

Studierende lernen, mit und über Computersimulationen zu lehren

**Eine digitale Lernwerkstatt für
digital angereicherten Chemieunterricht**

Antonia Kirchhoff^{1,*}, Josia Hoppmann¹ & Stefanie Schwedler¹

¹ Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld, Didaktik der Chemie,
Universitätsstraße 25, 33615 Bielefeld
Mail: antonia.kirchhoff@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: Die digitale Transformation der Bildungslandschaft erfordert Lehrinnovationen zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen im Chemielehramtsstudium. Mit diesem Anspruch wurde im Rahmen des Projekts „Bielefelder Lehrinnovationen für kollaborative Entwicklung digitaler Lehr-/Lernformate“ (BiLinked) an der Universität Bielefeld ein Seminar im Master des Chemielehramts konzipiert. Im Rahmen dieser Veranstaltung entwickeln die Studierenden in projektbasierter, kollaborativer Gruppenarbeit digital angereicherte Unterrichtsausschnitte, die in der schulischen Praxis erprobt werden können, und erwerben somit praxisrelevante und digitalisierungsbezogene Handlungskompetenzen. Auf diese Weise wird die Theorie-Praxis-Verzahnung gefördert. Im Seminar werden die Studierenden durch digitale Lerneinheiten zur Inhaltserarbeitung und Begleitung der Projektarbeit unterstützt, deren zentrales Element ein Advance-Organizer-Video (AO-Video) ist. Das Lernen mit und über computerbasierte Simulationen ist ein sowohl für den Chemieunterricht als auch aus einer „scientific literacy“-Perspektive bedeutsamer Inhalt. Das Thema stellt folglich einen Schwerpunkt des Seminars dar.

Schlagwörter: Computersimulation; Digitalisierung; projektorientiertes Lernen; Lehramtsstudium



Dieses Werk ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0 (Weitergabe unter gleichen Bedingungen). Diese Lizenz gilt nur für das Originalmaterial. Alle gekennzeichneten Fremdinhalte (z.B. Abbildungen, Fotos, Tabellen, Zitate etc.) sind von der CC-Lizenz ausgenommen. Für deren Wiederverwendung ist es ggf. erforderlich, weitere Nutzungsgenehmigungen beim jeweiligen Rechteinhaber einzuholen. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>

1 Einleitung

Die digitale Transformation der Bildungslandschaft zeigt eines deutlich: Um Unterricht zu gestalten, der an aktuellen gesellschaftlichen Entwicklungen orientiert ist und Schüler*innen auf die Herausforderungen einer digitalisierten Welt vorbereitet, braucht es neue didaktische Ideen und Kompetenzen sowie interessierte und entsprechend ausgebildete Lehrkräfte. Dem Lehramtsstudium kommt damit eine elementare Aufgabe zu: Es muss zukünftige Lehrer*innen ausbilden, denen es gelingt, neue Entwicklungen unterrichtlich zu integrieren und dabei gleichzeitig ein hohes didaktisches Niveau aufrechtzuerhalten. Die Hoffnung, Lehrer*innen, die gerade aus dem Studium kommen, brächten die Selbstverständlichkeit der Nutzung digitaler Medien als „digital natives“ automatisch in den Unterricht mit, kann empirisch nicht bestätigt werden. Gerade Lehramtsstudierende, auch der Naturwissenschaften, zeigen sich im Vergleich zu anderen Studierenden eher wenig digitalaffin (Schmid et al., 2017; Vogelsang et al., 2019). Umso notwendiger sind Initiativen zur Vermittlung digitalisierungsbezogener Kompetenzen (Maxton-Küchenmeister & Meßinger-Koppelt, 2020), die das Hochschulstudium um digitalisierungsbezogene (und fachübergreifende) Aspekte erweitern (Stifterverband, 2016). Auf diese Weise soll es gelingen, die Studierenden in der Übertragung theoretischer Lehrinhalte auf praktische Unterrichtssituationen zu unterstützen und so ihre „future skills“ wie Kreativität, Problemlösekompetenz und Selbstorganisation zu stärken (Sheppard et al., 2009). Bei „future skills“ handelt es sich um Fähigkeiten, „die es Hochschulabsolventinnen und -absolventen ermöglichen, die Herausforderungen der Zukunft bestmöglich zu meistern“ (Ehlers, 2020, S. 3). Durch diese Kompetenzen und durch Anbindungsmöglichkeiten an das Praxissemester kann zugleich auch die Theorie-Praxis-Verzahnung, die einen entscheidenden Anteil in der „employability“ (Beschäftigungsfähigkeit) (Schubart et al., 2014) ausmacht, gefördert werden. Die „employability“ ist ein wesentlicher Aspekt in der Professionalisierung von Chemielehramtsstudierenden. Ein Bestandteil des digital angereicherten Chemieunterrichts sind computerbasierte Simulationen, welche sowohl aus einer chemiedidaktischen (Landriscina, 2013; Orgill et al., 2019; Schwedler, 2020; Schwedler & Kaldewey, 2020) als auch aus einer gesellschaftlichen Perspektive (Frigg et al., 2015; Seoane et al., 2022) ausgesprochen zukunftsrelevant sind und deswegen im Lehramtsstudium thematisch verankert werden sollten. Das Lernen mit und über Computersimulationen stellt einen Schwerpunkt des Seminars dar.

2 Fachliche und theoretische Verortung

2.1 Digitalisierungsbezogene Kompetenzen für Lehrkräfte

Bereits 2016 entwickelte die Kultusminister*innenkonferenz einen verbindlichen Rahmen, der die erwarteten digitalisierungsbezogenen Kompetenzen von Schüler*innen definiert. Für die Lehramtsausbildung entstanden eine Vielzahl an Konzepten zur digitalen Kompetenzentwicklung (Thyssen et al., 2020). Grundlage vieler dieser Kompetenzmodelle ist das TPaCK-Modell, das die verschiedenen für den Unterricht grundlegenden Wissenskomponenten beschreibt (Koehler et al., 2013). Um den durch die Digitalisierung bedingten Transformationsprozessen gerecht zu werden, wurde das TPaCK- zum DPaCK-Modell erweitert (Döbeli Honegger, 2021; Thyssen et al., 2023). Der Bereich Digitalität im DPaCK-Modell orientiert sich an der soziokulturellen Perspektive des Dagstuhl- bzw. Frankfurt-Dreiecks auf Digitalität (Döbeli Honegger, 2021; Thyssen et al., 2023).

Alle genannten Kompetenzrahmen und -modellierungen weisen aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive jedoch eine Schwäche auf: Sie sind allesamt nicht fachspezifisch und berücksichtigen daher nicht die Besonderheiten und Anforderungen des

Naturwissenschaftsunterrichts (Thyssen et al., 2020). Dabei sind digitalisierungsbezogene Kompetenzen insbesondere vor dem Hintergrund der Notwendigkeit, praktische Handlungskompetenzen auch für den digitalen Unterricht zu erwerben, unabdingbar.

Aus diesem Grund entwickelte die Arbeitsgruppe „Digitale Basiskompetenzen“ 2020 den Kompetenzrahmen DiKoLAN (Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften), der mit einer Perspektive auf KI zu DiKoLANKI erweitert wurde (Huwer et al., 2024). Die im Rahmen beschriebenen Kompetenzen sollen am Ende der ersten Phase der Lehrkräftebildung ausgebildet sein, sodass der universitären Lehrkräftebildung die Rolle zukommt, entlang dieses Rahmens sinnvolle Konzepte zur Entwicklung der studentischen Kompetenzen zu erstellen (Thyssen et al., 2020). Da Lehrkräfte zunehmend digitale Kompetenzen benötigen, erscheint es sinnvoll, diese Fähigkeiten schon früh in der Lehrer*innenausbildung und damit bereits zu Zeiten des Studiums und nicht erst im Referendariat zu integrieren, um sie optimal auf das digitalisierte Berufsfeld vorzubereiten. Vor diesem Hintergrund wurde an der Universität Bielefeld im Rahmen des Projektes „Bielefelder Lehrinnovationen für kollaborative Entwicklung digitaler Lehr-/Lernformate“ (BiLinked) ein Masterseminar für Studierende des Lehramts Chemie entwickelt, das digitalisierungsbezogene Kompetenzen im Chemieunterricht fördert und weiterentwickelt.

2.2 Lernen mit und über Simulationen im Chemieunterricht

Einer der im DiKoLAN-Rahmen formulierten Kompetenzbereiche ist der Simulation- und Modellierung-Bereich, in welchem der ziel- und adressat*innengerechte Einsatz digitaler Simulationen „für den Erkenntnis- und Kommunikationsprozess [...] sowie das Wissen um Grenzen und Potenziale von Modellen und Simulationen im Erkenntnisgewinnungsprozess“ als anzustrebende Fertigkeiten beschrieben werden (Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen, 2020). Eine Simulation ist dabei ein „System, von dem angenommen oder erhofft wird, dass es einem anderen System in seiner Dynamik ähnlich genug ist, dass mit Ersterem etwas über Letzteres gelernt werden kann“ (Winsberg, 2019, o.S., eigene Übersetzung). In der Tat gewinnen computerbasierte Simulationen in den Naturwissenschaften, im Naturwissenschaftsunterricht und auch in der Gesellschaft zunehmend an Bedeutung. Dabei wird zwischen dem Lernen mit und dem Lernen über Simulationen unterschieden, wobei Ersteres die Wissensvermittlung durch Simulationen und Letzteres die Reflexion über den Einsatz von Simulationen zur Erkenntnisgewinnung meint. Um ein chemisches Phänomen vollkommen verstehen zu können, muss dies auf allen drei Ebenen des chemischen Dreiecks nach Johnstone geschehen. Das bedeutet, dass ein Phänomen auf der makroskopischen, der submikroskopischen und der symbolischen Ebene nachvollzogen werden muss (Johnstone, 2000). Insbesondere das Verständnis und die Argumentation auf der Teilchenebene bereitet Schüler*innen und auch noch Studierenden jedoch nachweislich Probleme (Schwedler, 2020). Moleküldynamiksimulationen bieten hier eine Möglichkeit, die submikroskopische Ebene besser zugänglich zu gestalten (Schwedler & Kaldewey, 2020). Darüber hinaus sind Modelle und Simulationen bewährte Werkzeuge, um die verborgenen Aspekte chemischer Systeme zu erschließen. Der Zugang zu diesen Dimensionen erfordert oft fortgeschrittene Analysefähigkeiten, wie im hierarchischen Modell des „systems thinking“ dargestellt wird (Orgill et al., 2019). Simulationen bieten an dieser Stelle eine entscheidende Unterstützung, da sie ein räumlich und zeitlich unbegrenztes Üben erlauben (Landriscina, 2013). Dies ermöglicht das Testen alternativer Hypothesen und somit eine Reflexion über das System und den eigenen Denkprozess. Landriscina beschreibt den Einsatz von Computersimulationen durch Schüler*innen zur Erkenntnisgewinnung über vier epistemische Schritte (2013). Diese jeweils instruktional bei der Verwendung von Computersimulationen im Unterricht zu beachten, ist eine Fähigkeit, die von Lehramtsstudierenden erst erlernt werden muss.

Besonders in der Klimaforschung, wo unsichtbare Entitäten, Prozesse und Zusammenhänge wie Wassermoleküle und Erwärmungsprozesse eine Rolle spielen, wird ein Verständnis über Simulationen auch gesellschaftlich bedeutsam (Frigg et al., 2015). Das Verständnis über die Rolle computerbasierter Simulationen als Instrumente der Erkenntnisgewinnung ist allerdings ein bislang vernachlässigtes Thema zur Natur der Naturwissenschaften (NOS) im Naturwissenschaftsunterricht (Develaki, 2019). Folglich sollten Lehrkräfte sowohl mit dem didaktisch sinnvollen Einsatz als auch mit ihrer Nutzung als Instrumente der Erkenntnisgewinnung vertraut sein (Seoane et al., 2022). Um Simulationen und ihre Rolle im Erkenntnisgewinnungsprozess zu verstehen, sind insbesondere die Eigenschaften von Simulationen und daraus resultierenden Implikationen bedeutsam. Aus epistemologischer Perspektive zeichnen sich Simulationen insbesondere durch ihre Dynamik, die im Hintergrund stattfindenden Berechnungen und ihre epistemische Undurchsichtigkeit aus (Grüne-Yanoff & Weirich, 2010). Insbesondere aus einer didaktischen Perspektive ist auch die Interaktivität von Simulationen eine relevante Eigenschaft, die sie klar von Animationen unterscheidet (Falvo, 2008). Neben der Unterscheidung von Animationen ist auch die Beschreibung des Verhältnisses zu Experimenten bedeutsam. Dies gilt sowohl für die unterrichtspraktische als auch für die wissenschaftsphilosophische Perspektive (Arnold, 2013; Beisbart, 2018; Durán, 2010). Auch die Reflexion über die Rolle von Fiktionen und Idealisierungen in Computersimulationen ist zum Verständnis von Simulationen bedeutsam (Develaki, 2019; Elgin, 2007; Lawler, 2021). Insgesamt ist zu einem wissenschaftsphilosophisch angemessenen Verständnis von Computersimulationen die Erkenntnis, dass Simulationen nicht nur als Repräsentationen ihres Bezugssystems, sondern als genuine Instrumente der Erkenntnisgewinnung eingesetzt werden können, wichtig (Develaki, 2017, 2019; Parker, 2020).

Wenn im Folgenden die Konzeption des Masterseminars vorgestellt wird, erfolgt dies exemplarisch anhand der inhaltlichen Umsetzung für das Lernen mit und über Simulationen. Dies stellt einen inhaltlichen Fokus des Seminars dar und ist als Antwort auf die oben genannte Forderung zu verstehen, insbesondere die erkenntnistheoretischen und wissenschaftsphilosophischen Hintergründe in den Naturwissenschaftsunterricht und damit auch in die Ausbildung angehender Naturwissenschaftslehrkräfte zu integrieren (Develaki, 2019; Seoane et al., 2022). Bezugsgruppe der nachfolgend beschriebenen Maßnahmen zur Kompetenzförderung sind damit also Lehramtsstudierende der Chemie und damit angehende Lehrkräfte. Auch für Schüler*innen ist der Aufbau von Kompetenzen im Zusammenhang mit Simulationen ausgesprochen bedeutsam; im Projekt tritt ihre Kompetenzförderung allerdings zunächst zurück.

3 Aufbau des Seminars

Das Ziel des Projekts „ChemieDidaktikDigital“ (CD₂) ist es, die Theorie-Praxis-Verzahnung chemie-didaktischer Inhalte zu verbessern. Dies soll durch die Vermittlung digitaler Kompetenzen sowie durch die Förderung des kollaborativen Selbstlernens an der Schnittstelle zwischen Theorie und Praxis erreicht werden. Die Initiative ist damit Teil des universitätsweiten Projekts BiLinked. Im Rahmen von BiLinked werden Studierende in ihren Selbstlernphasen im Studium durch praxisrelevante und digital angereicherte Formate begleitet, um ihre „future skills“ zu stärken. Die Entwicklung der Lehr-/Lernformate erfolgt dabei kollaborativ mit den studentischen Hilfskräften (Hoppmann, 2023). Perspektivisch können diese Studierenden dann, im Beruf angekommen, als Multiplikator*innen für Kolleg*innen agieren. Ausgehend von diesem Desiderat hat sich CD₂ folgende Teilziele gesetzt:

- 1) Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen für den Chemieunterricht, insbesondere im Bereich Lernen mit und über Simulationen;
- 2) Förderung des kollaborativen, studentischen Selbststudiums als Bestandteil von „future skills“;

- 3) Integration von theoretischem Fachwissen mit erfahrungsbasiertem Wissen der Schulpraxis.

Ausgehend von diesen Zielen wurde das Seminar „Digitalisierung in der Chemiedidaktik“ entwickelt, das nachfolgend detailliert vorgestellt wird. In dieser Vorstellung wird mit dem inhaltlichen Schwerpunkt auf Simulationen ein Fokus auf die Darstellung der Elemente zur Umsetzung des ersten Seminarziels gelegt. Maßnahmen zum Erreichen der anderen beiden Ziele werden jeweils nur kurz beschrieben. Der Fokus auf das erste Lernziel erfordert eine zusätzliche inhaltliche Aufschlüsselung der zu erreichenden Kompetenzen im Bereich des Lernens mit und über Simulationen. Dies geschieht durch Referenz auf den DiKoLAN-Rahmen und wissenschaftsphilosophische Hintergründe, die oben dargestellt wurden.

Die Studierenden sollen in den Bestandteilen des Seminars zu Computersimulationen lernen, wie sie vorhandene Simulationen instruktional so in ihren Unterricht einbetten, dass Schüler*innen sie im Sinne der Erkenntnisgewinnung nutzen können. Zudem sollen die Studierenden Simulationen als Instrumente der Erkenntnisgewinnung interpretieren und sie eindeutig von Animationen unterscheiden können. In diesem Zusammenhang ist auch die Schärfung eines Bewusstseins für die Rolle und Bedeutung von Idealisierungen und Fiktionen ein Ziel der Seminarinnovation.

3.1 Aufbau des Seminars

Das Masterseminar „Digitalisierung in der Chemiedidaktik“ wird im Wahlpflichtbereich für die Studiengänge Gymnasium/Gesamtschule und Haupt-, Real-, Sekundar- und Gesamtschule angeboten, was allen Lehramtsstudierenden der Chemie eine Teilnahme ermöglicht.

Es folgt dem Prinzip des projektbasierten Lernens nach Krajcik und Blumenfeld, wobei über das Semester hinweg fünf Phasen (a–e) durchlaufen werden (Krajcik & Blumenfeld, 2005):

Das Seminar beginnt mit der Entwicklung didaktischer Problemstellungen durch die Studierenden im Rahmen des gemeinsamen Kennenlernens (a). Dazu schreiben die Teilnehmenden Themen aus der Chemiedidaktik, die sie besonders interessieren oder die sie beschäftigen, auf Zettel. Insbesondere auch Erfahrungen aus Praxisphasen sollen hier integriert werden. Die Zettel werden im Rahmen eines Kennenlernspiels verteilt und müssen anschließend den Urheber*innen zugeordnet werden. Während dieses Prozesses kommen die Teilnehmenden miteinander über die aufgeschriebenen Themen ins Gespräch. Ausgehend von geteilten Interessen bilden sich Gruppen aus 2 bis 4 Studierenden, die gemeinsam an einer aus den Interessen abgeleiteten didaktischen Problemstellung arbeiten (b). Dabei kollaborieren die Studierenden miteinander sowie mit der Veranstaltungslehrenden und weiteren Expert*innen (c). Dies geschieht insbesondere in der zweiten Seminarhälfte, die dezidiert der Projektarbeit gewidmet ist. Die Lehrperson der Veranstaltung begleitet die in Gruppen angelegte Projektentwicklung, indem sie inhaltlich-didaktisch berät und dafür sorgt, dass z.B. technische Bedarfe umgesetzt werden können. Zudem erfolgt eine enge Kooperation mit dem BITS Space, einer zentralen Infrastruktur der Universität Bielefeld. Die dort tätigen Mitarbeitenden unterstützen die Studierenden zusätzlich in der Umsetzung der digitalen Bestandteile ihrer Unterrichtsausschnitte. Diese digital angereicherten Unterrichtsausschnitte stellen das Produkt (e) dar, das von den Studierendengruppen konzipiert wird und die ursprüngliche Problemstellung adressiert. Unter einem digital angereicherten Unterrichtsausschnitt wird im Kontext dieses Seminars eine Phase einer Unterrichtsstunde (z.B. Sicherungsphase) verstanden, die mindestens ein digitales Element enthält, das entsprechend instruktional eingebettet ist.

Das Seminar dient zum einen der konzeptionellen und organisatorischen Unterstützung der Projektarbeit, zum anderen werden auch inhaltliche Grundlagen zu verschiede-

nen relevanten digitalisierungsbezogenen Themenbereichen vermittelt (vgl. Tab. 1). Dabei beschäftigen sich die Studierenden zunächst mit ausgewählten Themen des digital angereicherten Chemieunterrichts. Nach einer allgemeinen Einführung in den digitalisierten Chemieunterricht in der ersten Seminarsitzung, in der auch der Ablauf und Organisation sowie die Themenfindung im Kennenlernprozess stattfinden, setzen sich die Studierenden in der zweiten Seminarsitzung mit der „cognitive load theory“ (CLT) (Paas & Sweller, 2014) und der „cognitive theory of multimedia learning“ (CTML) (Mayer, 2014) auseinander. Diese sind grundlegend in der Entwicklung und Bewertung digital-multimedialer Produkte. In der vierten Seminarsitzung beschäftigen sich die Studierenden mit dem Thema der digitalen Messwerterfassung und -dokumentation. Dabei führen sie insbesondere verschiedene Versuche mit digitaler Messwerterfassung durch und werten sie anschließend aus. Durch den Einsatz verschiedener Umsetzungsformen der Messwerterfassung (z.B. externe Messsonden und Photometrie mit dem Handy) können die Studierenden gut die Vor- und Nachteile im Vergleich mit analogen Versuchen beurteilen. In der achten Sitzung werden PowerPoint-gestützte Animationen entwickelt, mit denen sich beispielsweise Vorgänge auf der submikroskopischen Ebene visualisieren lassen (Banerji, 2017). Zudem setzen sich die Teilnehmenden mit der Anwendung H5P auseinander. Auf Grundlage dieser Vorarbeit wird in den Sitzungen 11 und 12 ein Erklärvideo entwickelt, das die erstellte Animation beinhaltet und über H5P zu einem interaktiven Erklärvideo angereichert wird. Während diese Sitzungen einen eher unterrichtspraktisch-entwickelnden Fokus haben, dient die Sitzung 9 der übergeordneten Bewertung und Einordnung der Digitalisierung als gesellschaftliches Phänomen. Mithilfe des Dagstuhl-Dreiecks reflektieren die Lehramtsstudierenden die bis zu diesem Zeitpunkt besprochenen und von ihnen für ihr Projekt gewählten didaktischen Zugänge aus einer technologischen, gesellschaftlich-kulturellen und anwendungsorientierten Perspektive (Gesellschaft für Informatik, 2016). KI-Anwendungen stellen den Fokus der Seminarsitzung 10 dar. In Anknüpfung an die vorangegangene Sitzung nehmen die Studierenden eine dezidiert reflektierende Haltung ein und diskutieren KI im Chemieunterricht aus den fünf Dimensionen zu Lernen und KI (Falck, 2024). Zudem testen und bewerten sie die Eignung von Sprachprogrammen zur Planung von Unterrichtsstunden (Brott & Egerer, 2024).

Ein thematischer Fokus des Seminars liegt auf dem Lernen mit und über Simulationen. Zum Lernen mit Simulationen lernen die Studierenden sowohl Grundlagen des simulationsbasierten Lernens als auch, wie sie Simulationen didaktisch versiert in ihrem Unterricht nutzen. Dazu gehört beispielsweise die instruktionale Einbettung vorhandener Simulationen nach den vier epistemischen Schritten nach Landriscina (2013). Mit der Rolle von Simulationen als Instrumenten der Erkenntnisgewinnung, auch im Vergleich zu Animationen und Experimenten, setzen sich die Studierenden vertieft im Bereich des Lernens über Simulationen auseinander. Das Phänomen der „felicitous falsehoods“ (Elgin, 2007; Lawler, 2021) wird zudem genutzt, um explizit über die Rolle von Idealisierungen in Simulationen zu reflektieren. Die Kombination der beiden Perspektiven auf Computersimulationen ist insbesondere auf das Ziel ausgerichtet, den Studierenden den Einsatz von Simulationen als genuines Instrument der Erkenntnisgewinnung sowohl im unterrichtlichen als auch im forschenden Einsatz nahezubringen.

Gemeinsam mit den Themen „KI im Chemieunterricht“ und „Erklärvideos“ wird das Lernen mit und über Simulationen im „flipped classroom“-Format durchgeführt. Dabei bearbeiten die Studierende zuhause digitale Lerneinheiten (Erarbeitungseinheiten), um auf ihrer Grundlage im Seminar diskursiv arbeiten zu können. Das Konzept der Lerneinheiten wird im nachfolgenden Kapitel vertieft vorgestellt. Die Projektarbeit geschieht in Anbindung an diese thematischen Erarbeitungen. In den Erarbeitungssitzungen arbeiten die Studierenden kollaborativ an der Entwicklung eines digital angereicherten Unterrichtsausschnitts und können dabei digitale Lerneinheiten (Begleiteinheiten) sowie das BITS Space zur Unterstützung nutzen. In der letzten Seminarsitzung stellen die Gruppen

sich die erarbeiteten Unterrichtsausschnitte gegenseitig vor. Dabei testen die anderen Seminarteilnehmenden die Konzeptionen aus und geben sowohl aus einer nutzenden als auch aus einer übergeordnet reflektierenden Perspektive mit Rückgriff auf die Seminarinhalte Rückmeldung. Dem Seminarplan für das Wintersemester 2024/25 in Tabelle 1 sind diese Themenbereiche sowie der organisatorische Aufbau des Seminars zu entnehmen.

Tabelle 1: Seminarplan für das Wintersemester 2024/25 (eigene Darstellung)

Sitzungsnummer	Sitzungsart	Inhaltlicher Schwerpunkt
1	Inhaltlicher Input	Einführung und Organisation
2	Inhaltlicher Input	CLT & CTML
3	„flipped classroom“	Lernen mit Simulationen
4	Inhaltlicher Input	Digitale Messwerterfassung und -dokumentation
5	„flipped classroom“	Lernen über Simulationen
6	Exkursion	Besuch des BITS Space
7	Projektarbeit	Erarbeitung I
8	Inhaltlicher Input	Animation, PowerPoint & H5P
9	Inhaltlicher Input	Digitalisierung als gesellschaftliches Phänomen
10	„flipped classroom“	KI im Chemieunterricht
11	„flipped classroom“ / Projektarbeit	Peer-Feedback und Erklärvideos I
12	„flipped classroom“	Erklärvideos II
13 & 14	Projektarbeit	Erarbeitung II & III
15		Präsentation der Ergebnisse

Der in der Projektarbeit entwickelte Unterrichtsausschnitt kann in das für viele Studierende auf das Seminar folgende Praxissemester integriert werden. Dazu erfolgt eine enge Zusammenarbeit mit der Lehrenden der Vorbereitungskurse für das Praxissemester, die auch die zweite Prüfende der zum Abschluss des Seminars nötigen mündlichen Prüfung ist. Die Studierenden können ihren entwickelten Unterrichtsausschnitt erstens selbst einsetzen und zweitens im Rahmen ihres Studienprojekts beforschen. Auf diese Weise erfolgt eine Verknüpfung der Projektarbeit mit der Praxis. Diese Verknüpfung wird dann zusätzlich forschend begleitet.

Zudem werden verschiedene Aspekte des Seminars durch die Idee eines transferorientierten didaktischen bzw. pädagogischen Doppeldeckers (Wahl, 2020) gestaltet. Dazu gehören insbesondere Elemente, die auch für die Studierenden von didaktischer Relevanz für den eigenen Unterricht sind. Beispielsweise wird die Methode des „flipped classrooms“ zwar nicht explizit als Lerngegenstand thematisiert, gleichwohl aber eingesetzt und auch namentlich benannt und so „modellhaft erfahrbar“ (Wiemer & Hempel, 2023, S. 25) gemacht.

Die Unterstützung der Projektarbeit durch digitale Lerneinheiten (d) wird nachfolgend genauer dargestellt.

3 Vorstellung der Lerneinheiten

Die im Seminar eingesetzten Lerneinheiten liegen in zwei Varianten vor: Die *Erarbeitungseinheiten* dienen der Vermittlung grundlegender Inhalte für den digital angereicherten Chemieunterricht. Die *Begleiteinheiten* können von den Studierenden während der Projektarbeit zur Wiederholung und Reflexion der für sie relevanten Inhalte sowie zur Unterstützung in der Selbstorganisation während der Erarbeitungsphasen genutzt werden. Beide Einheitstypen sind als H5P-basiertes „branching scenario“ realisiert und im Moodle-Kurs der Lehrveranstaltung eingebettet. Die Nutzung von H5P als Grundlage erfolgte aus zwei Gründen. Erstens bietet das Programm eine übersichtliche Art und Weise Inhalte darzustellen. Zweitens kann die Plattform sehr niederschwellig genutzt werden, sodass die Studierenden H5P kennenlernen und anschließend für die eigene Projektarbeit oder andere Lehrtätigkeiten nutzen können.

3.2.1 Die Erarbeitungseinheiten

Die *Erarbeitungseinheiten* werden zur Vermittlung inhaltlicher Grundlagen für den digital angereicherten Chemieunterricht genutzt und können durchschnittlich innerhalb von 60 Minuten bearbeitet werden, wobei die konkrete Bearbeitungsdauer stark vom Vorwissen und den individuellen Interessen der Studierenden abhängt. Die Einheiten sind in drei Schritte unterteilt, die nachfolgend vorgestellt werden:

- (1) Einstieg mit AO-Video;
- (2) Vertiefungsaufgaben;
- (3) Anwendungsaufgaben.

(1) Einstieg mit AO-Video: Im ersten Schritt werden die Studierenden in der Lerneinheit begrüßt und in die Funktionsweise und Navigation der Lerneinheiten eingeführt. Dies erfolgt in Form eines als Video umgesetzten „Advance Organizers“ (Ausubel, 1960; Wahl, 2011). Über eine thematisch passende Einstiegsfrage, die zugleich als Reflexionsimpuls dient, werden Vorwissensstände aktiviert. In der Erarbeitungseinheit zum Lernen über Simulationen werden die Studierenden beispielsweise aufgefordert, sich zu überlegen, worauf sie achten würden, wenn sie Simulationen in ihrem Chemieunterricht einsetzen wollten. Die Antworten können sie auf einem PDF-Dokument festhalten, das sie an dieser Stelle herunterladen und dann während der gesamten Einheitsbearbeitung zur Verschriftlichung ihrer Gedanken nutzen können.

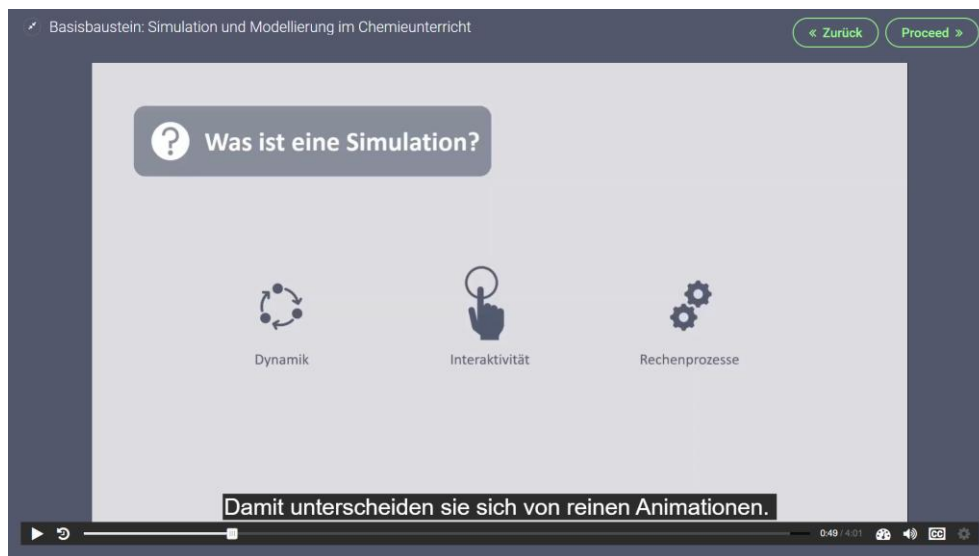


Abbildung 1: Screenshot aus dem AO-Video zum Lernen über Simulationen mit sichtbarem Untertitel (eigene Darstellung).

Zu Beginn jedes AO-Videos werden die Studierenden direkt angesprochen und auf die Relevanz des Inhalts für ihre eigene Kompetenzentwicklung hingewiesen (Kulgemeyer, 2019). Die wichtigsten Erkenntnisse zum Thema werden am Ende des Videos kurz zusammengefasst (Kulgemeyer, 2019). Das AO-Video zum Lernen mit Simulationen kann über den folgenden QR-Link angesehen werden.

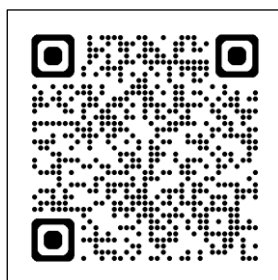


Abbildung 2: QR-Code zum AO-Video zum Lernen mit Simulationen (zum apps, 2024).

In diesem werden die Fragen, was Simulationen sind, weshalb sie für den Chemieunterricht interessant sind und was bei ihrem Einsatz beachtet werden sollte, allgemein beantwortet. Im Anschluss an das Video werden die Studierenden aufgefordert, die Einstiegsfrage in Gruppen oder allein erneut zu beantworten und zu reflektieren.

(2) Vertiefungsaufgaben: Auf Basis der inhaltlichen Vorstrukturierung durch das AO-Video können die Studierenden in einem zweiten Schritt Vertiefungsaufgaben bearbeiten. Die Aufgaben sind entsprechend der Vorstrukturierung durch das AO-Video in thematische Blöcke unterteilt, die in individueller Reihenfolge genutzt werden können. In der Einheit Lernen mit Simulationen haben sie die Möglichkeit, sich mit der Definition von Simulationen aus didaktischer Perspektive, der Funktionsweise des simulationsbasierten Lernens und dem didaktisch angemessenen Einsatz von Simulationen im Chemieunterricht auseinanderzusetzen.

Grundidee der Vertiefungsaufgaben ist es, die im AO-Video aufgebaute Expert*innenstruktur sukzessive mit Inhalten zu füllen und so die TPaCK-Teilmengen einzeln zu vertiefen. Dies geschieht primär durch Input in Form von aufbereiteten Texten. Die Si-

cherung der Erarbeitung erfolgt durch kurze Aufgaben, die entweder durch Musterlösungen oder automatisiertes H5P-Feedback rückgemeldet werden. Wird in der beschriebenen Einheit zum Beispiel „A) Was sind eigentlich Simulationen“ gewählt, wird eine beispielhafte Moleküldynamiksimulation durch ein eingebettetes und interaktiv mit H5P angereichertes Video vorgestellt (vgl. Abb. 3). Wichtige Eigenschaften wie der Unterschied zu Spielen oder zwischen modell- und erfahrungsbasierten Simulationen werden hier erläutert.

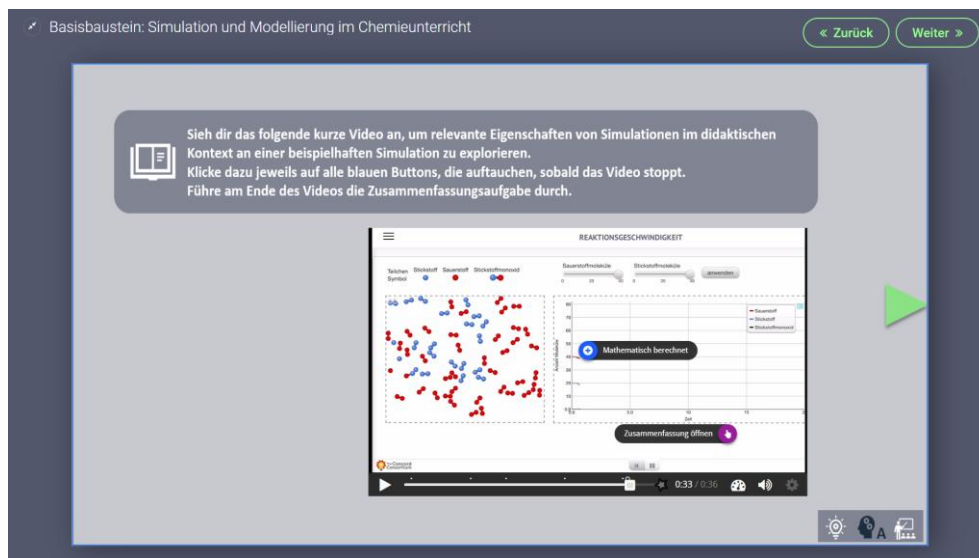


Abbildung 3: Screenshot einer Vertiefungsaufgabe der Lerneinheit zum Lernen mit Simulationen (eigene Darstellung).

(3) Anwendungsaufgaben: Der dritte Teil der Erarbeitungseinheiten kann entweder ebenfalls in der digitalen Lernumgebung oder im Seminar durchgeführt werden, wodurch die Einheiten insgesamt flexibler einsetzbar sind. In den Anwendungsaufgaben wird die Schnittmenge aller drei TPaCK-Wissensbereiche angesprochen, indem konkrete unterrichtsbezogene Aufgaben gestellt werden. Dabei handelt es sich entweder um Analyseaufgaben, in denen vorhandenes Unterrichtsmaterial kriteriengeleitet analysiert wird oder um Entwicklungsaufgaben, in denen in kleinem Umfang und auf Grundlage der vorangegangenen Erarbeitung eigenes Unterrichtsmaterial entwickelt wird.

Derzeit liegen sechs verschiedene Erarbeitungseinheiten vor; weitere befinden sich in der Entwicklung. Zum DiKoLAN-Kompetenzbereich Simulation und Modellierung existiert je eine Einheit zum Lernen mit und eine Einheit zum Lernen über Simulationen. Der Kompetenzbereich Präsentation wurde spezifisch für das Präsentationsmedium der Erklärvideos ausgedeutet. Hier existiert eine Einheit zu psychologischen und didaktischen Qualitätskriterien und eine Einheit zum methodischen Vorgehen in der Erklärvideoentwicklung. Darüber hinaus kann eine Einheit zum Lizenz- und Urheberrecht genutzt werden, um rechtliche Grundlagen bei der Nutzung und Entwicklung multimedialer Materialien zu erarbeiten. Zuletzt wurde eine Einheit zum Einsatz von KI im Chemieunterricht entwickelt.

3.2.2 Die Begleiteinheiten

Ziel der Begleiteinheiten ist die Unterstützung der Studierenden während der Projektarbeit. Dies geschieht einerseits durch eine allgemeine Begleiteinheit, die themenübergreifend von allen Gruppen genutzt werden kann und andererseits durch Einheiten, die inhaltlich an die vorangegangenen Erarbeitungseinheiten anknüpfen und spezifischere Vertiefungen bieten.

Im Gegensatz zu den Erarbeitungseinheiten, die eine vorgegebene Pfadstruktur besitzen, wenngleich der konkrete Weg zu einem gewissen Grad selbst ausgestaltet werden kann, sind die Begleitbausteine sternförmig aufgebaut. Von einer zentralen Folie aus lassen sich, je nach aktuellem Bedarf, verschiedene Unterstützungsangebote ansteuern. Im allgemeinen Begleitbaustein können sich die Studierenden in den Bereichen Organisation, Umsetzung, theoretische Überlegungen, Reflexion und Präsentation unterstützen lassen, zu denen sie ausgehend von einer Übersichtsfolie navigieren können (vgl. Abb. 4).



Abbildung 4: Screenshot der Navigationsfolie der Begleiteinheit mit den wählbaren Unterstützungsoptionen (eigene Darstellung).

3.3 Umsetzung zum Lernen mit und über Simulationen

In Bezug auf die Seminarinhalte zum Lernen mit und über Simulationen kann das allgemein für das Seminar formulierte Ziel (1) „Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen für den Chemieunterricht, insbesondere im Bereich Lernen mit und über Simulationen“ noch einmal inhaltlich konkretisiert werden.

3.3.1 Lernen mit Simulationen

Inhaltlich gibt die Lerneinheit zum Lernen mit Simulationen eine Einführung in das simulationsbasierte Lernen (Landriscina, 2013). Im AO-Video wird die grundlegende Themenstruktur übersichtsartig beschrieben. Thematisch werden didaktische Eigenschaften von Simulationen, Theorien zum simulationsbasierten Lernen und unterrichtspraktische Einsatzmöglichkeiten aufgegriffen. Diese werden in den nachfolgenden Vertiefungsaufgaben vertieft. Die Studierenden beschäftigen sich am Beispiel der simulationsbasierten Lerneinheitskonzeption SIMMS (Peperkorn, 2024, 2025; Peperkorn et al., 2024) mit den im didaktischen Zusammenhang relevante Eigenschaften der Interaktivität, der Abgrenzung zu Spielen und der Dynamik von Simulationen. Auch wird der Unterschied zwischen modellbasierten und erfahrungsbasierten Simulationen erläutert. Neben einer kognitionspsychologischen Auseinandersetzung zum simulationsbasierten Lernen über mentale Modelle (Landriscina, 2013; Nitz & Fechner, 2018), erhalten die Studierenden auch Handreichungen zur Simulationseinbettung basierend auf der „cognitive theory of multimedia learning“ (Plass & Schwartz, 2014). Auf dieser Grundlage analysieren die Studierenden vorhandene Simulationen und charakterisieren Möglichkeiten, sie durch die vier epistemischen Schritte nach Landriscina einzubetten (2013, S. 101).

3.3.2 Lernen über Simulationen

Die anschließende Lerneinheit zum Lernen über Simulationen wirft den Blick auf wissenschaftsphilosophische Hintergründe computerbasierter Simulationen, die für Lehrkräfte aus einer „scientific literacy“-Perspektive relevant sind. Im AO-Video werden die Studierenden in erkenntnistheoretisch relevante Eigenschaften von Simulationen, ihren Einsatz in der Wissenschaft und ihre Beurteilung eingeführt. Vertiefend setzen sie sich dann mit dem Unterschied zu Experimenten und Animationen, der Rolle komplexer Berechnungen, der Multiplizität von Simulationen und der Bedeutung von Idealisierungen und Fiktionen auseinander (Develaki, 2019; Elgin, 2007; Lawler, 2021). Ziel ist es insbesondere, die Studierenden in einem elaborierten Verständnis computerbasierter Simulationen als genuine Instrumente der Erkenntnisgewinnung zu unterstützen (Parker, 2020). In den Anwendungsaufgaben wird das Erkennen von Idealisierungen und Fiktionen in Simulationen geübt. Zudem beschäftigen sich die Studierenden mit Umsetzungsmöglichkeiten der Modellreflexion mit Schüler*innen.

4 Erfahrungsbericht

4.1 Studierendenprojekte

Insgesamt zeichnen sich die von den Studierenden entwickelten Unterrichtsausschnitte durch eine große thematische Vielfalt aus. Im Sommersemester 2023 wurden unter anderem ein Projekt mit „augmented reality“ zur Vermeidung von Hybridvorstellungen und ein sprachsensibel angereichertes H5P-Erklärvideo entwickelt (Niederlücke et al., 2023). Dabei arbeiteten die Studierenden eng und eigenständig mit dem „making media space“ zusammen und nutzten das dort vorhandene „know-how“ und selbst erarbeitete Kompetenzen zur Erstellung augmentierter Atomdarstellungen. Im Wintersemester 2023/24 wurde eine Experimentierbegleitung zur Unterstützung des selbstständigen Experimentierens durch Sprachförderung mit H5P konzipiert (vgl. Abb. 5) und im Sommersemester 2024 entwickelte eine Studierendengruppe einen Podcast zur Klausurvorbereitung. Einbettungen computerbasierter Simulationen wurde insbesondere im Sommersemester 2024 und im Wintersemester 24/25 umgesetzt. Insgesamt setzen sich die Erarbeitungen der Studierenden vom Sommersemester 2023 bis zum Sommersemester 2025 wie folgt zusammen:

Tabelle 2: Übersicht der Studierendenprojekte vom Sommersemester 2023 bis zum Sommersemester 2025 (Quelle: eigene Darstellung).

Semester	Umgesetzte Projekte
SoSe 2023	Entwicklung eigener AR-Atommodelle
	Interaktives H5P-Video zum Thema Redoxreaktionen
WiSe 2023/24	Ongoing concept maps zur Identifikation und Reflexion von Schüler*innenvorstellungen
	H5P-Instruktionsumgebung zur Entwicklung eigener Erklärvideos durch Schüler*innen
	H5P-basierte digitale Versuchsvorschrift zum binnendifferenzierten, eigenständigen Experimentieren
SoSe 2024	Podcast zur Prüfungsvorbereitung im Bereich Alkalimetalle
	H5P-basierte digitale Sicherheitsunterweisung
	Instruktionale Einbettung einer Computersimulation zum Thema Atom- bau
WiSe 2024/25	H5P-basierte Lernumgebung zur Projektarbeit im Bereich data literacy und Braunkohle
	Kombination und instruktionale Einbettung zweier Simulationen zum Thema Reaktionsgeschwindigkeit mit H5P
	Erlernen der SN1 und SN2 Mechanismen mithilfe interaktiver Animationen
SoSe 2025	genially-Lerneinheit zum Thema „Säuren und Basen“
	Ein Gespräch mit Dalton – Podcast zur Entwicklung der Atommodelle und H5P-basierte Stationsarbeit

In der Übersicht zeigt sich, dass viele Studierende (insgesamt 7 Gruppen) H5P als Grundlage nutzen, um ihre Ideen digital umzusetzen und zugänglich zu machen.

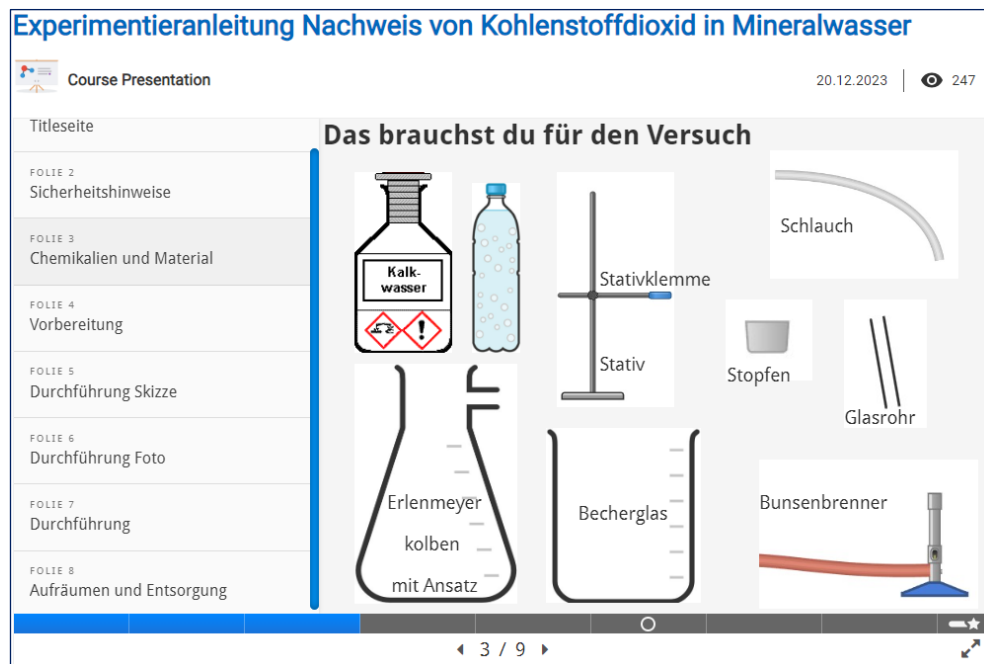


Abbildung 5: Screenshot der H5P-Experimentieranleitung [Haake, 2024, CC-BY-SA].

Im Beispiel der Ausarbeitung zur Experimentieranleitung aus dem Wintersemester 2023/24 (vgl. Abb. 5) zeigt sich, wie H5P als Gestaltungstool für die eigene Arbeit übertragen wurde und bereits vor der Veranstaltung vorhandene Kompetenzen der Studierenden (sprachsensibles Arbeiten) mit neuen aus dem Seminar (Gestaltung digitaler Lernumgebungen) verbunden wurden (Haake, 2024). Auch hier zeichnet sich die Anlage des Seminars als didaktischer Doppeldecker ab. Die Studierenden lernen H5P als Grundlage der im Seminar verwendeten digitalen Lerneinheiten kennen, beschäftigen sich dann mit der Erstellung eigener H5P-Anwendungen und können die gewonnenen Fähigkeiten dann bei der Projektarbeit gezielt einsetzen. Das Projekt der Experimentieranleitung zeichnet sich zudem besonders durch die Implementation der Seminarinhalte aus. So wurden die Grundlagen von CTML und CLT beispielsweise im segmentierten Aufbau der Aufgabenschritte umgesetzt. Auch zeigt sich durch den Fokus auf Sprachförderungsziele an der konkreten Umsetzung zum Thema der Nachweisreaktion, dass eine gelungene Kombination der TPaCK-Wissensbereiche angewandt und eine passende Verbindung von Theorie und Praxis erreicht wurde.

4.2 Rückmeldung und Kompetenzerwerb der Studierenden

Insgesamt bewerten die Studierenden das Seminar sehr positiv. Nachfolgend werden die Rückmeldungen entlang der Kategorien Projektarbeit, Inhalt und Theorie-Praxis-Verzahnung mit exemplarischen Eindrücken aus den studentischen Rückmeldungen des Sommersemesters 2023 und des Wintersemesters 2023/24 zusammengefasst. Aufgrund der vergleichsweise kleinen Seminargruppen und der qualitativen Erhebung der Rückmeldungen eignen sich die Rückmeldungen nicht zu einer quantitativen Betrachtung. Die Aussagen sind daher als einzelfallartige Einblicke in das Empfinden der Studierenden zum Seminar zu verstehen. Ergänzend werden kurz Erkenntnisse zur Entwicklung der Kompetenzen in Bezug auf das zentrale Ziel 1 vorgestellt. Diese beziehen sich auf die drei Semindurchgänge vom Wintersemester 2022/23 bis zum Wintersemester 2023/24 und können aufgrund der größeren Gesamtstichprobe eingeschränkt quantifiziert werden.

4.2.1 Projektarbeit

Die Studierenden heben insbesondere die in Gruppen erfolgende Projektarbeit als besonders gelungen hervor, wenngleich sie feststellen, dass das kollaborative Arbeiten Aushandlungsprozesse bedingt, die auch Kraft kosten. So beschreibt eine Person: *„Die Projektarbeit in der Gruppe fand ich sehr gelungen, da man die Inhalte aus dem Seminar in die Projektarbeit mit einbringen konnte“* (WiSe 2023/24). Zum Prozess der Projektarbeit schränkt eine andere Person ein:

„Am Anfang war es schwierig, sich auf ein Thema zu einigen und das richtig zu definieren. Wir haben in viele Richtungen überlegt und viele Möglichkeiten diskutiert. Als wir uns dann einmal geeinigt hatten, hat das Arbeiten Spaß gemacht und gut funktioniert“ (WiSe 2023/24).

Auch wenn diese Beurteilung die Themenfindung kritisch aufnimmt, ist der beschriebene Aushandlungsprozess als Konsequenz des kollaborativen Arbeitens aus Lehrendenperspektive doch positiv zu bewerten. Durch die Diskussion in der Gruppe stärken die Studierenden einerseits die inhaltliche Fundierung ihres Projekts, andererseits wird die berufsrelevante Fähigkeit des kollaborativen Austauschs gefördert.

4.2.2 Inhalt

Auch inhaltlich sind die Studierenden mit der Aufstellung des Seminars zufrieden. Das betrifft sowohl die allgemeinen Inhalte des digital angereicherten Chemieunterrichts als auch den Themenschwerpunkt des Lernens mit und über Simulationen. Eine Studierende stellt mit Blick auf den Einsatz von Simulationen im Chemieunterricht fest: *„Ich weiß halt viel mehr für den schulischen Teil, worauf ich bei Simulation achten muss“* (SoSe 2023). Ein Student expliziert dazu:

„Und vor allen Dingen jetzt, wo wir im Seminar auch so viel über Beispiele für Schüler für die Simulation gesprochen haben, fällt einem jetzt auch ganz schnell auf, was für Sachen man vermeiden sollte. So die Klassiker mit den Atomen und Moleküle in Flüssigkeit und so, das sieht man jetzt relativ schnell, wenn man irgendwo Simulationen sieht“ (WiSe 2023/24).

Der Besuch des BITS Space (früher Making Media Space) wird von mehreren Studierenden besonders hervorgehoben. So resümiert eine Person: *„Auch der Besuch im Making Media Space (oder wie das hieß) hat mir gefallen, da man dort verschiedene technische Methoden ausprobieren/sehen konnte“* (WiSe 23/24).

Gleichzeitig wird die Menge des vermittelten Inhalts insbesondere im Sommersemester 2023 als umfänglich empfunden: *„Da ich zuvor wenig Kompetenzen im Bereich der Digitalisierung und der damit verbundenen Themen hatte, war der Input der Veranstaltung sehr groß“*. In zukünftigen Durchgängen ist zu überlegen, an der inhaltlichen Fokussierung zu arbeiten, um sowohl dem studentischen Wunsch nach mehr Zeit als auch der Notwendigkeit einer hohen Inhaltsdichte gerecht zu werden.

4.2.3 Theorie-Praxis-Verzahnung

Die Studierenden schätzen auch die Relevanz der Seminarinhalte für das zukünftige Berufsfeld Schule insgesamt positiv ein: *„Es wurde sinnvoll auf den Berufsalltag vorbereitet, indem didaktische Sicht entwickelt wurde (sic) und mit nützlichen Tools Erfahrung gesammelt wurde“* (SoSe 2023). Hinsichtlich der Möglichkeit, die im Seminar erarbeiteten digital angereicherten Unterrichtsausschnitte mit ins Praxissemester zu nehmen, um sie dort zu erproben, liegen für eine aussagekräftige Reflexion aktuell noch nicht genügend Daten vor. Zukünftig wird interessant zu sehen sein, wie die zunächst auf theoretischer Basis entwickelten Konzepte sich im Berufsfeld Schule bewähren. In diesem Zusammenhang werden auch die empirischen Daten etwaig angeschlossener Studienprojekten relevant sein.

4.2.4 Kompetenzen zum Lernen mit und über Simulationen

In einer qualitativen Begleiterhebung im Prä-Post-Format ($N = 24$) über das Seminar konnte Kirchhoff zeigen, dass sich die oben beschriebene Seminarkonzeption eignet, um das Verständnis der Studierenden von Simulationen als reine Visualisierungen oder Repräsentationen hin zu einer Interpretation als Instrumente der Erkenntnisgewinnung zu verbessern (Kirchhoff, 2025): Während vor Beginn des Seminars die Mehrheit der Studierenden Computersimulationen als Repräsentationen ihres Bezugssystems interpretiert ($n = 4$; 17 %), beschreiben sie Simulationen nach dem Seminar überwiegend aus einer instrumentellen Perspektive ($n = 15$; 63 %). Auch das Bewusstsein für die Bedeutung und Rolle von Idealisierungen nimmt über die in diesem Beitrag beschriebene Seminarinterpretation zu. Während vor dem Seminar noch 9 Studierende (38 %) Idealisierungen in Simulationen kategorisch ablehnen, sind es nachher nur noch zwei (8 %). Nach den beiden Seminareinheiten können zudem deutlich mehr Studierende Simulationen angemessen von Animationen unterscheiden (von $n = 6$; 25 % zu $n = 17$; 71 %). Auf die Interpretation des Verhältnisses von Experimenten und Simulationen hat die Intervention jedoch nur einen vernachlässigbaren Einfluss. Diese Ergebnisse weisen zusammengekommen darauf hin, dass es dem Seminar gelingt, das Bewusstsein der Studierenden für Simulationen als Instrumente der Erkenntnisgewinnung zu stärken. Dieses Bewusstsein ist sowohl für die Nutzung von Computersimulationen als Lerninstrument im Chemieunterricht als auch für die Anleitung von Reflexionen über Simulationen und ihre Ergebnisse aus einer „scientific literacy“-Perspektive bedeutsam.

4.3 Reflexion der Projektziele

Die Rückmeldungen der Studierenden, ihre Arbeitsergebnisse, Beobachtungen im Seminar und empirische Ergebnisse vom Verständnis von Computersimulationen indizieren, dass die unten genannten Teilziele teils oder sogar zur Gänze erreicht wurden.

- (1) Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen für den Chemieunterricht, insbesondere im Bereich Lernen mit und über Simulationen
- (2) Förderung des kollaborativen, studentischen Selbststudiums als Bestandteil von „future skills“
- (3) Integration von theoretischem Fachwissen mit erfahrungsbasiertem Wissen der Schulpraxis

Gerade Erfolge in Bezug auf das im Fokus dieses Artikels stehende Teilziel 1 konnten in einer empirischen Begleitstudie nachgewiesen werden. Zentral zeigt sich, dass eine vergleichsweise kurze Seminarintervention (90 Minuten), die sich explizit mit den Hintergründen zum Lernen mit und über Simulationen auseinandersetzt, geeignet ist, die Vorstellungen der Studierenden zu diesem Thema messbar zu vertiefen (Kirchhoff, 2025). Der im zweiten Ziel beschriebene Erwerb von „future skills“ wird insbesondere in den Projektarbeitsergebnissen deutlich. Die Studierenden zeigen in ihren Ausarbeitungen, dass sie in der Lage sind, eine Vielzahl verschiedener digitaler Zugänge in geplante Unterrichtsausschnitte zu integrieren. Die häufige Nutzung des Programms H5P zeigt, dass es ihnen gelingt, auch bislang unbekannte Tools sicher für ihre jeweiligen didaktischen Zielsetzungen einzusetzen. Insbesondere bei einem Ansatz zu Digitalisierung, der darauf abzielt, digitale Elemente bewusst und reflektiert einzusetzen, sind die in diesen Ergebnissen deutlich werdenden Fähigkeiten wertvoll für die zukünftigen Berufsaufgaben als Lehrkräfte. Im Hinblick auf das dritte Ziel ist auch der weitere Verlauf des Seminars interessant. So werden die Studierenden angeregt, ihre Entwicklung mit in das Praxissemester zu nehmen, um dort das auf der Grundlage theoretischer Überlegungen entwickelte Konzept tatsächlich im Unterricht umzusetzen und damit in der schulischen Praxis zu erproben. Ergebnisse zu dieser Erweiterung stehen derzeit noch aus.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das zur Stärkung der digitalisierten Kompetenzen entwickelte Seminar zeichnet sich durch die folgenden Bestandteile aus:

- Es erfolgt eine Orientierung an der Theorie-Praxis-Verzahnung, die aber insbesondere durch zukünftige Anbindungen an das Praxissemester noch weiter ausgebaut werden kann.
- Die Inhalte und Seminargestaltung dienen dem Ausbau digitalisierungsbezogener Kompetenzen für den Chemieunterricht und orientieren sich dabei an dem DiKoLAN-Rahmen. Insbesondere Kompetenzen im Bereich des Lernens mit und über Simulationen werden nachweislich gestärkt.
- Die Studierenden arbeiten kollaborativ durch projektbasiertes Lernen an realistischen Berufsaufgaben wie der Planung digital angereicherten Unterrichts.
- Die Begleitung der Studierenden in der Projektarbeit erfolgt durch digitale Lerneinheiten angereichert.

Zukünftig interessiert insbesondere der Transfer der Projektergebnisse in die Praxis, zum Beispiel im Rahmen des Praxissemesters, sowie der Ausbau des Lerneinheitenrepertoires, um noch individueller auf die Ideen der Studierenden eingehen zu können. Zudem wurde der Erwerb digitalisierungsbezogener Handlungskompetenzen über konkrete Kompetenzen im Umgang mit Simulationen hinaus hauptsächlich durch die Seminargestaltung beschrieben. Inwiefern die teilnehmenden Studierenden tatsächlich entsprechende Kompetenzen ausbilden, bleibt nachzuweisen und stellt einen spannenden Ansatzpunkt für zukünftige Begleitforschung dar.

6 Acknowledgements

Die hier vorgestellten Arbeiten sind Teil des Projektes BiLinked; wir danken der Stiftung für Innovation in der Hochschullehre herzlich für die Förderung des Projekts.

Literatur und Internetquellen

- Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. (2020). *DiKoLAN – Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften*. <https://dikolan.de/>
- Arnold, E. (2013). Experiments and Simulations: Do They Fuse? In E. Arnold & J.M. Durán (Hrsg.), *Computer Simulations and the Changing Face of Scientific Experimentation* (S. 46–75). Cambridge Scholars Publishing.
- Ausubel, D.P. (1960). The Use of Advance Organizers in the Learning and Retention of Meaningful Verbal Material. *Journal of Educational Psychology*, 51 (5), 267–272. <https://doi.org/10.1037/h0046669>
- Banerji, A. (2017). Gestaltung digitaler Lernumgebungen mit PowerPoint und PREZI. *CHEMKON*, 24 (2), 69–72. <https://doi.org/10.1002/ckon.201710296>
- 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>
- Brott, M. & Egerer, C. (2024). Kann ein Chatbot die Vorbereitung für den Chemieunterricht übernehmen? Eine Analyse der Qualität von Unterrichtsplanungen von ChatGPT und Chemielehramtsstudierenden. *MNU Journal*, (77), 104–110. <https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/vollanzeige.html?FId=3472431>
- Develaki, M. (2017). Using Computer Simulations for Promoting Model-based Reasoning. *Science & Education*, 26 (7-9), 1001–1027. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9944-9>
- Develaki, M. (2019). Methodology and Epistemology of Computer Simulations and Implications for Science Education. *Journal of Science Education and Technology*, 28 (4), 353–370. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09772-0>
- Döbeli Honegger, B. (2021). Covid-19 und die digitale Transformation in der Schweizer Lehrerinnen- und Lehrerbildung. *BzL – Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 39 (3), 411–422. <https://doi.org/10.36950/bzl.39.3.2021.9217>
- Durán, J.M. (2010). Computer Simulations and Traditional Experimentation: From a Material Point of View. In J. Vallverdú (Hrsg.), *Thinking Machines and the Philosophy of Computer Science: Concepts and Principles* (S. 294–311). <https://doi.org/10.4018/978-1-61692-014-2.ch018>
- Ehlers, U.-D. (2020). *Future Skills: Lernen der Zukunft – Hochschule der Zukunft*. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-29297-3>
- Elgin, C. (2007). Understanding and the Facts. *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition*, 132 (1), 33–42. <https://doi.org/10.1007/s11098-006-9054-z>
- Falck, J. (2024). *Künstliche Intelligenz in der Schule*. <https://joschafalck.de/ki-in-der-schule/>
- Falvo, D.A. (2008). Animations and Simulations for Teaching and Learning Molecular Chemistry. *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, 4 (1), 68–77. https://sicet.org/main/wp-content/uploads/2016/11/ijttl-08-01-4_1_5_Falvo.pdf
- Frigg, R., Thompson, E. & Werndl, C. (2015). Philosophy of Climate Science Part II: Modelling Climate Change. *Philosophy Compass*, 10 (12), 965–977. <https://doi.org/10.1111/phc3.12297>
- Gesellschaft für Informatik. (2016). *Dagstuhl-Erklärung: Bildung in der digital vernetzten Welt*. https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/Dagstuhl-Erklärung_2016-03-23.pdf
- 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>

- Haake, S. (2024). Experimentieranleitung Nachweis von Kohlenstoffdioxid in Mineralwasser. ZUM-Apps. <https://apps.zum.de/apps/28822>
- Hoppmann, J. (2023). *Die CoP MINTconnect berichtet: Digitalkompetenzen anschlussfähig vermitteln – Konzeption eines advance organizer Videos*. https://blogs.uni-bielefeld.de/blog/innoteach/entry/bilinked_die_cop_mintconnect_berichtet
- Huwer, J., Becker-Genschow, S., Thyssen, C., Thoms, L.-J., Finger, A., Kotzebue, L. von, 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. <https://doi.org/10.31244/9783830999317>
- Johnstone, A.H. (2000). Chemical Education Research: Where From Here? *University Chemistry Education*, 4 (1), 34–38. https://www.researchgate.net/publication/268172949_Chemical_Education_Research_Where_from_Here_PROCEEDINGS
- Kirchhoff, A. (2025). *Computersimulationen: Bewegte Bilder oder genuine Instrumente der Erkenntnisgewinnung? Charakterisierung und Förderung der Vorstellungen von Lehramtsstudierenden der Chemie zum epistemologischen Status und zur Rolle computerbasierter Simulationen in den Naturwissenschaften*. [Dissertation]. Universität Bielefeld. <https://doi.org/10.4119/unibi/3004445>
- Koehler, M. J., Mishra, P. & Cain, W. (2013). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193 (3), 13–19. <https://doi.org/10.1177/002205741319300303>
- Krajcik, J.S. & Blumenfeld, P.C. (2005). Project-Based Learning. In R.K. Sawyer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (S. 317–334). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833.020>
- Kulgemeyer, C. (2019). Qualitätskriterien zur Gestaltung naturwissenschaftlicher Erklärvideos. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Kiel 2018* (S. 285–288).
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and Learning: A Model-Centered Approach*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1954-9>
- Lawler, I. (2021). Scientific Understanding and Felicitous Legitimate Falsehoods. *Synthese*, 198 (7), 6859–6887. <https://doi.org/10.1007/s11229-019-02495-0>
- Maxton-Küchenmeister, J. & Meßinger-Koppelt, J. (2020). Digitale Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Lehramtsstudium: Eine Einführung. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen: Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 4–7). Joachim Herz Stiftung. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/Projekte/Naturwissenschaften/2020_Nawi_Digitale_Basiskompetenzen_web.pdf
- Mayer, R.E. (Hrsg.). (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369>
- Niederlücke, M., Schamrin, A. & Bitter, C. C. (2023). *Atommodelle durch Augmented Reality darstellen – Ein BiLinked-Erlebnisbericht*. Universität Bielefeld. https://blogs.uni-bielefeld.de/blog/innoteach/entry/atommodelle_durch_augmented_reality_darstellen
- Nitz, S. & Fechner, S. (2018). Mentale Modelle. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Scherker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 69–86). Springer Berlin Heidelberg; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_5
- 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>

- Paas, F. & Sweller, J. (2014). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 27–42). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.004>
- Parker, W.S. (2020). Evidence and Knowledge from Computer Simulation. *Erkenntnis*, (87), 1521–1538. <https://doi.org/10.1007/s10670-020-00260-1>
- Peperkorn, Y. (2024). *SIMMS – Lerneinheit zur chemischen Energetik und Kinetik*. <https://simms-uni-bielefeld.de/>
- Peperkorn, Y. (2025). *Lernen mit Simulationen und Zeichnungen im Chemieunterricht. Entwicklung und empirische Analyse eines Unterrichtskonzepts zur Förderung mentaler Modelle der chemischen Energetik und Kinetik in der Sekundarstufe II* [Dissertation]. Universität Bielefeld. <https://doi.org/10.4119/unibi/3004679>
- Peperkorn, Y., Buschmann, J. - K., & Schwedler, S. (2024). Comparing Drawing Tasks and Elaborate Single-Choice Questions in Simulation-Based Learning: How Do They Facilitate Students' Conceptual Understanding on Chemical Equilibria? *Chemistry Education: Research and Practice*. <https://doi.org/10.1039/d3rp00113j>
- Plass, J.L. & Schwartz, R.N. (2014). Multimedia Learning with Simulations and Microworlds. In R.E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Aufl., S. 729–761). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.036>
- Schmid, U., Goertz, L., Radomski, S., Thom, S., Behrens, J. & Bertelsmann Stiftung. (2017). *Monitor Digitale Bildung: Die Hochschulen im digitalen Zeitalter*. <https://doi.org/10.11586/2017014>
- Schubart, W., Speck, K., Ulbricht, J., Dudziak, I. & Zylla, B. (2014). *Employability und Praxisbezüge im wissenschaftlichen Studium*. Hochschulrektorenkonferenz. https://www.hrk-nexus.de/fileadmin/redaktion/hrk-nexus/07-Downloads/07-02-Publikationen/Fachgutachten_Employability.pdf
- Schwedler, S. (2020). *Analyse des Studienstarts im Fach Chemie – Lernen mit Simulationen als fachdidaktischer Weg aus der Überforderung*. Cuvillier Verlag.
- 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>
- Sheppard, E.S., Porter, P.W., Faust, D.R. & Nagar, R. (2009). *A World of Difference: Encountering and Contesting Development. Encountering and Contesting Development* (2. Aufl.). Guilford Press.
- Stifterverband. (2016). *Hochschulbildung für die Arbeitswelt 4.0: Hochschul-Bildungs-Report 2020. Jahresbericht 2016*. https://www.uni-heidelberg.de/md/journal/2016/12/hochschul_bildungs_report_2016.pdf
- 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), 769. <https://doi.org/10.3390/educsci13080769>
- Thyssen, C., Thoms, L.-J., Kremser, E., Finger, A., Huwer, J. & Becker, S. (2020). Digitale Basiskompetenzen in der Lehrerbildung unter besonderer Berücksichtigung der Naturwissenschaften. In M. Beißwenger, B. Bulizek, I. Gryl & F. Schacht (Hrsg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung*. DuEPublico. <https://kops.uni-konstanz.de/entities/publication/b9744d50-464b-44a8-958c-348e717b91fb>

- 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>
- Wahl, D. (2011). Der Advance Organizer: Einstieg in einer Lernumgebung. In S.T. Brandt (Hrsg.), *Professionswissen für Lehrerinnen und Lehrer, Bd. 2: Lehren und Lernen im Unterricht* (S. 185–202). Schneider.
- Wahl, D. (2020). *Wirkungsvoll unterrichten in Schule, Hochschule und Erwachsenenbildung: Von der Organisation der Vorkenntnisse bis zur Anbahnung professionellen Handelns. Mit Beiträgen von Hilbert Meyer, Jörg Schlee und Andreas Schubiger*. Klinkhardt. <https://www.fachportal-paedagogik.de/literatur/vollanzeige.html?FId=3346572>
- Wiemer, S. & Hempel, M. (2023). Der ‚Didaktische Doppeldecker‘ für die digitalisierte Lehre – Theoretische Anknüpfungspunkte und praktische Umsetzungsmöglichkeiten am Beispiel der Qualifizierung studentischer Tutor:innen. *Perspektiven auf Lehre. Journal for Higher Education and Academic Development*, (2), 10. <https://doi.org/10.55310/jfhead.44>
- Winsberg, E. (2019). *Computer Simulations in Science*. In The Stanford Encyclopedia of Philosophy. <https://plato.stanford.edu/entries/simulations-science/>

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Kirchhoff, A., Hoppmann, J. & Schwedler, S. (2025). Studierende lernen, mit und über Computersimulationen zu lehren. Eine digitale Lernwerkstatt für digital angereicherten Chemieunterricht. *HLZ – Herausforderung Lehrer*innenbildung*, 8 (1), 531–552. <https://doi.org/10.11576/hlz-7699>

Eingereicht: 09.12.2024 / Angenommen: 01.10.2025 / Online verfügbar: 19.12.2025

ISSN: 2625–0675



Dieses Werk ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0 (Weitergabe unter gleichen Bedingungen). Diese Lizenz gilt nur für das Originalmaterial. Alle gekennzeichneten Fremdinhalte (z.B. Abbildungen, Fotos, Tabellen, Zitate etc.) sind von der CC-Lizenz ausgenommen. Für deren Wiederverwendung ist es ggf. erforderlich, weitere Nutzungsgenehmigungen beim jeweiligen Rechteinhaber einzuholen. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>

English Information

Title: Students Learn to Teach With and About Computer Simulations – A Digital Learning Workshop for Digitally Enriched Chemistry Lessons

Abstract: The digital transformation of the educational landscape requires teaching innovations to promote digitalization-related skills in pre-service chemistry teacher training. With this in mind, a seminar was designed as part of the BiLinked project at Bielefeld University for the master in chemistry education. Within this course, students develop digitally enriched lesson excerpts in project-based, collaborative group work, which can be tested in school practice and thus acquire practice-relevant and digitization-related skills. This also promotes the link between theory and practice. In the seminar, students are supported by digital learning units to develop content and accompany the project work, the central element of which is an Advance Organizer-video (AO-video). Learning with and about computer simulations is important both for the content of chemistry teaching and from a 'scientific literacy' perspective. It is therefore a focus of the seminar.

Keywords: computer simulation; digitalization; project-oriented learning; pre-service teacher education