. Durch diesen Prozess lassen sich Schwachstellen identifizieren und beheben. Nach erfolgreichem Optimierungsprozess wird das Escape Game mit begleitendem Leitfaden an interessierte Lehrkräfte ausgegeben. Durch die begleitende Forschung im Projekt wird die Akzeptanz und Einschätzung von Lehrkräften hinsichtlich der Integration von Escape Games im Unterricht untersucht. Zentrale Fragen sind, ob Lehrkräfte bereit sind, diese Methode zu verwenden, ob sie darin einen Nutzen für die Schülerinnen und Schüler sehen, ob sie sich selbst in der Lage fühlen, Escape Games durchzuführen, und ob sie diese Methode als relevant für ihren Unterricht betrachten. Ziel der Untersuchung ist es, die Bereitschaft und das Potenzial dieser innovativen Lehrmethode aus Sicht der Lehrkräfte zu bewerten. Diese Forschungsergebnisse sollen durch Zwischenauswertungen der Fragebögen betrachtet werden, und auf dieser neuen Grundlage können weitere Schritte anvisiert und überlegt werden, um weitere wissenschaftliche Erkenntnisse daraus zu ziehen.

5 Das Escape Game Dr. Valences Labor

5.1 Voraussetzungen

In dem vorgestellten Escape Game wird die Thematik „Säuren und Laugen“ aufgegriffen und richtet sich dabei an die Klassenstufe 9/10 der Sekundarstufe I. Gespielt wird das Escape Game mithilfe der browserbasierten Website ‚Genially‘. Diese hat den Vorteil, dass Schulen auf ihren digitalen Endgeräten keine Apps für die Durchführung im Unterricht herunterladen müssen. Die einzige Voraussetzung, um das Escape Game zu spielen, besteht in einer intakten Internetverbindung. Das Thema sollte in weiten Teilen schon behandelt worden sein, da das Escape Game primär zur Festigung von Lerninhalten konzipiert wurde. Die Spielzeit umfasst ca. 60 Minuten und sollte, damit sich alle Teilnehmenden gleichermaßen einbringen können, in Kleingruppen von maximal drei Schülerinnen und Schülern gespielt werden.

5.2 Narrativ

Das Narrativ des Escape Games „Dr. Valences Labor“ handelt von einer Gruppe Schülerinnen und Schüler, welche mit ihrer Klasse einen Ausflug in das berühmte Labor des Dr. Valence unternehmen. Bei der Besichtigung kommt es allerdings zu einem Stromausfall und das Sicherheitssystem des Doktors verriegelt alle Ein- und Ausgänge des Labors. Zum Glück ist die Gruppe in Begleitung von Nina, der Assistentin des Doktors, welche sich etwas besser in den Laboren auskennt. Die Schülerinnen und Schüler versuchen im Verlauf des Spiels verschiedene Notizen und Rätsel zu lösen, die sich Dr. Valence als Merkhilfe für die Schlösser der Türen in den Laboren versteckt hat, um in das Labor 3 zu gelangen, in welchem sie das Sicherheitssystem abschalten können und aus dem Labor entkommen.

5.3 Ablauf und Inhalte

Sobald die Schülerinnen und Schüler nach der Einführung in das Labor eintreten und das Anfangsszenario erklärt wird, starten sie im ersten Labor. In Abbildung 1 ist der Übersichtsplan des Spielablaufs zu sehen. Die einzelnen Räume werden im Spiel durchlaufen.



Abbildung 1: Übersicht der Labore

5.3.1 Labor 1 – Indikatoren

Das erste Labor ist recht offen gestaltet und die Spielenden müssen über das Anklicken verschiedener Gegenstände die Hinweise eigenständig finden. So befindet sich in diesem Raum ein Zettel mit Notizen von Dr. Valence, welche das Haupträtsel dieses Raums beinhalten. So sind auf diesem Zettel 4 verschiedene Farben in einer bestimmten Reihenfolge abgebildet, mit dem Vermerk „Zugang Labor 2“, „1,2,3,4“ und „Reihenfolge“. Zusätzlich sind in diesem virtuellen Raum 4 Bechergläser versteckt die mit „1 Sprite“, „2 Leitungswasser“, „3 Seifenwasser“ und „4 Bäckerlauge“ beschriftet sind. Die Aufgabe besteht darin, alle 4 Flüssigkeiten auf ihren pH-Wert hin zu untersuchen. Anhand der Untersuchung der Flüssigkeiten mit dem Universalindikator ergeben sich die 4 verschiedenen Farben auf dem Notizzettel des Doktors: blau, rot, grün und orange. Durch die vorgegebene Anordnung der Farben lassen sich die Zahlen der Bechergläser in eine Reihenfolge bringen. Diese ergibt den Code der ersten Tür: 4123.

5.3.2 Labor 2 – Reaktion mit Metallen und Leitfähigkeit

Im nächsten Labor sind weitere Herausforderungen zu bewältigen. Wie auch im ersten Labor sind auch hier wieder verschiedene Gegenstände anklickbar. Hinter diesen verbergen sich Aufgaben, bei denen das korrekte Lösen dazu führt, dass Buchstaben freigeschaltet werden, die schließlich ein Lösungswort ergeben. Bei den Aufgaben handelt es sich unter anderem um die Durchführung von zwei Experimenten. Beim ersten Experiment werden die Reaktionen von verschiedenen Metallen (Magnesium, Kupfer und Eisen) mit Salzsäure und Natronlauge untersucht. Das zweite Experiment behandelt die Leitfähigkeit von Lösungen. Bei diesem werden drei unbekannte Flüssigkeiten auf ihre Leitfähigkeit untersucht, Salzsäure, Natronlauge und destilliertes Wasser. Wenn die Spielenden die leitfähigen Flüssigkeiten richtig identifiziert haben, erhalten sie ein Erklärvideo, indem präsentiert wird, um welche Flüssigkeiten es sich handelt und aus welchem Grund der elektrische Strom geleitet bzw. nicht geleitet wird. Um das Lösungswort zu vervollständigen und die letzten Buchstaben hierfür herauszufinden, müssen vier Wahr-oder-falsch-Fragen zum Thema Säuren und Laugen richtig beantwortet werden. Nach erfolgreicher Durchführung dieser Aufgaben erhalten die Gruppen das Lösungswort: Schneemann. Am Lehrerpult wird zu Beginn des Escape Games, neben anderen relevanten Laborgegenständen, ein 3D-gedruckter Schneemann (Abbildung 2) für jede Gruppe bereitgestellt. Dieser verbirgt ein Labyrinth im Inneren, welches durch geschicktes Drehen, Ziehen und Schieben des Zylinders gelöst werden kann. Sobald der Zylinder aus dem Schneemann gezogen werden kann, wird ein kleiner



Abbildung 2:
Rätself: 3D-gedruckter Schneemann

Zettel im Inneren sichtbar. Auf diesem befindet sich der Code für das Schloss der nächsten Labortür.

5.3.3 Labor 3 – Neutralisation

Im dritten und finalen Labor angelangt, können die Schülerinnen und Schüler verschiedene Gegenstände anklicken. So finden sie ein Gedicht, in welchem die Durchführung einer Neutralisation als Rätsel erklärt wird und eine abschließende Frage aufgeworfen wird. Diese betrifft einen weißen Feststoff, der nach dem Zusammenschütten einer roten und blauen Flüssigkeit und dem Eindampfen dieses Gemischs zurückbleibt. Neben dem Gedicht finden die Spielenden eine Abbildung passend zum Gedicht, der sie entnehmen können, um welche Flüssigkeiten es sich handelt: Salzsäure und Natronlauge, die mittels Universalindikators eingefärbt wurden. Der Feststoff, welcher nach dem Eindampfen zurückbleibt, ist Natriumchlorid. Wird diese Lösung richtig eingegeben, schaltet sich eine Notiz frei, die verschiedenen Salzen einen Code zuordnet.

In den verschiedenen Räumen lassen sich zudem kleine Notizzettel finden. Diese umfassen kleine Minirätsel, die wiederum für das finale Rätsel von zentraler Bedeutung sind. Im Labor eins müssen die Schülerinnen und Schüler das Wort „Indikator“ in Zahlen umkodieren ($a=1$, $b=2$, ...) und anschließend die Quersumme der entstandenen Zahlen ziehen. Im zweiten Labor befindet sich wieder eine Notiz (Abbildung 3). Auf dieser sind kleine Kästchen zu sehen, die verschiedene Buchstaben enthalten. Dabei bildet jedes Kästchen ein bestimmtes Element aus dem Periodensystem ab. Die Gruppen stehen hier vor der Aufgabe die Elemente zu identifizieren und deren Ordnungszahlen zu addieren. Im dritten und letzten Labor münden alle Rätsel in ein finales Rätsel. Mit dem von der Neutralisation gewonnenen Code und den davor berechneten Zahlen ergibt sich in der Summe der finale Code zum Abschalten des Sicherheitssystems, mit dem sich alle noch verschlossenen Türen wieder öffnen. Auf diese Weise gelangen die Eingeschlossenen wieder zurück in die Freiheit und landen im Wohnzimmer von Dr. Valence.

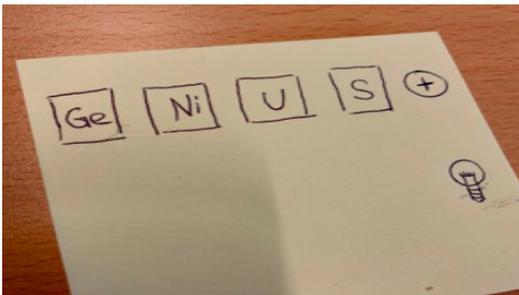


Abbildung 3:
Minirätsel im Labor 2

5.3.4 Abschluss

Im Wohnzimmer treffen die Schülerinnen und Schüler auf Dr. Valence. Dieser scheint etwas verwirrt zu sein und behauptet nichts von dem Zwischenfall mit dem Sicherheitssystem mitbekommen zu haben. Er entschuldigt sich für dieses Missgeschick und dass er die Schulklasse vergessen hat. Für schnelle Gruppen hält er jedoch noch auf Wunsch ein kleines Experiment bereit. Dabei handelt es sich um eine 3D-gedruckte Rakete (Abbildung 4), die mit einem Filmdöschen ausgestattet ist. Um diese zu „zünden“, müssen die Schülerinnen und Schüler etwas Essig hineingeben, eine halbe Brausetablette hinzugeben, den Deckel schnell verschließen und die Rakete zum Start auf den Tisch stellen. Mit etwas Abstand kann nun beobachtet werden, wie die Rakete mit einem lauten Knall nach oben schießt. Bevor sich die Gruppen nun ganz verabschieden, können die Gruppen noch eine Vermutung überprüfen, was diesen Knall ausgelöst hat. Durch die Reaktion der Brausetablette mit dem Essig wird Kohlenstoffdioxid freigesetzt und der Druck im Inneren der Rakete steigt an, bis dieser zu groß wird und der Deckel der Filmdose aufspringt und somit die Rakete in die Luft katapultiert. Mit diesem lauten Knall ist das Escape Game erfolgreich abgeschlossen.



Abbildung 4:
Pufferversuch: Die Essig-
Brause-Rakete

6 Erste Erkenntnisse

Die begleitende Forschung im Projekt lässt bereits erste Einblicke in die Einschätzung von Lehrkräften gegenüber Escape Games im Chemieunterricht zu. Bei den durchgeführten Interviews lassen sich mögliche Hürden, als auch Stärken des Einsatzes dieser Methode erkennen.

In Bezug auf das Escape Game als Produkt wurden folgende mündliche Aussagen getätigt:

„[...] aufbaumäßig fand ich's echt super und inhaltlich auch.“

„ich find's auf jeden Fall ne abwechslungsreiche Methode“

„[...] die Liste war eindeutig, was gemacht werden musste und was geholt werden musste, das ist optimal, wie das so aufgelistet ist“

In Hinblick auf die Auswirkungen und das Verhalten der Schülerinnen und Schüler sind folgende Äußerungen getätigt worden:

„Ich habe gesehen, dass sie motiviert waren, dass es ihnen Spaß gemacht hat, die waren auch bei der Sache, bis auf eine Gruppe halt jetzt, aber ansonsten.“

„Es hatten aber einige Gruppen sehr viel Spaß und auch grad meinen Gruppen, die sich schwertun in Chemie hatten heute deutlich mehr Spaß als normalerweise.“

Mögliche Hürden wurden von Lehrkräften wie folgt identifiziert:

„Ich glaub, der zeitliche Aufwand ist nicht das Problem, sondern eher der Materialaufwand“

„Aufgrund des Arbeitsaufwands okay, also ich würd's jetzt nicht jede Woche machen [...] mal nach einer Lerneinheit oder nach einer generellen Unterrichtseinheit zur Wiederholung für die Klassenarbeit oder auch danach.“

7 Ausblick

Neben der Entwicklung, Evaluierung und Optimierung weiterer Escape Games zu relevanten Themen des Chemieunterrichts wird die Forschung zur Akzeptanz von Lehrkräften gegenüber dieser Methode mittels eines digitalen Fragebogens weitergeführt. Als Grundlage für den Fragebogen dient hierbei die übersetzte und überarbeitete Version des TAM-Modells nach Davis (1989) von Peter Mayer (2022). Die Datenerhebung erfolgt mittels einer fünfstufigen Likert-Skala und umfasst die fünf verschiedenen Skalen: Persönliche Relevanzeinschätzung, Wahrgenommene Bedienbarkeit, Wahrgenommener persönlicher Nutzen, Erwarteter Nutzen für die Schülerinnen und Schüler und die Verhaltensintention. In diesem Sinne werden möglichst viele Daten erhoben und anschließend ausgewertet. Dabei ist die Bereitschaft von Lehrkräften zentral, diese Methode selbst im eigenen Unterricht zu testen und an dieser Forschung teilzunehmen. Soweit ausreichend Daten erhoben sind, werden diese ausgewertet und die daraus gewonnenen Erkenntnisse publiziert. Ausgehend von den Ergebnissen dieser Erhebung können weitere Schritte in diesem Bereich anvisiert und umgesetzt werden. Mögliche weiterführenden Forschungsfragen könnten die Faktoren betreffen, die die Einstellung der Lehrkräfte beeinflussen.

Literatur

- Anderie, L. (2018). *Dreiklang der Innovationen und Bedeutung der Games Industry für andere Branchen*. In L. Anderie, *Gamification, Digitalisierung und Industrie 4.0* (S. 5–35). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-19865-7_2
- Bogedan, C. & Kultusministerkonferenz. (2016). *Bildung in der digitalen Welt* (Strategie der Kultusministerkonferenz). https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf
- Davis, F.D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13, 319–339.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. & Nacke, L. (2011). *From game design elements to gamefulness: Defining „gamification“*. In Proceedings of the 15th International Ac-

- ademic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments (S. 9–15).
<https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Galley, K. & Mayrberger, K. (2018). Tablets im Schulalltag: Potenziale und Herausforderungen bei der Integration von mobilen Endgeräten an beruflichen Gymnasien. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 31, 36–57. <https://doi.org/10.21240/mpaed/31/2018.03.27.X>
- Huwer, J. & Brünken, R. (2018). Naturwissenschaften auf neuen Wegen: Individualisierung mit Tablets im Chemie-Unterricht. *Computer + Unterricht: Lernen und Lehren mit digitalen Medien*, (110), 7–10.
- Jacob, A. & Teuteberg, F. (2017). *Game-Based Learning, Serious Games, Business Games und Gamification –Lernförderliche Anwendungsszenarien, gewonnene Erkenntnisse und Handlungsempfehlungen*. In S. Strahringer & C. Leyh (Hrsg.), *Gamification und Serious Games* (S. 97–112). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-16742-4_8
- Kim, S., Song, K., Lockee, B. & Burton, J. (2018). *Gamification in Learning and Education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47283-6>
- Mayer, P. (2022). *TPACK, Akzeptanz und Fortbildungen von Lehrkräften zu Multimediaanwendungen im Physikunterricht* [Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München]. <https://doi.org/10.5282/edoc.31432>
- Stieglitz, S. (2017). Enterprise Gamification – Vorgehen und Anwendung. In S. Strahringer & C. Leyh (Hrsg.), *Gamification und Serious Games* (S. 3–13). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-16742-4_1

Keywords: Escape Games, Chemieunterricht, Gamification

Dirk Burdinski

Das Chemielabor umdrehen

Grundpraktika als Flipped Lab kompetenzorientiert gestalten

1 Einleitung

Die Einführung in die experimentelle Chemie ist für Lernende in Schule und Studium herausfordernd. Die in der eigentlichen Laborsituation, oft infolge schlechter Vorbereitung, hohe kognitive Belastung erschwert die Übertragung theoretischer Konzepte auf die Laborpraxis (Agustian & Seery, 2017). Um diese Belastung zu reduzieren und Handlungskompetenzen zu fördern, wurde das Modell des „Flipped Lab“ entwickelt und in der Studieneingangsphase implementiert. Es adaptiert die Prinzipien des Inverted (oder Flipped) Classroom für Laborpraktika.

2 Das Flipped-Lab-Modell

In klassischen Lehrveranstaltungen erfolgt der Erstkontakt mit Lerngegenständen in der Präsenzphase, z. B. im Rahmen einer Präsentation. Die Auseinandersetzung mit den Lerngegenständen müssen Lernende dann ohne Unterstützung im Selbststudium bewältigen.

Anders im Inverted-Classroom-Modell: Hier erarbeiten sich die Lernenden neue Konzepte und Inhalte zunächst in der individuellen Phase selbst. Insbesondere bei kognitiv anspruchsvollen Lernprozessen können Lernende dann in der Präsenzphase besser unterstützt werden (Bergmann & Sams, 2012; Talbert, 2017). Missverständnisse können direkt adressiert, Fragen individuell geklärt und der Lernprozess im Sinne der Ermöglichungsdidaktik optimiert werden (Arnold & Schön, 2019).

Übertragen auf die Praktikums- bzw. Laborsituation bedeutet dies: Um die kognitive Belastung der Lernenden in der herausfordernden Laborphase zu reduzieren, müssen diese die relevanten grundlegenden Konzepte und Handlungsweisen bereits im Vorfeld erarbeitet haben. Dies erfordert eine umfassende Vorbereitung vor der eigentlichen Präsenzphase im Labor. Im Flipped-Lab-Modell (Abbildung 1) wird dies durch eine Verlagerung der Arbeitsphasen erreicht (Agustian & Seery, 2017; Burdinski & Glaeser, 2016).

Dabei wird den Lernenden auf der einen Seite deutlich mehr Zeit für die Vorbereitung (V) der Laborarbeit (L) eingeräumt, und die Lernaktivitäten in der Vorbereitungsphase werden möglichst klar strukturiert. Dabei sind digitale Unterstützungsangebote entscheidend, sodass alle Informationen leicht zugänglich sind und die Lernenden auch in dieser Phase (digitale) Hilfestellungen erhalten können. Auf der anderen Seite wird die hierfür notwendige Zeit gewonnen, indem die nachbereitenden

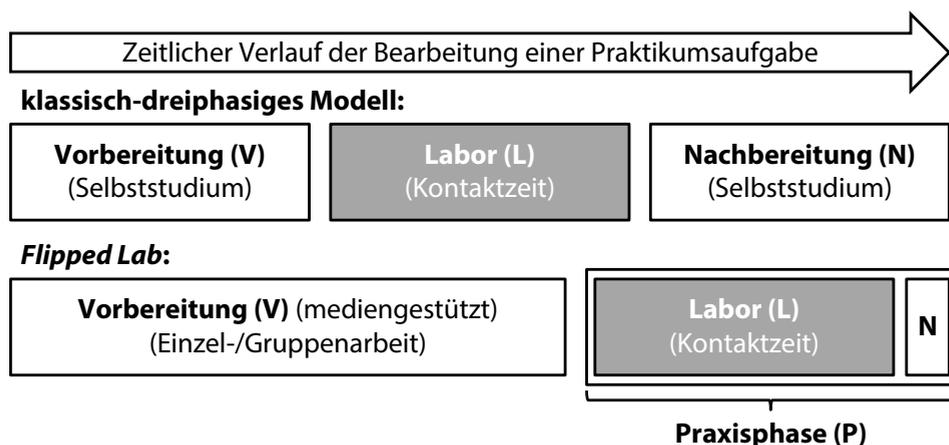


Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der Bearbeitung einer Praktikumsaufgabe in klassisch-dreiphasigen und geflippten Laborpraktika (Flipped Lab).

Arbeiten (N), inkl. Auswertung und Dokumentation, konsequent in die Praxisphase (P) integriert werden.

Effektiv wird letztlich (Selbst-)Lernzeit, die im klassisch-dreiphasigen Modell für die Nachbereitungsphase benötigt wird, im Flipped-Lab-Modell größtenteils in die Vorbereitungsphase verschoben. Die Abfolge von Selbststudienzeit in der individuellen Lernphase und Präsenzzeit in der Praxisphase wird entsprechend invertiert (geflippt).

In klassischen Laborpraktika, in denen Lernende, typischerweise im Wochenrhythmus, nacheinander einzelne Versuche bearbeiten, ergeben sich weitere Vorteile, denn in der Zeit zwischen der Durchführung zweier Laboraufgaben besteht ein Konflikt: Auf der einen Seite sollen Lernende sich auf den zweiten Versuch vorbereiten und auf der anderen Seite sollen sie den ersten Versuch nachbereiten. Das Risiko, dass Lernende dem erfolgreichen Abschluss des zeitlich ersten Laborversuchs eine höhere Bedeutung beimessen als der für die laborpraktische Kompetenzentwicklung essenziellen Vorbereitung des zweiten Laborversuchs, wird im Flipped Lab eliminiert (Burdinski & Glaeser, 2016). Diese Nachbereitung kann, infolge der umfassenden und handlungsorientierten Vorbereitung der Lernenden und der in der Praxisphase möglichen engen Begleitung durch die Lehrenden, deutlich effektiver durchgeführt und bereits am Versuchstag abgeschlossen werden.

3 Digitale Medien als Schlüsselfaktoren

Um den Lernenden in der Vorbereitungsphase ein effektives Selbststudium zu ermöglichen, ist es wichtig, dass alle relevanten Arbeitsmaterialien und Medien leicht und zentral, i.d.R. über die genutzte Lernplattform, ggf. auch durch digitale Verweise zugänglich sind.

In der Literatur und in unserer eigenen Lehrpraxis haben sich folgende Medien- und Materialformen sowie Unterstützungsangebote als besonders wirksam gezeigt:

- Versuchsskripte mit Learning Outcomes, relevanten (!) Hintergrundinformationen, Aufgabenstellung, Bewertungskriterien und dosierten Literaturverweisen
- Laborvideos, die detailliert die Versuchsdurchführung und ergänzend spezielle Arbeitstechniken didaktisch aufbereitet vermitteln (Burdinski, 2017)
- Laborsimulationen, idealerweise in 3D, mit denen Lernende die wesentlichen Handlungsschritte des Laborexperiments vorab interaktiv durchspielen
- Lernvideos, insbesondere Lightboard- oder Screencast-Videos, die handlungsorientierte Hinweise zur Datenauswertung geben (Burdinski, 2017)
- Chatbots, die Lernende bei typischerweise auftretenden Fragen jederzeit nutzen können, damit der Vorbereitungsimpuls nicht ausgebremst wird
- tutorielle Unterstützung durch möglichst flexibel, auch online ansprechbare Tutor*innen, die individuelle Hilfe zur Selbsthilfe statt Frontallehre bieten
- Betriebsanweisungen (inkl. Fließbildern), mit denen die Lernenden, nach dem Studium von Versuchsanleitung und Videos, Sicherheitsdaten zusammentragen und die geplanten Handlungsschritte im Labor abstrahieren und chronologisch ordnen
- gebundene Laborjournale für die handschriftliche Vorbereitung und Protokollierung der eigenen Versuche oder elektronische Laborjournale
- elektronische (E-)Tests, mit denen die Lernenden das erfolgreiche Durchdringen der Vorbereitungsmaterialien und das Verständnis der Versuchsdurchführung zunächst selbst (distant) überprüfen und dann (unter Aufsicht) nachweisen können
- Zugangskolloquien, die Lernenden angeboten werden, welche in den E-Tests oder bei der Vorbereitung der Materialien Schwierigkeiten hatten

Klassische, didaktisch reduzierte Versuchsskripte bleiben ein wichtiges Medium für den Einstieg in die Vorbereitung. Die in der Laborpraxis geforderten komplexen, dreidimensionalen Handlungen können gerade für wenig erfahrene Lernende herausfordernd sein. Um diese schon in der Vorbereitung begreifbar zu machen, haben sich reale Laborvideos und 3D-Simulationen, ergänzt um handlungsorientierte Erklärvideos, als besonders effektiv erwiesen. Beim Erarbeiten der Materialien unterstützen (No-Coding-)Chatbots und geschulte Tutor*innen. Vorzubereitende Betriebsanweisungen und Laborjournale sowie abschließende E-Tests und ggf. Kolloquien dienen der Überprüfung der Vorbereitung und sind Voraussetzung für die Zulassung zur eigentlichen Praxisphase.

4 Theoretische Fundierung

Im Flipped-Lab-Modell werden die Folgen mangelnder Vorbereitung für die Lernenden unmittelbar erfahrbar und für die Lehrenden adressierbar. Die Lernenden übernehmen daher mehr Verantwortung für ihren Lernprozess. Für die Lehrenden bieten sich mehr Anlässe, die studentischen Lern- und Arbeitsprozesse zu beobachten, dabei

Engpässe im Lernprozess zu erkennen und gezielt zu reduzieren (Decoding the Disciplines).

Nach der Selbstbestimmungstheorie steigt die Lernmotivation in dem Maße, in dem psychologische Grundbedürfnisse der Lernenden nach Kompetenz, sozialer Eingebundenheit und Autonomie befriedigt werden (Deci & Ryan, 2008). Das Flipped-Lab-Modell adressiert diese Bedarfe besser als klassische Praktikumsformate, indem es durch die Handlungsorientierung mit schnellen Feedback-Zyklen Kompetenzentwicklung in sozialer Interaktion erlebbar macht. Gleichzeitig wird Freiraum für die Gestaltung der eigenen Lernaktivitäten und des Lerntempos gewonnen und so eine autonome Lernerfahrung ermöglicht (Talbert, 2017).

Nach der Theorie der kognitiven Belastung können Lernende intrinsisch belastende Lerninhalte besser verarbeiten, wenn der Prozess durch möglichst wenige, inhaltsfremde Belastungen gestört wird, die über die für den Lernprozess notwendigen inhaltsfremden kognitiven Belastungen hinausgehen (Chandler & Sweller, 1991). Damit wird verständlich, warum Labor- und Lehrvideos sowie interaktive Laborsimulationen nahezu essenzielle Medien für die Vorbereitungsphase im Flipped Lab sind. Sie ermöglichen den Lernenden die Erarbeitung im eigenen Lerntempo. Der dreidimensionale Handlungsablauf muss nicht aus der Textform erdacht, sondern kann direkt beobachtet bzw. erfahren werden. Im Sinne der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens werden bildliche und verbale Kanäle der Informationsverarbeitung gleichermaßen genutzt (Mayer, 2014). Extrinsische kognitive Belastungen können von den Lernenden selbst kontrolliert und gezielt überwunden werden. Die vielfach beschriebene Beobachtung, dass insbesondere Lernende mit ungünstigen Lernvoraussetzung stärker von Inverted-Classroom-Modellen profitieren als schon leistungsstärkere Lernende (Burdinski, 2022; Nouri, 2016), kann demnach durch eine hier wirkungsvollere Verringerung der lernhemmenden, extrinsischen kognitiven Belastungen bei der selbstgesteuerten Erarbeitung der Materialien in der Vorbereitungsphase, aber auch durch die individuellere Ansprache durch die Lehrenden in der Präsenzphase, verstanden werden (Abeysekera & Dawson, 2015). So werden im Flipped-Lab-Modell, nach dem Konzept des selbstbestimmten Lernens, Eigeninitiative und Kontrolle betreffend das eigene Lernen als Schlüssel motivation für effektive Lernprozesse genutzt (Boekaerts, 1997).

5 Zusammenfassung

Im Flipped Lab werden das Autonomie- und das Selbstkompetenzerleben der Lernenden gezielt zur Verbesserung ihrer Lernmotivation gefördert. Hierdurch und unterstützt durch den handlungsorientierten Einsatz digitaler Medien verbessern sich die inhaltliche Vorbereitung der Lernenden auf die laborpraktische Phase und damit die dort erzielten praktischen Lernergebnisse.

Literatur

- Abeyssekera, L. & Dawson, P. (2015). Motivation and cognitive load in the flipped classroom: definition, rationale and a call for research. *High. Educ. Res. Develop.*, 34(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/07294360.2014.934336>
- Agustian, H. Y. & Seery, M. K. (2017). Reasserting the role of pre-laboratory activities in chemistry education: A proposed framework for their design. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 18(4), 518–532. <https://doi.org/10.1039/C7RP00140A>
- Arnold, R. & Schön, M. (2019). *Ermöglichungsdidaktik: Ein Lernbuch*. hep Verlag. <https://www.hep-verlag.de/ermoeglichungsdidaktik>
- Bergmann, J. & Sams, A. (2012). *Flip Your Classroom: Reach Every Student in Every Class Every Day*. International Society for Technology in Education.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learn. Instruct.*, 7(2), 161–186. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(96\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(96)00015-1)
- Burdinski, D. (2017). *YouTube-Kanal „Praktikum Anorganische Chemie“* (<https://t1p.de/fyc1>). <https://www.youtube.com/channel/UCq9ACNa46lJ8lanmdOGyK2w>
- Burdinski, D. (2022). Wirkungen der Umstellung einer Grundlagen-„Vorlesung“ Anorganische Chemie auf ein Inverted-Classroom-Modell. In U. Fahr, K. Alessandra, H. Angenent & A. Eßer-Lügghausen (Hrsg.), *Diversität und Bildung im digitalen Zeitalter. Hochschullehre erforschen: Innovative Impulse für das Scholarship of Teaching and Learning* (S. 83–109). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-34185-5_6
- Burdinski, D. & Glaeser, S. (2016). Flipped Lab – Effektiver lernen in einem naturwissenschaftlichen Grundlagenpraktikum mit großer Teilnehmerzahl. In B. Berendt, A. Fleischmann, N. Schaper, B. Szczyrba & J. Wildt (Hrsg.), *Neues Handbuch Hochschullehre* (Griffmarke E5.4, S. 1–28). Raabe-Verlag.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cogn. Instruct.*, 8(4), 293–332. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2008). Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. *Can. Psychol.*, 49(3), 182–185. <https://doi.org/10.1037/a0012801>
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *Cambridge Handbooks in Psychology. The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 43–71). Cambridge University Press.
- Nouri, J. (2016). The flipped classroom: for active, effective and increased learning – especially for low achievers. *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.*, 13, 33 (1–10). <https://doi.org/10.1186/s41239-016-0032-z>
- Talbert, R. (2017). *Flipped Learning: A Guide for Higher Education Faculty*. Stylus Publishing, LLC.

Keywords: Flipped Lab, Inverted Classroom, Laborpraktika, Digitalisierung, Kompetenzorientierung

Auf promptem Weg durchs Studium?

Analyse von Promptingframeworks und ein Vergleich zum naiven Prompting durch Studierende

1 Prompting: Die Kommunikation mit generativer Künstlicher Intelligenz

Natürlich kann ich dir eine Einleitung für deine Publikation zu Promptingstrategien schreiben! So könnte die unreflektierte Nutzung generativer künstlicher Intelligenz (KI) durch Wissenschaftler:innen aussehen, auch wenn sie in diesem Fall nicht von KI geschrieben wurde. Typische KI-Phrasen sind mittlerweile in mehreren wissenschaftlichen Publikationen zu finden, was mitunter den Rückzug dieser Arbeiten zur Folge hat (z. B. hier: Zhang et al., 2024). Nachdem bereits Forschende diese unreflektierte Nutzung zeigen, überrascht es wenig, dass auch Studierende unreflektiert Antworten von KI akzeptieren (Krupp et al., 2023). Diese tendenziell unreflektierte Nutzung kann man auch auf den Bereich des Promptings, also die Formulierung von Fragestellungen an die KI, übertragen. Einige Studierende scheinen keine guten Strategien für zielführendes Prompting zu haben (Knoth et al., 2024; Tassoti, 2024). Hier soll ein kurzer Überblick zu existierenden Strategien und Frameworks für Prompting sowie Einblicke in das naive Prompting Studierender gegeben werden. Daraus wird eine Empfehlung zum Erlernen von Prompting im Rahmen des Erwerbs einer KI-literacy abgeleitet.

1.1 Übersicht über Promptingstrategien und Promptingframeworks

Promptingstrategien haben das Ziel, einen Prompt auf eine bestimmte Art und Weise zu gestalten, um „bessere“ Antworten von generativer KI zu erhalten. Ein Beispiel dafür ist das Chain-of-Thoughts-Prompting, welches die KI dazu anregen soll, in ihrer Antwort schrittweise eigene Gedanken (thoughts) zu entwickeln, diese Gedanken zu evaluieren und dadurch eine plausiblere Antwort zu generieren (Wang et al., 2023). Es gibt viele solche Strategien zur Erstellung eigener Prompts, wobei in diesem sehr dynamischen Feld viele Vorschläge unterschiedlicher Qualität gemacht werden. Die Strategien folgen weder einer einheitlichen Benennung noch sind sie trennscharf. Eine Analyse aktueller Übersichten (Sahoo et al., 2024) zeigt, dass viele Strategien ähnlichen zugrundeliegenden Prinzipien folgen. Als Teilbereich der Promptingstrategien werden auch Promptingframeworks entwickelt. Diese benennen explizit für einen Prompt benötigte Elemente, zum Beispiel die Setzung eines Kontexts. Die Frameworks sind unterschiedlich aufgebaut, von generalisierten Empfehlungen bis hin zur Nennung einzelner unveränderlicher Sätze als Bestandteile guter Prompts. Hier werden ei-

nige Frameworks analysiert, Gemeinsamkeiten identifiziert und Ansätze zum sinnvollen Einsatz diskutiert.

1.2 Verbindende Prinzipien und Grundlagen

An dieser Stelle soll explizit darauf hingewiesen werden, dass keiner der in diesem Kapitel genannten Frameworks empirisch entwickelt und getestet wurde, sondern abbilden soll, was User:innen durch eigene Recherche finden könnten. Promptingframeworks benennen die notwendigen Bestandteile eines Prompts meist in einer festen Reihenfolge. In dieser Reihenfolge werden aus den Anfangsbuchstaben oft leicht merkbare Wörter gebildet. Manche werden für bestimmte Aufgabenstellungen empfohlen, zum Beispiel das RISEN-Promptingframework für Projektplanung oder Contenterstellung (Ahmed, 2023). In Tabelle 1 wird eine Auswahl von Frameworks vorgestellt und gezeigt, dass einzelne Bestandteile jeweils grundlegende Funktionsweisen von KI – wie zum Beispiel die Kontextabhängigkeit – adressieren. Die Bestandteile lassen sich zusammenfassend kategorisieren. Die Kontextabhängigkeit wird zum Beispiel über die Rolle, welche die KI einnehmen soll und den Kontext, in dem die Frage gestellt wird, adressiert. Weitere Gemeinsamkeiten sind die Nennung einer expliziten Aufgabenstellung oder die Nennung eines Antwortstils, der Struktur und Formulierung der Antwort umfasst. Wenige Strategien nutzen die Nennung von positiven Beispielen, Kontrollfragen oder Feedback. Es ist auffällig, dass die Frameworks in ihren Bestandteilen trotz dieser Gemeinsamkeiten schlecht vergleichbar sind, obwohl sich die Funktionsweise der KI nicht ändert. So kann ein Bestandteil mehrere Funktionen ansprechen (siehe CARE, wo „R“ und „E“ gleich drei Funktionen anzusprechen versuchen), aber Funktionen können auch von mehreren Bestandteilen adressiert werden (siehe COAST, wo der Kontext sehr breit durch „COAS“ gesetzt wird). Zusätzlich kann derselbe Bestandteil (siehe Action in CARE und COAST) im Promptingframework selbst eigentlich unterschiedliche Funktionen ansprechen. Diese schlechte Vergleichbarkeit könnte bei der Entwicklung einer Promptingkompetenz hinderlich sein.

Im Vergleich zu den anderen Promptingframeworks werden im 5S-Promptingframework die vier zugrundeliegenden Funktionen nicht nur rezeptartig aufgezählt, sondern als Handlungsstrategien formuliert. Der Bestandteil „*Set the Scene*“ ist eventuell für Noviz:innen leichter verständlich und anwendbar als die beiden zugrundeliegenden Funktionen Rolle und Kontext durch Mehrfachnennungen (z. B. bei COAST als „COAS“) oder Trennungen (z. B. bei CARE als „CRE“) anzusprechen. Außerdem liefern die Bestandteile „*Share feedback*“ und „*Simplify your language*“ direkt Handlungsstrategien für den Umgang mit nicht zufriedenstellenden Ergebnissen. Ein erster Einsatz des 5S-Promptingframeworks wird im Folgekapitel beschrieben.

Tabelle 1: Vergleich exemplarischer Promptingframeworks: CARE, COAST (Hairi, 2023), RHODES, RISEN (Ahmed, 2023) und das 5S-Promptingframework (AI for Education, 2023). Die Zuordnung der Bestandteile zu einer adressierten Funktion erfolgte durch Analyse der in den Quellen angegebenen Informationen und Beispiele durch die Autoren.

Prompting-Framework	Bestandteil	Adressierte Funktion		
CARE	Context	Kontext		
	Action	Aufgabenstellung		
	Results	Kontext	Antwortstil	Beispiele
	Examples			
COAST	Context	Kontext		
	Objective			
	Action			
	Scenario			
	Task	Aufgabenstellung		
RHODES	Role	Rolle		
	Objective	Aufgabenstellung		
	Details	Kontext	Antwortstil	Beispiele
	Examples			
	Sense Check	Kontrollfrage		
RISEN	Role	Rolle		
	Instructions	Aufgabenstellung		
	Steps	Kontext	Antwortstil	
	End Goal	Kontext		
	Narrowing	Antwortstil		
5S	Set the Scene	Rolle	Kontext	
	Structure the output	Antwortstil		
	Be Specific	Aufgabenstellung	Kontext	
	Share feedback	Feedback		
	Simplify your language	Vereinfachungen		

2 Naives Prompting

Die Analyse der Promptingframeworks zeigt, dass Prompting keinesfalls eine intuitive Fertigkeit sein kann. Die zugrundeliegenden Prinzipien und Ideen lassen sich zwar aus dem Wissen um die Funktionsweisen generativer KI indirekt ableiten, aber auch

dieses grundlegende Wissen muss zuerst erworben werden. Studierende verwenden generative KI eher als Informationsquelle, ähnlich etwa einer Suchmaschine (Knoth et al., 2024), und scheinen auch entsprechend ihre Prompts anders als in den Promptingframeworks empfohlen zu formulieren.

Wie sich im Zuge der Datenauswertung für eine andere Studie (Tassoti, 2024) zeigte, formulieren Studierende ohne entsprechenden Input zu Promptingstrategien naive Prompts tendenziell so, dass sie zuerst eher einfache, für generative KI schlechter geeignete Fragen stellen oder die eigentliche Aufgabenstellung nicht klar benennen. Das konnten die Autoren im Rahmen einer Lehrveranstaltung zu digitalen Medien im Chemieunterricht bei Lehramtsstudierenden ($n = 23$) beobachten, für eine detaillierte Aufarbeitung siehe Referenz (Tassoti, 2024). Dort wurden im Laufe eines Semesters ungefähr 1700 Prompts an ChatGPT erhoben, von denen ungefähr 1600 ausgewertet wurden. Knapp über 100 Prompts wurden dabei vor der Vorstellung des 5S-Promptingframeworks gesammelt, der aufgrund der in Kapitel 1.2 beschriebenen Vorteile als besonders geeignet erschien. Als Einstieg in eine neue thematische Aufgabenstellung dominierten ein bis zwei Fragesätze (insbesondere W-Fragen), Aufforderungen wurden seltener beobachtet. Die generative KI wurde mit schnellem Themenwechsel vor allem als Informationsquelle genutzt. Zu Anfang kamen z.B. die im 5S-Promptingframework beschriebenen Handlungsstrategien nur in Ausnahmefällen vor. In Tabelle 2 werden exemplarisch Prompts dreier Studierender gezeigt. „Eva“ benutzte vor allem Fragesätze wie bei einer Suchmaschine. Bei „Jan“ waren Frage- und Aufforderungssätze bereits ausgeglichen. „Maja“ benutzte bereits vereinzelt Handlungsstrategien aus dem 5S-Promptingframework.

Tabelle 2: Naives Prompting dreier exemplarischer Studierender.

Kürzel	Prompts	Kürzel	Prompts
Maja	<ol style="list-style-type: none"> Plane eine Unterrichtsstunde zum Thema Ionenbindung, Metallbindung und Atombindung für die 4. Klasse Unterstufe. Erstelle einen Stationenbetrieb zu diesem Thema 	Eva	<ol style="list-style-type: none"> Kannst du mir die stochastische Unabhängigkeit zweier Ereignisse erklären? Kannst du mir die Herstellung von Schwarzpulver erklären? Kannst du ein Experiment dazu planen? Kannst du allgemein zeigen ob die Gleichung stimmt oder nicht?
Jan	<ol style="list-style-type: none"> Schreibe mir die Reaktionsgleichung der Knallgasreaktion Erkläre Pufferkapazität wie ist die Pufferkapazität eines pH 10 Puffers bei welchem pH-Wert ist die Pufferkapazität eines pH 10 Puffers zu ende 		

3 Zusammenfassung und Diskussion

Nun ist die Frage legitim, ob es überhaupt das Ziel sein sollte, Studierenden Prompting beizubringen oder ob dies einer selbstständigen Recherche überlassen werden kann. In Kapitel 2.1 wurde anhand der drei Beispiele gezeigt, dass Studierende vor dem Kennenlernen eines Promptingframeworks sehr einfache, naive Prompts schreiben. Mit naiven Prompts werden schlechtere Antworten mit KI generiert und diese Antworten auch tendenziell unreflektiert akzeptiert (Krupp et al., 2023). Wie in Kapitel 1.2 diskutiert und in Tabelle 1 ersichtlich, haben viele der veröffentlichten Promptingframeworks unterschiedliche Bestandteile, die jedoch zum größten Teil auf dieselbe grundsätzliche Funktion abzielen. Nicht alle Funktionsweisen sind dabei mit Evidenz hinterlegt. Eventuell besser geeignet ist das 5S-Promptingframework, das handlungsorientiert formuliert ist und Strategien für den Umgang mit schlechteren Antworten bietet. In einer anderen Studie konnte gezeigt werden, dass Studierende des Lehramtes Chemie bei der Bearbeitung von Aufgaben mit ChatGPT die Antworten der generativen KI besser bewerteten, wenn sie das 5S-Promptingframework zur Verbesserung ihrer Prompts verwendeten (Tassoti, 2024). Aufgrund der hier vorliegenden Analyse erscheint es sinnvoll, Promptingstrategien als Handlungsstrategien auf Basis von KI-Grundlagen zu vermitteln, wie es in der Physikdidaktik diskutiert wird (Polverini & Gregorcic, 2024), und gleichzeitig dringend naturwissenschaftsdidaktische Forschung zum Prompting durch Studierende zu initiieren, um das Verständnis zu vertiefen.

Literatur

- Ahmed, A. (16. Oktober 2023). *Exploring Different Prompt Frameworks and Their Applications* | *LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/pulse/exploring-different-prompt-frameworks-applications-ahmed-albadri-kwj9f/>
- AI for Education. (2023). *Prompt Framework for Educators: The Five „S“ Model*. AI for Education. <https://www.aiforeducation.io/ai-resources/the-five-s-model>
- Hairi, E. H. (3. August 2023). *9 Frameworks to master ChatGPT Prompt Engineering*. | *LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/pulse/9-frameworks-master-chatgpt-prompt-engineering-edi-hezri-hairi/>
- Knoth, N., Tolzin, A., Janson, A. & Leimeister, J. M. (2024). AI literacy and its implications for prompt engineering strategies. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100225. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100225>
- Krupp, L., Steinert, S., Kiefer-Emmanouilidis, M., Avila, K. E., Lukowicz, P., Kuhn, J., Küchemann, S. & Karolus, J. (2023). *Unreflected Acceptance – Investigating the Negative Consequences of ChatGPT-Assisted Problem Solving in Physics Education*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2309.03087>
- Polverini, G. & Gregorcic, B. (2024). How understanding large language models can inform the use of ChatGPT in physics education. *European Journal of Physics*, 45(2), 025701. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad1420>
- Sahoo, P., Singh, A. K., Saha, S., Jain, V., Mondal, S. & Chadha, A. (2024). *A Systematic Survey of Prompt Engineering in Large Language Models: Techniques and Applications* (No. arXiv:2402.07927). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.07927>

- Tassoti, S. (2024). Assessment of Students Use of Generative Artificial Intelligence: Prompting Strategies and Prompt Engineering in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00212>
- Wang, X., Wei, J., Schuurmans, D., Le, Q., Chi, E., Narang, S., Chowdhery, A. & Zhou, D. (2023). *Self-Consistency Improves Chain of Thought Reasoning in Language Models* (No. arXiv:2203.11171). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.11171>
- Zhang, M., Wu, L., Yang, T., Zhu, B. & Liu, Y. (2024). RETRACTED: The three-dimensional porous mesh structure of Cu-based metal-organic-framework – Aramid cellulose separator enhances the electrochemical performance of lithium metal anode batteries. *Surfaces and Interfaces*, 46, 104081. <https://doi.org/10.1016/j.surf-in.2024.104081>

Keywords: Generative Künstliche Intelligenz, Prompting

Das Projekt OrChemSTAR

Strukturformeln durch Augmented Reality zeichnen lernen

1 Einleitung, Stand der Forschung und Forschungsfragen

Für die Beschreibung chemischer Verbindungen und Reaktionsmechanismen haben sich in der Chemie eine Vielzahl abstrakter Formalismen etabliert, die je nach Anwendungszweck und Kontext unterschiedliche Funktionen erfüllen. Chemiker*innen wählen je nach Anwendungszweck und Kontext eine geeignete Darstellungsweise, können aber auch zwischen verschiedenen Notationen übersetzen. Da die Kommunikation chemischen Wissens ohne geeignete Formalismen erheblich erschwert wäre, lernen Chemiestudierende von Beginn ihres Studiums an verschiedene Notationen chemischer Formeln und bauen kontinuierlich ihre wissenschaftlichen Kommunikationskompetenz aus. Es sollte aber nicht unterschätzt werden, wie vielseitig und komplex die chemische Formelsprache ist. Verschiedene Darstellungen beschreiben je nach Bedarf die Zusammensetzung oder die Struktur der Verbindung und geben Hinweise auf die räumliche Anordnung. Projektionen wie Fisher-, Natta-, Haworth- oder Newman-Projektionen heben ausgewählte Aspekte der räumlichen Anordnung hervor. Ohne grundlegende fachspezifische Lese- und Darstellungs Kompetenzen können Studierende weder ein Chemiestudium erfolgreich abschließen noch einen Beruf in der Chemie ergreifen (Herron & Greenbowe, 1986). Viele Studierende haben Schwierigkeiten im Umgang mit abstrakten Darstellungen wissenschaftlicher Konzepte, deren Verständnis ein hohes Maß an räumlicher Visualisierung erfordert (Sahin & Yilmaz, 2020). Während Expert*innen fließend zwischen mehreren Darstellungen (Kozma, 2020) sowie zwischen der makroskopischen, der symbolischen und der sub-mikroskopischen Ebene (Johnstone, 1983, 1991) übersetzen können, müssen Anfänger*innen die erforderlichen mentalen Modelle zunächst aufbauen (Sunyono et al., 2015). Dieser Prozess muss von außen z. B. durch die Verwendung multipler Repräsentationen unterstützt werden (Kozma & Russell, 2005; Sunyono et al., 2015).

Augmented-Reality-Anwendungen (AR) sind ein vielversprechender moderner Ansatz, um das Lernen zu erleichtern (Azuma, 1997) und Lernende beim Verständnis chemischer Strukturen zu unterstützen (Mazzuco et al., 2022). AR-Apps haben sich als effektiv für das Lernen erwiesen (Garzón & Acevedo, 2019), insbesondere für die Visualisierung und das Verständnis abstrakter chemischer Konzepte in dreidimensionalen Darstellungen (Chen & Liu, 2020; Thees et al., 2020) und das Einblenden von Zusatzinformationen (Milgram et al., 1995). Darüber hinaus wurden positive Effekte der Nutzung von AR-Apps auf Motivation und Interesse, Einstellungen zur naturwissenschaftlichen Bildung und akademische Leistungen gezeigt, und AR konnte erfolgreich zur Förderung explorativen und kollaborativen Lernens eingesetzt werden (für eine Übersicht siehe Henne et al., 2024). Die besondere Bedeutung der Implemen-

tierung von AR in die Chemieausbildung aus einer disziplinspezifischen Perspektive wurde kürzlich deutlich, als die International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) Virtual Reality zu einer der „Top Ten Emerging Technologies in Chemistry 2022“ erklärte (Gomollón-Bel, 2022).

Obwohl die Stärken von AR in vielen Studien empirisch nachgewiesen wurden und es interessante Prototypen für den Einsatz im Chemieunterricht gibt, ist der Einsatz von AR im Klassenzimmer noch nicht etabliert. Dies könnte unter anderem auf technische Notwendigkeiten bei der Implementierung von AR zurückzuführen sein. Damit AR eine sinnvolle Verbindung zur realen Umgebung der Lernenden herstellen kann, muss die AR-App in der Lage sein, einen Auslöser in der realen Welt zu erkennen. Es haben sich drei Klassen von AR herausgebildet: Markerbasierte AR nutzen z.B. QR-Codes, vordefinierte Bilder oder vorbereitete 3D-Objekte. Markerlose AR hingegen kommt ohne physische Marker aus, stellt aber selbst keinen Bezug zur Umgebung her. GPS-basierte ARs schaffen dies in Bezug auf die aktuelle Position des Benutzenden, würden jedoch eine vorherige Einrichtung für den spezifischen Standort für den Einsatz im Chemieunterricht oder im Labor erfordern. Dementsprechend hat sich markerlose AR weitgehend durchgesetzt, auch wenn dies bedeutet, dass das Potenzial für den mobilen und flexiblen Einsatz nicht vollständig ausgeschöpft werden kann. Die Abhängigkeit von physischen Markern ist bedauerlich, da der Aufbau mentaler Modelle zum Verständnis komplexer Strukturen extern unterstützt werden muss und adaptives Scaffolding hier besonders vielversprechend wäre. Eine AR-Lernumgebung, die verschiedene mögliche Marker erkennt, sie kontextuell interpretiert und sinnvolle Visualisierungen als AR über die Marker legt und zusätzliche Informationen zum Lerninhalt bietet (technische Adaptivität) und idealerweise sogar auf den Lernenden abgestimmt ist und individuelle Lernpfade bietet, würde die Möglichkeiten der Nutzung von AR für das Lehren und Lernen der Chemie viel besser nutzen.

Die Leistung der derzeit verfügbaren Smartphones und Headmounted Displays (sogenannte AR/VR Brillen) ermöglicht es nun, Künstliche Intelligenz (KI) in Echtzeit für technische Adaptivität und adaptive Lernpfade zu nutzen. Zudem können mit fortgeschrittenen Deep-Learning-Methoden neuronale Netze erfolgreich trainiert werden, um chemische Strukturen aus der Literatur oder handgezeichnete Formeln und Strukturen zu erkennen und sogar den Kontext zu berücksichtigen. Verschiedene große Datenbanken mit (teilweise bereits dekodierten) Bildern chemischer Formeln sind verfügbar (z. B. CASIA-CSDB).

Ein markanter Unterschied entsteht jedoch, wenn die Bilderkennung zur Unterstützung von Lernenden eingesetzt werden soll. Die KI muss nicht nur die korrekte Zeichnung chemischer Formeln erkennen, sondern auch in der Lage sein, fehlerhaft gezeichnete Formeln zu interpretieren und die von den Lernenden gemachten Fehler zu erkennen. Für eine adaptive Anpassung an das Kompetenzniveau und den Lernprozess der Lernenden ist genau diese Fähigkeit erforderlich. Dieser Aspekt wurde bisher in der Forschung nicht berücksichtigt, weshalb die folgende erste unkonventionelle, aber wichtige Forschungsfrage des Projekts *OrChemSTAR* sich klar von früheren Forschungsarbeiten unterscheidet:

Forschungsfrage 1: Können neuronale Netze ausreichend trainiert werden, um typische Lernendenfehler in handgezeichneten Strukturformeln zu erkennen?

Wenn es möglich wird, die Fehler der Lernenden in den Zeichnungen von Formeln zu erkennen und zu klassifizieren, kann dies als Grundlage für adaptive Unterstützung genutzt werden. Es ist jedoch derzeit unklar, ob und wie Lernenden effektiv beim Lernen durch die Ansprache der identifizierten Fehler und der Bereitstellung adaptiver Hilfen geholfen werden kann. Es ist jedoch anzunehmen, dass interaktive dreidimensionale Darstellungen Lösungsansätze und Verbesserungshilfen besser veranschaulichen als planare Projektionen. Darüber hinaus liegt es nahe, dass eine immersive Verbindung des Lerninhalts mit den Ausgangszeichnungen, wie sie mit AR implementiert werden kann, grundsätzlich vorteilhaft ist. Daraus folgt die zweite Forschungsfrage:

Forschungsfrage 2: Unter welchen Bedingungen ist der Einsatz einer AR-App zum Erkennen gedruckter und handgezeichneter chemischer Formeln, die mehrere Darstellungen der erkannten chemischen Verbindungen anzeigen kann, beim problemorientierten Lernen des Zeichnens chemischer Formeln erfolgreich?

Insgesamt wird erwartet, dass die Lernenden die neu entwickelte AR-App sowohl zum Kodieren als auch zum Dekodieren der Formalismen für das Zeichnen chemischer Verbindungen sowie zum Erwerb spezieller chemischer Kenntnisse wie Stereochemie verwenden. Um die Lerneffektivität des geplanten Konzepts zu analysieren, wird der Einfluss der Lernumgebung (in drei Stufen: EG1 – adaptives Lernen: AR passt sich an Lernende an und bietet individuelle Lernpfade; EG2 – technische Adaptivität: AR passt sich an Kontext und Inhalt an; KG – keine Adaptivität: nur AR) auf den Erwerb fachspezifischen Wissens und fachspezifischer Kompetenzen in einem Prä-Post-Design untersucht. Darüber hinaus wird die Akzeptanz der App sowie die kognitive Belastung und die intrinsische Motivation während des Lernens mit der App gemessen. Zusätzlich werden die Teilnehmenden der Laborstudie eingehender interviewt. Eye-Tracking-Studien werden durchgeführt, um tiefere Einblicke in die kognitive Informationsverarbeitung während des Lernens mit der App zu gewinnen (z.B. Aufmerksamkeit und extrinsische kognitive Belastung). All dies wird durchgeführt, um die dritte Forschungsfrage des Projekts zu beantworten:

Forschungsfrage 3: Unter welchem Maß an Adaptivität lernen Schüler*innen am besten mit einer AR-App zu chemischen Strukturformeln und wie groß sind die Effektstärken der verschiedenen Interventionen (adaptives Lernen vs. technische Adaptivität vs. keine Adaptivität)?

2 Methoden

Das Projekt *OrChemSTAR* soll zwei hochaktuelle Forschungsbereiche der naturwissenschaftlichen Bildung zusammenführen und in der Synthese ein neues Forschungs- und Anwendungsfeld mit besonderer Relevanz für die Unterrichtspraxis im Che-

mieunterricht schaffen. Als Beispiel wird untersucht, in welcher Form Intelligente Tutorielle Systeme Lernende am besten beim Lernen in einer AR-Umgebung unterstützen können. Um die formulierten Forschungsfragen sowohl in Laborstudien als auch im Feld untersuchen zu können, wird zunächst die erforderliche AR-App entwickelt, die gedruckte und handgezeichnete chemische Molekül- und Strukturformeln erkennt und je nach Bedarf der Lernenden eine oder mehrere zwei- und dreidimensionale Darstellungen der erkannten Strukturen über die jeweiligen Formeln legt. In einem Tutorial-Modus kann die App verwendet werden, um Lernenden zu helfen, chemische Formeln in verschiedenen Darstellungen zu zeichnen und somit fachspezifische Kommunikationsfähigkeiten aufzubauen. Die App sollte in der Lage sein, Lernschwierigkeiten der Benutzer*innen zu erkennen und adaptiv individuelle Lernpfade bereitzustellen. Da Tablets weit verbreitet und leicht zugänglich sind, wird die App zunächst für Tablets bereitgestellt. Head-Mounted-Devices wie Smartglasses bieten dagegen große Chancen für den Einsatz in Experimenten, da die Hände frei bleiben.

Der Kern dieses Forschungsprojekts ist die Durchführung einer ersten Pilotstudie zur Lerneffektivität, Akzeptanz und den Erfolgsbedingungen der Integration intelligenter Tutorieller Systeme in eine mobile AR-Lernumgebung. Der Grad der Adaptivität (adaptives Lernen vs. technische Adaptivität) wird verglichen, um die Effektstärke der Implementierung zu bestimmen. Zu diesem Zweck wird zunächst in Zusammenarbeit mit Chemielehrenden an Schulen und Universitäten das am besten geeignete Lernmaterial für die Untersuchungen erörtert. Bekannte häufige und mögliche Fehler und Missverständnisse werden gesammelt und ein Pool von Zeichnungen ausgewählter chemischer Formeln mit typischen Fehlern zusammengestellt. Lernpfade zur Erkennung eigener Fehler und zum adaptiven Lernen aus eigenen Fehlern werden zusammengestellt.

In einem Prätest-Posttest-Design werden die Auswirkungen der Interventionsbedingungen auf den Erwerb von Fachwissen und fachspezifischer Kommunikationskompetenz sowie die Akzeptanz und Einstellungen zu AR und KI im Chemieunterricht (nach Davis, 1998; Holden & Rada, 2011; Mayer & Girwidz, 2020) bewertet. Als Kontrollvariablen werden die mentale räumliche Rotationsfähigkeit (nach Peters et al., 1995), die kognitive Belastung (nach Thoms, 2019), das Flow-Erleben (nach Rheinberg et al., 2003) und die intrinsische Motivation (nach Wilde et al., 2009) der Lernenden erfasst. Datenquellen werden durch qualitative Interviews zu den Lernerfahrungen in der Lernumgebung und explorative Eye-Tracking-Studien zu den Augenbewegungen während des Lernens in AR ergänzt.

3 Fazit und Ausblick

OrChemSTAR hat das Potenzial, zwei bisher unabhängige Forschungszweige in der naturwissenschaftlichen Bildung zusammenzuführen und somit ein neues, besonders vielversprechendes Forschungsfeld in der naturwissenschaftlichen Bildung zu eröffnen. Künstliche Intelligenz zur Erkennung von Fehlern (der Lernenden und nicht nur technischer Natur) könnte in Zukunft für die automatisierte Bewertung von Tests und Prüfungen in Schulen und Universitäten eingesetzt werden (Zhang et al., 2023). Für

Menschen mit besonderen Bedürfnissen (z. B. Sehbehinderte) kann die kontextuelle Erkennung chemischer Formeln chemische Inhalte zugänglich machen (Knaeble et al., 2022) – dies gilt sowohl für die Chemieausbildung als auch für chemiebezogene Berufe. Aufgrund des weitreichenden Potenzials von KI und AR im naturwissenschaftlichen Unterricht steht eine frühzeitige evidenzbasierte Untersuchung der Bedeutung von KI und AR für den Chemieunterricht und damit als notwendiger Bestandteil naturwissenschaftlicher digitaler Kompetenzen von Lehrkräften und der naturwissenschaftlichen Lehrerausbildung aus (Huwer et al., 2024).

Förderhinweis

Das Projekt „OrChemSTAR – Organic Chemistry Science Teaching and Learning with Augmented Reality“ (Projektnummer: CRSK-1_221108) wird gefördert durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF).

Literatur

- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Chen, S.-Y. & Liu, S.-Y. (2020). Using augmented reality to experiment with elements in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, 111, 106418. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106418>
- Garzón, J. & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of Augmented Reality on students' learning gains. *Educational Research Review*, 27, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001>
- Gomollón-Bel, F. (2022). IUPAC top ten emerging technologies in chemistry 2022: Discover the innovations that will transform energy, health and materials science to tackle the most urgent societal challenges and catalyse sustainable development. *Chemistry International*, 44(4), 4–13. <https://doi.org/10.1515/ci-2022-0402>.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Henne, A., Syskowski, S., Krug, M., Möhrke, P., Thoms, L.-J. & Huwer, J. (2024). How to Evaluate Augmented Reality Embedded in Lesson Planning in Teacher Education. *Education Sciences*, 14(3), 264. <https://doi.org/10.3390/educsci14030264>
- Herron, J. D. & Greenbowe, T. J. (1986). What can we do about Sue: A case study of competence. *Journal of Chemical Education*, 63(6), 528. <https://doi.org/10.1021/ed063p528>
- Holden, H. & Rada, R. (2011). Understanding the Influence of Perceived Usability and Technology Self-Efficacy on Teachers' Technology Acceptance. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(4), 343–367. <https://doi.org/10.1080/15391523.2011.10782576>
- Huwer, J., Becker-Genschow, S., Thyssen, C., Thoms, L.-J., Finger, A., von Kotzebue, L., Kremser, E., Meier, M. & Bruckermann, T. (Hrsg.). (2024). *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz: Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. Waxmann.
- Johnstone, A. (1983). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 337–379.
- Johnstone, A. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>

- Knaeble, M., Chen, Z., Schwarz, T., Sailer, G., Yang, K., Stiefelhagen, R. & Maedche, A. (2022). Accessible chemical structural formulas through interactive document labeling. In K. Miesenberger, G. Kouroupetroglou, K. Mavrou, R. Manduchi, M. Covarrubias Rodriguez & P. Penáz (Hrsg.), *Computers helping people with special needs* (S. 38–46). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08648-9_6.
- Kozma, R. B. (2020). Use of multiple representations by experts and novices. In P. Van Meter, A. List, D. Lombardi & P. Kendeou (Hrsg.), *Handbook of Learning from Multiple Representations and Perspectives*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429443961>
- Kozma, R. & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. Gilbert (Hrsg.), *Visualization in science education* (S. 121–145). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_8.
- Mayer, P. & Girwidz, R. (2019). Physics Teachers' Acceptance of Multimedia Applications – Adaptation of the Technology Acceptance Model to Investigate the Influence of TPACK on Physics Teachers' Acceptance Behavior of Multimedia Applications. *Frontiers in Education*, 4, 73. <https://doi.org/10.3389/educ.2019.00073>
- Mazzuco, A., Krassmann, A. L., Reategui, E. & Gomes, R. S. (2022). A systematic review of augmented reality in chemistry education. *Review of Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1002/rev3.3325>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Proc. SPIE Proceedings*, 2351, 282–292. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Peters, M., Laeng, B., Latham, K., Jackson, M., Zaiyouna, R. & Richardson, C. (1995). A Redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test – Different Versions and Factors That Affect Performance. *Brain and Cognition*, 28(1), 39–58. <https://doi.org/10.1006/brcg.1995.1032>
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept* (S. 261–279). Hogrefe.
- Sahin, D. & Yilmaz, R. M. (2020). The effect of Augmented Reality Technology on middle school students' achievements and attitudes towards science education. *Computers & Education*, 144, 103710. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103710>
- Sunyono, S., Yuanita, L. & Ibrahim, M. (2015). Supporting students in learning with multiple representation to improve student mental models on atomic structure concepts. *Science Education International*, 26(2), 104–125.
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P. & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- Thoms, L.-J. (2019). *Spektrometrie im Fernlabor*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-25708-8>
- Wilde, M., Bätz, K., Kovaleva, A. & Urhahne, D. (2009). Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM). *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 31–45.
- Zhang, T., Wang, Y., Jin, X., Gu, Z., Zhang, X. & He, B. (2023). An auto-grading oriented approach for off-line handwritten organic cyclic compound structure formulas recognition. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 135(3), 2267–2285. <https://doi.org/10.32604/cmescs.2023.023229>.

Keywords: Künstliche Intelligenz, Augmented Reality

David Johannes Hauck, Andreas Steffen und Insa Melle

Veranschaulichen, Vertiefen, Verstehen: Interaktive Lernvideos zur Molekülorbitaltheorie

1 Theoretische Vorüberlegungen & Lernziele

Die Molekülorbital(MO-)theorie gilt als gleichermaßen erklärmächtig wie schwierig zu erlernen. Ursachen hierfür sind sowohl der hohe Abstraktionsgrad, wenn chemische Bindungen auf Quantenebene beschrieben werden, als auch die herausfordernden mathematischen Grundannahmen der Theorie (Taber, 2005; Tsaparlis, 1997). Trotz ihrer Komplexität müssen Studierende sich an vielen Universitäten bereits früh mit den Grundlagen auseinandersetzen, insbesondere wenn das Curriculum einem *Atoms First*-Ansatz folgt (Esterling & Bartels, 2013). Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass die Eigenschaften und Wechselwirkungen von Atomen und Molekülen zunächst auf submikroskopischer Ebene unter Berücksichtigung und Erläuterung der Elementarteilchen-Eigenschaften (z. B. Welle-Teilchen-Dualismus von Elektronen) ausführlich thematisiert werden, bevor Phänomene auf makroskopischer Ebene damit erklärt werden (Esterling & Bartels, 2013).

Zugleich soll die Theorie auch an einigen Schulen unterrichtet werden, seit Einführung des LehrplanPLUS beispielsweise an bayerischen Gymnasien ab Klasse 9 (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus [StMUK], 2024).

Wofür braucht die Chemie die MO-Theorie? 1

Es gibt e
Die VB-
=

Grundsätzliche Ansätze 2

Spezielle
Elektronen-
Hybridis-
→ Stand-
Lokalisierte
(sogen. 2-Z-
Um zu e
der AOs

Wer kann mit wem? 3

Wie sehen MOs für heteronukleare Moleküle AB aus? 4

Zusammenfassung: 5 Schritte zum MO-Diagramm 5

1. Notieren Sie die Valenzelektronenkonfigurationen aller beteiligten Atomspiezies.
2. Zeichnen Sie einen beschrifteten Energiefeil.
3. Zeichnen Sie die Valenzatomorbitale auf der linken und rechten Seite des Diagramms ein.
4. Zeichnen Sie die Molekülorbitale in der Mitte ein und verbinden Sie sie mit den Atomorbitalen.
5. Tragen Sie Elektronen gemäß Aufbau-Prinzip, Pauli-Prinzip und Hund'scher Regel in die Molekülorbitale ein.

Und jetzt: Üben! Erstellen Sie selbst MO-Diagramme zu zweiatomigen Verbindungen und vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit den bekannten Beispielen aus den Videos, der Vorlesung, der Literatur, etc.

11



Zu den Videos

Abbildung 1: Links: Auszüge aus der digitalen Lernumgebung. Das jeweils zugehörige Video ist mit der Zahl in der oberen rechten Ecke gekennzeichnet. Rechts: QR-Code, der zur Webseite mit den interaktiven Videos führt.

Um Lernende zu unterstützen, wurde eine digitale Lernumgebung entwickelt, die insgesamt 5 interaktive Videos umfasst. Inhaltlich schließen diese an die Grundvorlesung „Allgemeine und Anorganische Chemie“ an, die Erstsemesterstudierende der Chemie, der Chemischen Biologie und des Lehramts Chemie an der TU Dortmund besuchen. Sie können auch in Gymnasien oder berufsbildenden Schulen eingesetzt werden. Auszüge der Lernumgebung sind in Abbildung 1 dargestellt. Nach einer Einführung in das Thema (Video 1) werden die quantentheoretischen Grundlagen der MO-Theorie mit besonderem Fokus auf der Linearkombination von Atomorbitalen (kurz *LCAO* vom engl. *Linear Combination of Atomic Orbitals*) wiederholt (Video 2) und zunächst auf zweiatomare homonukleare Verbindungen aus Elementen der ersten beiden Perioden angewendet (Videos 2 & 3). Im Anschluss werden heteronukleare Verbindungen dieser Elemente betrachtet (Video 4), bevor die Lernumgebung mit einer Wiederholung der Erstellung von MO-Energieniveaudiagrammen (Video 5) abschließt. Interessierte können die Videos über den QR-Code in Abbildung 1 oder direkt über den folgenden Link abrufen und für eigenen Unterricht und Lehrveranstaltungen nutzen: <https://motheorie.ccb.tu-dortmund.de/>.

2 Die Lernvideos

Die Videos wurden zunächst nach den Prinzipien der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens (Mayer, 2014) mit Hilfe von *Microsoft PowerPoint* erstellt: In Abbildung 2 sind exemplarisch die Realisierung des Multimediaprinzips durch die Kombination des MO-Schemas mit begleitenden Texterklärungen sowie des Signalierungsprinzips durch die grüne Hervorhebung der einfach besetzten entarteten antibindenden π^* -Molekülorbitale zu sehen. Jedes Video wurde anschließend um zwei Arten interaktiver Elemente ergänzt, die mit Hilfe der Software *H5P* (engl. *HTML5 Package*, <https://h5p.org/interactive-video>) erstellt wurden: Erstens ermöglichen optionale Hilfeschnittflächen (s. Abb. 2) den Lernenden, notwendige Grundlagenkenntnisse zu reaktivieren. Dadurch, dass diese Hilfen unmittelbar in das Video integriert sind, können sie bei Bedarf direkt an der passenden Stelle genutzt werden, ohne dass die Lernenden separat recherchieren müssten.

Zweitens sollen verpflichtend zu beantwortende Single-Choice-Fragen (Abb. 3) die Lernenden beim Betrachten der Videos aktivieren und ihnen gleichzeitig ermöglichen, den eigenen Lernfortschritt zu kontrollieren. Durch die integrierte Rückmeldung nach jeder Frage erhalten sie Feedback, ob sie gegebenenfalls einzelne Videopassagen erneut schauen sollten, die zur Strukturierung mit Kapitelmarken gekennzeichnet sind, wodurch auch das Segmentierungsprinzip (Mayer, 2014) berücksichtigt wurde. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, die Wiedergabegeschwindigkeit dem eigenen Lerntempo anzupassen. Ein weiterer Vorteil der *H5P*-Inhalte besteht darin, dass diese sich flexibel in jede *HTML*-Umgebung einbetten lassen, unter anderem in Lernmanagementsysteme wie *Moodle* oder in eine Webseite.

Und wie trage ich das in ein MO-Diagramm ein?

Das „Standardschema“

1s-Orbitale wie gehabt (liegen energetisch tiefer)
 2s- und 2p-Orbitale spalten sich jeweils getrennt voneinander auf
 2s-Orbitale bilden σ_{2s} und σ_{2s}^* ; 2p_x-Orbitale bilden σ_{2p} und σ_{2p}^*
 2p_y- und 2p_z-Orbitale bilden jeweils ein π - und ein π^* -Orbital

Beispiel: O₂

Ausführliche Erklärung: Anwendung der Hundschen Regel

Abbildung 2: Beispiel für eine Hilfschaltfläche zur Anwendung der Hundschen Regel. Durch Klick auf das blaue „Plus“ kann die Hilfe geöffnet werden.

2.1 Video 1: „Einführung“

Das erste Video dient als Heranführung zu den interaktiven Videos. Um die Notwendigkeit der MO-Theorie zu verdeutlichen, werden zwei Phänomene illustriert, die die (einfache) Valenzbindungs(VB-)theorie nicht erklären kann: das paramagnetische Verhalten des Sauerstoffs und die unterschiedlichen Bindungsenergien im Methanmolekül. Im Anschluss werden sowohl die benötigten quantentheoretischen Grundlagen als auch die Themen und der Aufbau der weiteren interaktiven Lernvideos vorab dargestellt.

2.2 Video 2: „Eine neue Theorie muss her“

Im zweiten Video wird mit der LCAO ein Ansatz eingeführt, Molekülorbitale mathematisch anzunähern. Da es Lernenden oftmals schwerfällt, einander ähnliche Konzepte voneinander zu trennen (Taber, 2005), werden die Grundannahmen der MO- und VB-Theorie gegenübergestellt. Hierdurch sollen Unterschiede zwischen dem LCAO-Ansatz (MO-Theorie) und der Hybridisierung (VB-Theorie) von vornherein deutlich gemacht werden. Besonderes Augenmerk wird auf den folgenden zentralen Unterschied der beiden Theorien gelegt: Im Rahmen der MO-Theorie werden Molekülorbitale als delokalisiert über das gesamte Kerngerüst eines Moleküls beschrieben; die Hybridorbitale der VB-Theorie hingegen werden als lokalisiert an den einzelnen Atomkernen der Bindungspartner beschrieben. Daran anknüpfend werden die konstruktive und destruktive Orbitalinterferenz und das Überlappungsintegral als zentrale Konzepte der MO-Theorie eingeführt und am Beispiel der 1s-Orbitale des Wasserstoffs illustriert. An dieser Stelle wird insbesondere betont, dass die Erniedrigung der

Gesamtenergie des Moleküls im Vergleich zum atomaren Grundzustand die Triebkraft hinter der chemischen Bindung ist. Diese wird dann erreicht, wenn mehr Elektronen die energetisch günstigeren bindenden als die ungünstigeren antibindenden Molekülorbitale besetzen.

Visualisiert werden diese theoretischen Grundlagen anhand eines qualitativen Energieniveaudiagramms, durch das die Bindungsordnung als charakteristische Größe zur Beschreibung der effektiven Elektronendichte zwischen den Bindungspartnern eingeführt wird. In diesem Zusammenhang werden auch das Aufbau-Prinzip und das Pauli-Prinzip zur Besetzung von Orbitalen wiederholt. Um die Berechnung und Interpretation der Bindungsordnung zu üben, schließt das Video mit drei Anwendungsbeispielen: dem Dihelium-Molekül, He_2 (nicht existent, da Bindungsordnung 0), dem einfach positiv geladenen Dihelium-Kation (He_2^+ , existiert mit kovalentem Bindungsanteil, da Bindungsordnung 0.5) sowie dem Dilithium-Anion (Li_2^- , analog zu He_2^+). Zur Selbstkontrolle wird das Video bei jedem Diagramm durch eine Single-Choice-Frage angehalten, damit die Lernenden die Berechnung von Bindungsordnungen üben können.

2.3. Video 3: „Bor bis Neon oder: Wie kombinieren s- und p-Orbitale?“

Das dritte Video erweitert die theoretischen Grundlagen aus den ersten beiden, indem mögliche Kombinationsmöglichkeiten der s- und p-Orbitale diskutiert (vgl. Abb. 3) und tabellarisch zusammengefasst werden. Anschließend werden diese Inhalte auf das Energieniveaudiagramm des Sauerstoffs übertragen. Unter Berücksichtigung der Hundschen Regel kann hiermit das paramagnetische Verhalten des Moleküls erklärt werden. Eine Komplikation bei biatomaren Verbindungen stellt die 2s-2p-Wechselwirkung dar, die bei den Elementen Bor bis Stickstoff auftritt. Da die Energiedifferenz zwischen 2s- und 2p-Niveau niedrig ist, tritt eine Mischung dieser Orbitale auf, wodurch das bindende σ_{2s} -MO energetisch über das bindende π -MO angehoben wird. Daraus ergibt sich für diese Elemente eine andere energetische Abfolge, die anhand des Bor-Moleküls veranschaulicht wird. Zur Übung schließt dieses Video mit zwei Anwendungsbeispielen ab, bei denen Lernende schrittweise dazu geführt werden, Elektronen in die Energieniveaudiagramme des Difluor-Kations (F_2^+) und des Stickstoffs (N_2) einzutragen.

2.4. Video 4: „Heteronukleare Verbindungen oder: Was passiert, wenn unterschiedliche Atome kombinieren?“

Wurden in den ersten Videos ausschließlich homonukleare Verbindungen behandelt, werden die Grundlagen der MO-Theorie nun auf den heteronuklearen Fall übertragen. Als einführendes Beispiel dient dabei Kohlenstoffmonooxid (CO), dessen experimentelle Messungen der Bindungslänge und Elektronendichte sich in keiner klassischen Lewis-Schreibweise darstellen lassen. Heteromoleküle besitzen die Besonderheit,

Wer kann mit wem?

Welche Art von Molekülorbital entsteht, wenn die hier angezeigten Atomorbitale " p_x " und " s " interferieren?

Antibindendes Molekülorbital mit σ -Charakter (σ^* -MO)

Bindendes Molekülorbital mit σ -Charakter (σ -MO) **✗**

Nichtbindendes Molekülorbital

Molekülorbital mit π -Charakter (π -MO)

Bedingung 2
Passende Symmetrie

n zu können, muss die Gesamtüberlappung positiv ($S > 0$) bzw. negativ ($S < 0$) sein.

aktive Interferenz

Abbildung 3: Beispiel für eine Single-Choice-Frage in Video 3. Das Video stoppt, bis die Frage beantwortet wurde. Falls sie falsch antwortet, erfolgt korrekatives Feedback.

dass das Energieniveaudiagramm in Richtung des elektronegativeren Partners „gekippt“ werden muss, da dessen Atomorbitale durch die höhere effektive Kernladung energetisch zusätzlich stabilisiert werden. Dies wird anhand eines allgemeinen Energieniveaudiagramms für heteronukleare biatomare Verbindungen vorgestellt und direkt am Beispiel des Kohlenstoffmonooxids angewendet. Schließlich werden nichtbindende Molekülorbitale anhand des MO-Diagramms von Fluorwasserstoff (HF) eingeführt, da den drei $2p$ -Atomorbitalen des Fluors lediglich ein $1s$ -Orbital des Wasserstoffs gegenübersteht und zwei von ihnen demnach nicht linearkombinieren.

2.5. Video 5: „5 Schritte zur Erstellung von MO-Diagrammen“

Im fünften und letzten Video werden keine neuen Inhalte eingeführt, sondern die Schritte zur Erstellung der Energieniveauschemata an den Beispielen aus den vorhergehenden Videos wiederholt. Am Ende des Videos erhalten die Lernenden eine zusammenfassende Anleitung, um eigenständig MO-Diagramme zu erstellen und auszuwerten.

3 Evaluation

Die Videos wurden zwischen dem WiSe 2020/21 und dem WiSe 2023/24 über vier Zyklen hinweg weiterentwickelt und im Rahmen von Übungen zur Grundvorlesung mit insgesamt $N = 364$ Erstsemesterstudierenden der Chemie, der Chemischen Biologie, des Lehramts Chemie für Gymnasien und Gesamtschulen sowie des Nebenfachs Chemie an der TU Dortmund mehrfach quantitativ evaluiert. Dabei wurden die Materialien von den Studierenden sowohl allgemein als auch in puncto technischer Bedienbarkeit und kognitiver Belastung als sehr positiv eingeschätzt (vgl. Hauck et al., 2023a) und erwiesen sich auch als äußerst lernwirksam (vgl. Hauck et al., 2023b). Somit kann resümiert werden, dass es sich um eine effektive Umgebung zur Molekülorbitaltheorie handelt, die an der TU Dortmund in den regulären Vorlesungszyklus implementiert wurde.

Literatur

- Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (Hrsg.). (2024). *LehrplanPLUS Bayern*. lehrplanplus.bayern.de/fachprofil/gymnasium/chemie
- Esterling, K. M. & Bartels, L. (2013). Atoms-First Curriculum: A Comparison of Student Success in General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 90(11), 1433–1436. <https://doi.org/10.1021/ed300725m>
- H5P. *Interactive Video*. <https://h5p.org/interactive-video>
- Hauck, D. J., Steffen, A. & Melle, I. (2023a). A Digital Collaborative Learning Environment to Support First-Year Students in Learning Molecular Orbital Theory. In M. Rusek, M. Tóthová & D. Koperová (Hrsg.), *Project-based Education and Other Student-Activation Strategies and Issues in Science Education XX* (S. 178–192). Charles University, Faculty of Education. https://pages.pedf.cuni.cz/pbe/files/2023/09/ConferenceProceedings_PBE2022_final.pdf
- Hauck, D. J., Steffen, A. & Melle, I. (2023b). Supporting first-year students in learning molecular orbital theory through a digital learning unit. *Chemistry Teacher International*, 5(2), 155–164. <https://doi.org/10.1515/cti-2022-0040>
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 43–71). Cambridge University Press.
- Taber, K. S. (2005). Learning quanta: Barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education*, 89(1), 94–116. <https://doi.org/10.1002/sce.20038>
- Tsaparlis, G. (1997). Atomic orbitals, molecular orbitals and related concepts: Conceptual difficulties among chemistry students. *Research in Science Education*, 27(2), 271–287. <https://doi.org/10.1007/BF02461321>

Keywords: Molekülorbitaltheorie; Interaktive Lernvideos; H5P

Professionalisierung von Lehrkräften im Projekt MINT-ProNeD

1 Hintergrund

Mit der im Zuge der PISA-Studien 2015–2022 gemessenen dritten Verschlechterung der naturwissenschaftlichen Kompetenzen deutscher Schülerinnen und Schüler (SuS) in Folge ist die Notwendigkeit für Veränderungen offensichtlich. Ein wichtiges Ergebnis der PISA-Studie 2022 ist unter anderem die (unverändert) überdurchschnittliche Heterogenität hinsichtlich des sozioökonomischen Status der SuS (Lewalter et al., 2023). Insbesondere in Deutschland hängt dieser stark mit schulischer Leistung und dem Kompetenzerwerb zusammen (Kang & Cogan, 2020; Stanat et al., 2022). Im Kontext dieser Erkenntnisse und Zusammenhänge sowie des schlechten Abschneidens im Zuge der PISA-Studie 2022 ist es unerlässlich, adaptive – die individuellen Voraussetzungen aller SuS berücksichtigende (Corno, 2008) – Fördermaßnahmen zu konzipieren.

Aufgabe der schulischen Ausbildung ist jedoch nicht nur die Vermittlung fachlicher Kompetenzen, sondern auch die Vorbereitung von SuS auf die Berufswelt sowie deren Befähigung zur gesellschaftlichen Teilhabe (Fend, 1980). Die Vermittlung dafür notwendiger prozessbezogener Kompetenzen nimmt daher eine ebenso wichtige Rolle ein. Prozessbezogene Kompetenzen sind übergeordnete, fachliche Kompetenzen (z. B. Problemlöse-, Kommunikations- und Bewertungskompetenzen), die nicht an konkrete Inhalte eines Unterrichtsfachs gebunden sind. Schülerinnen und Schüler sollen durch ihren Erwerb befähigt werden, u. a. allgemeine Handlungs- und Denkweisen zur erfolgreichen Bewältigung diverser Aufgabentypen zu entwickeln. Insbesondere da SuS somit auf zukünftige – teilweise noch nicht absehbare – Herausforderungen in Beruf und Alltag vorbereitet werden können, muss die Vermittlung prozessbezogener Kompetenzen auch im Zuge des naturwissenschaftlichen Unterrichts hohe Priorität haben bzw. die Förderung ebendieser explizit betrieben werden (Kultusministerium, 2016).

Der zwar langsam aber stetig stattfindende Einzug der Digitalisierung in das Bildungssystem bietet in diesem Zusammenhang einen breiten Rahmen mit neuen, vielfältigen Möglichkeiten und Ansätzen, die lernförderliche Gestaltung von Unterricht mittels Zukunftstechnologien wie Mixed Reality und Künstlicher Intelligenz (KI) anzupacken.

2 Das Projekt MINT-ProNeD

2.1 Übersicht

Digitale Technologien haben das Potenzial, Lehrkräften die Möglichkeit zu geben, adaptiven Unterricht zur optimalen Förderung aller SuS im Schulalltag umzusetzen. Aus diesem Ansatz heraus thematisiert das Projekt „MINT-ProNeD“, als eines von vier Kompetenzzentren des Kompetenzverbunds „lernen:digital“, die evidenzbasierte Förderung adaptiver, prozessbezogener digital-gestützter Innovationen in der MINT-Lehrkräftebildung.

In einem ersten Schritt steht die Förderung digital-adaptiver Unterrichtskompetenzen von Lehrkräften im Fokus, mittels welcher sie in die Lage versetzt werden sollen, prozessbezogene Kompetenzen heterogener Schülerschaften mithilfe von digitalen Technologien zu fördern. In enger Zusammenarbeit mit den Lehrkräften wird – in einem zweiten Schritt – die Entwicklung prozessbezogener Kompetenzen fördernder Lernumgebungen angegangen. Zur Umsetzung dieser Ziele besteht eine Kooperation verschiedener Universitäten, Hochschulen und Landesbildungsinstituten, welche – organisiert in drei Netzwerken – folgende Tätigkeiten übernehmen (s. auch Abb. 1):

- Netzwerk 1 (NW1): Erstellung und Durchführung von Weiterbildungsangeboten für Lehrkräfte und Multiplikatoren.
- Netzwerk 2 (NW2): Entwicklung von Lernumgebungen in enger Kooperation mit Lehrkräften sowie Beratung und Unterstützung dieser bei der Durchführung digital-adaptiven Unterrichts.
- Netzwerk 3 (NW3): Findung und Erprobung zweckmäßiger Zukunftstechnologien (z. B. AR, VR und KI) sowie Erstellung entsprechender Nutzungskonzepte.

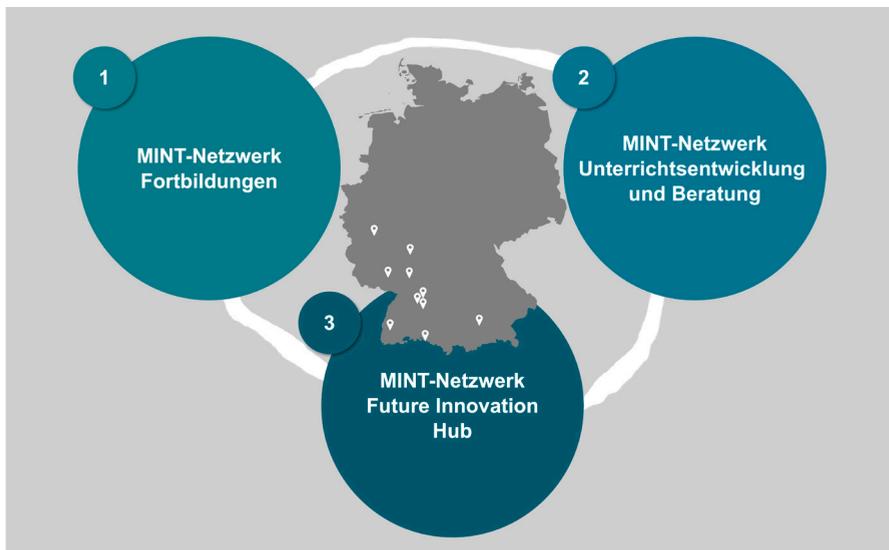


Abbildung 1: Organisationsstruktur MINT-ProNeD

2.2 MINT-ProNeD am Standort Konstanz

Der Projektstandort Konstanz ist explizit in NW1 und NW2 tätig. Naturwissenschafts- und Informatikdidaktik setzen sich hierbei schwerpunktmäßig mit den Möglichkeiten von Zukunftstechnologien im Unterricht und der Förderung informatischer und KI-bezogener Grundkenntnisse sowie digital gestützter Messwerterfassung und Datenverarbeitung auseinander. Hierzu angebotene Fortbildungen (NW1) sind so konzipiert, dass sie grundlegend für Lehrkräfte aller naturwissenschaftlichen Fächer sowie der Informatik geeignet sind, Beispiele jedoch fachspezifisch gegeben werden.

Die Entwicklung bzw. Anpassung der Weiterbildungsangebote und die Durchführung der Unterrichtsberatungen am Standort orientieren sich maßgeblich am naturwissenschaftsspezifischen Kompetenzrahmen „DiKoLAN“ (Kotzebue et al., 2021) und dem DPACK-Modell (Huwer et al., 2019; Thyssen et al., 2023) sowie unter anderem an den folgenden Fragen:

- Über welche DiKoLAN-bezogenen Kompetenzen müssen Lehrkräfte hinsichtlich der benannten Ziele verfügen?
- Welche DiKoLAN-bezogenen Kompetenzen müssen Lehrkräfte diesbezüglich noch bzw. nicht mehr erwerben?

Somit wird sichergestellt, dass die angebotenen Weiterbildungsmaßnahmen theoretisch fundiert und adressatengerecht aufgebaut sind.

Im Folgenden soll die Konzeption des Unterrichtsentwicklungs- und -beratungsangebots genauer beleuchtet werden.

3 Unterrichtsentwicklung und -beratung in MINT-ProNeD

Im Kontrast zu den inhaltlich breiter angelegten Weiterbildungsangeboten der NW1-Aktivitäten, zielt die Unterrichtsentwicklung und Beratung (NW2) darauf ab, individuellere Lösungen für konkrete Anliegen zu finden. Die Angebote aus NW2 schließen zwar an die in NW1-Weiterbildungsangeboten erwerbenden Grundlagen an – ein Besuch dieser ist aber nicht obligatorisch oder zwingend notwendig. Vielmehr können Lehrkräfte in den NW1-Weiterbildungsangeboten einen Überblick über verschiedene Zukunftstechnologien und deren diverse Einsatzmöglichkeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht erhalten und ausgehend davon Ideen und Vorstellungen für die Nutzung zur Gestaltung ihres Unterrichts entwickeln. In NW2 fungiert der Standort als Anlaufstelle für tiefgehend interessierte Lehrkräfte und berät diese zum einen bei eigenen Ideen zum Einsatz der in einer Weiterbildung kennengelernten Technologien in ihrem Unterricht bzw. zur Lösung eines individuellen Problems. Dies kann bspw. eine Betrachtung der technischen Machbarkeit sowie der didaktischen Überlegungen hinsichtlich des Werts der entsprechenden Maßnahmen, die dem Einsatz von Technologie zugrunde liegen, umfassen. Zum anderen wird selbstverständlich auch Unterstützung bei der Generation von spezifischen Ideen zur Nutzung von Zukunftstechnologien für die Gestaltung adaptiven Naturwissenschaftsunterrichts angeboten.

Zusätzlich zu den beschriebenen Beratungsangeboten ist geplant, in enger Kooperation mit den Lehrkräften, an der Umsetzung der jeweiligen Vorstellungen zu arbeiten bzw. diese dabei zu unterstützen. Es soll insbesondere auf von den Lehrkräften berichtete Problemstellen eingegangen und – je nach Bedarf – entsprechende Anwendungen oder Lernszenarien entworfen werden. Hierfür sind verschiedene Kooperationsformate geplant:

- Zusammenarbeit mit einzelnen Lehrkräften; dies ermöglicht eine intensive Auseinandersetzung mit individuellen Anliegen der Lehrkräfte und die Erstellung maßgefertigter Lösungen. Die Entwicklung digital-adaptiver Kompetenzen kann hierbei besonders fokussiert werden.
- Zusammenarbeit mit einer Gruppe von Lehrkräften eines Kollegiums oder Kollegien verschiedener Schulen in Form von „professionellen Lerngemeinschaften“ (PLGs).

Die Bildung von und Arbeit in solchen PLGs gilt als effektives Format, um Lehrkräfte bei der (ggf. standortspezifischen) (Weiter-)Entwicklung ihres Unterrichts zu unterstützen, da nicht nur ein Austausch zwischen Lehrkräften und begleitender Hochschule, sondern auch zwischen den Lehrkräften eines oder mehrerer Kollegien angeregt bzw. initiiert wird (Bonsen & Rolff, 2006; Huber, 2020). PLGs stellen insbesondere eine vielversprechende Möglichkeit zur Erhöhung der Innovationsbereitschaft der beteiligten Lehrkräfte (und tragen damit folglich zur Optimierung von naturwissenschaftlichem Unterricht bei) sowie eine nachhaltigere Alternative zu „One-Shot-Fortbildungen“ dar (Gräsel et al., 2006).

Die Unterrichtsentwicklung im Zuge der NW2-Aktivitäten orientiert sich an einem Co-Design Ansatz (z. B. Sibley et al. (2023)), wobei die Generierung spezifischer Materialien und Unterrichtsszenarien dem Prinzip der Partizipativen Aktionsforschung (PAF) (Eilks & Ralle, 2002) entsprechen soll. PAF stellt ein zyklisches, iteratives Vorgehen dar – Weiterentwicklungen von Lernszenarien werden hierbei immer auf Basis vorangehender Erprobungen und Evaluationen vorgenommen. Die Arbeit in PLGs eignet sich besonders gut für PAF, da entwickelte Szenarien und Materialien innerhalb der PLG weitergegeben und so in jedem PAF-Zyklus von immer größeren Schülergruppen getestet werden können.

Langfristig wird eine Emanzipation der kooperierenden Lehrkräfte (Individuen oder PLGs) angestrebt; ein besonderer Fokus der Bemühungen im Rahmen von NW2 ist daher die Befähigung von Lehrkräften zur selbstständigen Erstellung, Planung und Durchführung digital-gestützten adaptiven Naturwissenschaftsunterrichts. Dies schließt z. B. Fähigkeiten zur Erstellung von Augmented Reality-(AR) oder Virtual Reality-(VR)Lernumgebungen, die Implementation von informatischen Kompetenzen (Barkmin et al., 2020) sowie digitale Messwertaufzeichnung ein. Gerade hinsichtlich der durch die PLGs vertieften bzw. entstandenen Kooperationen zwischen den Lehrkräften kann die Ko-Konstruktion (Little, 1990) von Material und Unterricht langfristig auch zu Arbeitsentlastungen führen (Gräsel et al., 2006).

4 Aktueller Stand und Ausblick

Entsprechend der Ausrichtung von NW2 wurden bereits erste Kooperationen mit einzelnen Lehrkräften und Fachleitungen initiiert; zu den jeweils identifizierten Problemstellen werden bspw. Materialien zur Visualisierung molekularer Bindungswinkel innerhalb des Kugelwolkenmodells mittels VR sowie mit 3D-Modellen und interaktiven Hilfestellungen angereicherte AR-Arbeitsblätter entwickelt. In enger Absprache mit den jeweiligen Lehrkräften werden diese Materialien weiter verbessert und konnten in ersten Anläufen bereits von SuS getestet werden. Mit Blick auf die künftige Durchführung der NW1-Weiterbildungsangebote und daraus resultierende Kooperationen ist nicht nur der Aufbau einer Sammlung zukunftstechnologienutzender Lernszenarien und Materialien, sondern auch die Förderung digital-adaptiver Unterrichtskompetenzen der Lehrkräfte und prozessbezogener Kompetenzen der SuS zu erwarten.

Literatur

- Barkmin, M., Bergner, N., Bröll, L., Huwer, J., Menne, A. & Seegerer, S. (2020). Informatik für alle?! – Informatische Bildung als Baustein in der Lehrkräftebildung. In M. Beißwenger, B. Bulizek, I. Gryl & F. Schacht (Hrsg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung* (S. 99–120). <https://doi.org/10.17185/du-publico/73330>
- Bonsen, M. & Rolff, H.-G. (2006). Professionelle Lerngemeinschaften von Lehrerinnen und Lehrern. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(2), 167–184. <https://doi.org/10.25656/01:4451>
- Corno, L. Y. N. (2008). On Teaching Adaptively. *Educational Psychologist*, 43(3), 161–173. <https://doi.org/10.1080/00461520802178466>
- Eilks, I. & Ralle, B. (2002). Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. *CHEMKON*, 9(1), 13–18. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1521-3730\(200201\)9:1<13::AID-CKON13>3.0.CO;2-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/1521-3730(200201)9:1<13::AID-CKON13>3.0.CO;2-5)
- Fend, H. (1980). *Theorie der Schule*. Urban und Schwarzenberg.
- Gräsel, C., Fußangel, K. & Pröbstel, C. (2006). Lehrkräfte zur Kooperation anregen – eine Aufgabe für Sisyphos? *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(2), 205–219. <https://doi.org/URN:urn:nbn:de:0111-opus-44535>
- Huber, S. G. (2020). Professionelle Lerngemeinschaften, Schulnetzwerke und Bildungslandschaften. In P. Bollweg, J. Buchna, T. Coelen & H.-U. Otto (Hrsg.), *Handbuch Ganztagsbildung* (S. 1109–1122). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23230-6_82
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S. & Thyssen, C. (2019). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU Journal / Verband zur Förderung des MINT-Unterrichts*, 72(5), 358–364.
- Kang, H. & Cogan, L. S. (2020). The Differential Role of Socioeconomic Status in the Relationship between Curriculum-Based Mathematics and Mathematics Literacy: the Link Between TIMSS and PISA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20, 133–148.
- Kotzebue, L. v., Meier, M., Finger, A., Kremser, E., Huwer, J., Thoms, L.-J., Becker, S., Bruckermann, T. & Thyssen, C. (2021). The Framework DiKoLAN (Digital Com-

- petencies for Teaching in Science Education) as Basis for the Self-Assessment Tool DiKoLAN-Grid. *Education Sciences*, 11(12), 775. <https://www.mdpi.com/2227-7102/11/12/775>
- Kultusministerium. (2016). *Bildungsplan Gymnasium Chemie*. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. <https://www.bildungsplaene-bw.de/,Lde/LS/BP2016BW/ALLG/GYM/CH>
- Lewalter, D., Diedrich, J., Goldhammer, F., Köller, O. & Reis, K. (2023). *PISA 2022. Analyse der Bildungsergebnisse in Deutschland*. Waxmann. https://www.pisa.tum.de/file-admin/w00bgi/www/Berichtsbaende_und_Zusammenfassungen/pisa-2022-nationaler-bericht-berichtsband.pdf
- Little, J. W. (1990). The Persistence of Privacy: Autonomy and Initiative in Teachers' Professional Relations. *Teachers College Record*, 91(4), 509–536. <https://doi.org/10.1177/016146819009100403>
- Sibley, L., Fabian, A., Plicht, C., Wettke, C., Backfisch, I., Bohl, T. & Lachner, A. (2023). Gestaltung adaptiver Lernumgebungen mit Hilfe digitaler Medien: Ein Werkstattbericht aus dem Tübinger Entwicklungs- und Forschungsprojekt „DiA:GO“. *Lernen und Lehren*, 29–33.
- Stanat, P., Schipolowski, S., Schneider, R., Sachse, K. A., Weirich, S. & Henschel, S. (2022). *IQB-Bildungstrend 2021. Kompetenzen in den Fächern Deutsch und Mathematik am Ende der 4. Jahrgangsstufe im dritten Ländervergleich*. Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830996064>
- Thyssen, C., Huwer, J., Irion, T. & Schaal, S. (2023). From TPACK to DPACK: The “Digitality-Related Pedagogical and Content Knowledge”-Model in STEM-Education. *Education Sciences*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/educsci13080769>

Keywords: Weiterbildung, digital-adaptiv, prozessbezogene Kompetenzen, MINT

Die Herausgeber



Johannes Huwer ist Inhaber des Brückenlehrstuhls für Fachdidaktik der Naturwissenschaften an der Universität Konstanz (Germany) und der PH Thurgau (Switzerland). Er forscht seit einigen Jahren in den Bereichen der Digitalisierung und der Nachhaltigkeitsbildung in Science Education. Im Bereich der Digitalisierung besteht ein besonderes Forschungsinteresse am Lernen mit und über Zukunftstechnologien (insbesondere Künstliche Intelligenz, Spatial- und immersive Mixed Reality Technologies). Im Bereich der Professionalisierungsforschung von Lehrkräften liegt der Schwerpunkt auf der Förderung von Kompetenzen im Umgang mit digitaler Technologie, wie z. B. Künstlicher Intelligenz, AR oder digitaler Datenverarbeitung (DiKoLAN KI/DPACK).



Timm Wilke promovierte 2017 an der Universität Göttingen mit Gastaufenthalten am Florida Institute of Technology und am IPN in Kiel. Nach (Gast-)Professuren an den Universitäten Braunschweig (2016–2020), Graz (2019), Jena (2020–2023) und paralleler Unterrichtstätigkeit an einem Gymnasium ist er seit 2023 Niedersachsen-Profil-Professor für Didaktik der Chemie an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Seine Schwerpunkte in der Forschung sind die fachdidaktische Erschließung aktueller Themenfelder für Schule und Schülerlabor sowie die Erschließung des Potenzials von Künstlicher Intelligenz für verschiedene Facetten des Chemieunterrichts und für Lehr-Lern-Labore.



Amitabh Banerji ist Professor für Didaktik der Chemie an der Universität Potsdam. Von 2014 bis 2019 war er Juniorprofessor für Chemiedidaktik an der Universität zu Köln. Er studierte Chemie und Informatik für das gymnasiale Lehramt und promovierte nach dem Referendariat an der Universität Wuppertal. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Curriculare Innovationsforschung mit Schwerpunkt auf Halbleiter- und Zukunftstechnologien sowie die Erforschung des Potenzials von Digitalen Technologien für die Vermittlung von naturwissenschaftlichen Konzepten und Kompetenzen.