



Digitale Kompetenzen

für das Lehramt in den Naturwissenschaften
– DiKoLAN PLUS

Christoph Thyssen, Monique Meier, Sebastian Becker-Genschow,
Till Bruckermann, Alexander Finger, Johannes Huwer, Erik Kremser,
Lars-Jochen Thoms, Lena von Kotzebue (Hrsg.)

JOACHIM
HERZ

STIFTUNG



Impressum

Herausgeber

Joachim Herz Stiftung
Langenhorner Chaussee 384
22419 Hamburg
info@joachim-herz-stiftung.de
www.joachim-herz-stiftung.de

V.i.S.d.P.

Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst

Gestaltung

Susanne Weiß, Wuppertal

Illustrationen

Kristina Düllmann, Hamburg

Bildnachweis

S. 56: Jennifer Schluer, Monique Meier
S. 64: Christoph Thyssen
S. 68: Erik Kremser

DOI

<https://doi.org/10.60530/opus-3489>

*Diese Publikation steht open access unter der
Lizenz CC-BY-NC-ND 4.0 zur Verfügung (Namensnennung-
Nicht kommerziell-Keine Bearbeitung).*

*Diese Lizenz gilt nur für das Originalmaterial.
Alle gekennzeichneten Fremdinhalte (z. B. Abbildungen,
Fotos, Zitate etc.) sind von der CC-Lizenz ausgenommen
und für deren Wiederverwendung ist es ggf. erforderlich,
weitere Nutzungsgenehmigungen beim jeweiligen
Rechteinhaber einzuholen.*

1. Auflage, 2025

Der Inhalt ist urheberrechtlich geschützt.

© Joachim Herz Stiftung, 2025

04

Editorial

05

Technologische Fortschritte eröffnen neue Anwendungs- und Entscheidungsfelder – Individualisierte Lernprozesse und Lernbegleitung im Fokus

► Christoph Thyssen, Monique Meier

09

Technik & Digitalität – Gesellschaft und soziokulturelle Dynamiken beim digital gestützten Unterrichten mitdenken

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

13

Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS

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

43

Projekte in der Lehrkräftebildung

45

Lehrkräfte für einen adaptiven, digital gestützten und prozessorientierten MINT-Unterricht vorbereiten: Das Verbundprojekt MINT-ProNeD

► Frank Reinhold, Garvin Brod, Jan-Philipp Burde, Marita Friesen, Peter Gerjets, Johannes Huwer, Jochen Kuhn, Christoph Thyssen, Andreas Lachner

53

Digitaler Feedbackdialog zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen in den Geistes- und Naturwissenschaften

► Jennifer Schluer, Monique Meier

59

Lehrbeispiele aus der Hochschullehre

61

1. Digitale Lehrbegleitung: Peer-Feedback und Assessment

► Christoph Thyssen

65

2. Kollaborativ geführtes Live-Peer-Feedback

► Erik Kremser

69

3. Digital gestütztes Feedback gestalten, einsetzen und reflektieren

► Monique Meier, Marit Kastaun

73

Updates & Patches – Auch für Perspektiven auf Digitalität und Digitalisierung im Naturwissenschaftsunterricht?

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

▼ Daniel Klaus, Clustermanager im Cluster Berufliche Bildung und digitale Transformation, Joachim Herz Stiftung

Die rasante Weiterentwicklung digitaler Technologien, insbesondere der Künstlichen Intelligenz (KI), hatte in den letzten Jahren tiefgreifende Auswirkungen auf Bildung und Unterricht. Vom Einsatz KI-basierter Tools wie ChatGPT für Hausaufgaben bis hin zu adaptiven Lernanwendungen – den Unterricht verändern diese Technologien schon längst.

Neue Technologien ermöglichen differenziertes Assessment, individuelles Feedback und personalisiertes, adaptives Lernen. Dabei nehmen Lehrkräfte eine zentrale Rolle im Umgang mit digitalen Technologien im Unterricht ein. Aus diesem Grund ist es essenziell, Lehrkräfte bereits während ihrer Ausbildung an den sinnvollen Einsatz digitaler Elemente heranzuführen. Dies legt die Grundlage für fachlich, fachdidaktisch und pädagogisch fundierte Lehr- und Lernkonzepte.

Hochschulen spielen in diesem Zusammenhang als Innovationszentren für neue Technologien und als Ausbildungsstätten für angehende Lehrkräfte eine doppelte Rolle. Sie sorgen so auch dafür, dass wissenschaftliche Erkenntnisse in die Praxis gelangen. Zum Beispiel, indem sie digitale Kompetenzen systematisch in die Lehrkräftebildung integrieren.

Die Joachim Herz Stiftung hat sich über viele Jahre dafür eingesetzt, die Integration digitaler Technologien auf eine fundierte Basis zu stellen und sie einem breiten Kreis von Lehrkräften zugänglich zu machen. Im Fokus stand dabei für uns die innovative Lehrkräfteausbildung in den naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken. So haben wir z. B. die Arbeitsgruppe ‚Digitale Basiskompetenzen‘ gefördert, die den Orientierungsrahmen ‚DiKoLAN – Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften‘ entwickelt hat. Dieser bietet Hochschulen eine strukturierte Grundlage, um digitale Fähigkeiten in die Lehramtsausbildung zu integrieren. Die vorliegende Publikation stellt den erweiterten Kompetenzrahmen ‚DiKoLAN Plus‘ vor, der zusätzliche Kompetenzen in ‚Assessment, Feedback und Adaptivität‘ umfasst.

Obwohl die vorgestellten Konzepte mit Beispielen aus den Naturwissenschaften veranschaulicht werden, lassen sie sich ebenso auf andere Fachbereiche übertragen und bieten auch für die berufliche Bildung wichtige Impulse. Auch in Zukunft werden wir uns als Stiftung der Frage widmen, wie sich digitale Kompetenzen in die Bildung integrieren lassen – von nun an mit dem Fokus auf beruflicher Bildung.

Technologische Fortschritte eröffnen neue Anwendungs- und Entscheidungsfelder – Individualisierte Lernprozesse und Lernbegleitung im Fokus

▼ Christoph Thyssen, Monique Meier

Die Unterrichtskultur und -praxis hat sich seit Gründung der ‚AG Digitale Basiskompetenzen‘ (2018), dem ersten Workshop zur Erarbeitung des Orientierungsrahmens DiKoLAN (2019) und dessen Publikation (Becker et al., 2020) verändert. Die zunehmende Heterogenität in Bezug auf z. B. Sprach- und Leseverständnis, Vorwissen und Präkonzepte aus dem Alltag ist nicht zuletzt aufgrund der unzureichenden Datenlage zu adaptivem Unterricht (Dumont, Decristan & Fauth, 2024) eine Herausforderung (Trautmann & Wischer, 2011). Mit ihnen hängen individuelle Lerngeschwindigkeit und Lernwege im Unterricht zusammen. Beide erfordern in der Schulpraxis immer häufiger eine Differenzierung bis hin zur Individualisierung der Lernprozessgestaltung, d. h. adaptivem Unterricht. Um das dafür notwendige formative Assessment (Buholzer et al., 2023) anzulegen und umzusetzen, können Lehrende vermehrt auf digitale Technologien zurückgreifen bzw. sich durch sie unterstützen lassen. Doch nicht nur die zunehmende Heterogenität verschafft Assessment, Feedback und adaptivem Unterricht zunehmende Bedeutung. Die Notwendigkeit des Distanzunterrichts und daraus resultierende Entwicklungen im Bereich von digitalen Medien und Werkzeugen sowie z. B. Tutoringfunktionen in Lernplattformen haben den Blick auf digitale Transformationsprozesse verändert. Einerseits wurde der Bedarf und der Nutzen digitaler Systeme für spezielle Unterrichtsformen erkannt. Andererseits steht dadurch mittlerweile auch eine Vielzahl dafür verwendbare Soft- und Hardware zur Verfügung. In einer bibliometrischen Analyse zeigt sich der intensivierende Einfluss der COVID-19-Pandemie auf die Auseinandersetzung mit dem Bereich Educational Assessment, sowohl im Allgemeinen als auch mit Bezug zu digitalen Technologien (inklusive KI; Hassan et al., 2024). Wie die Pandemie zudem zeigte, war bzw. ist Deutschland hier bisher nicht in einer Vorreiterrolle (Hassan et al., 2024).

Adaptives Lernen ist bereits in der Schulpraxis angekommen

In der Mathematik leisten etablierte Systeme wie z. B. Bettermarks schon länger einen großen Beitrag zum digital begleiteten Lehren und Lernen. Unabhängig von den initialen Leistungsstärken der Lernenden werden über individualisierte, adaptive Lehr-Lern-Szenarien differenzierende Angebote bereitgestellt und Lehrkräfte im Bereich Assessment, Feedback und adaptivem Unterricht unterstützt. Digitale Komponenten oder erfolgreiche Prinzipien aus dem Distanzunterricht (z. B. fachübergreifende Plattformen wie Anton) bieten hierbei wachsende Möglichkeiten, den Unterricht insgesamt, d. h. auch im Klassenzimmer oder bei den Hausaufgaben bedürfnisorientiert zu gestalten. Digitale Lehr-Lern-Unterstützung mit Feedback unterschiedlicher Intensität und Graduierung (von einfach bis elaboriert) ist bereits in der Schulpraxis angekommen.

Integration in die Lehrkräfteausbildung notwendig

Was aktuell aus unserer Perspektive noch fehlt, ist eine dazu stimmige Qualifikation von (angehenden) Lehrkräften. Diese sollte einerseits den täglichen, situativen Einsatz ermöglichen. Andererseits sollte sie die Basis für eine gezielte, strukturierte Integration in langfristige Lehr-Lern-Konzepte unter Aspekten wie formativem Assessment und adaptivem Unterricht legen.

Der auch bildungspolitisch forcierte Trend hin zu adaptivem Unterricht verbunden mit der stabilen Anforderung, digitale Technologien lernförderlich zu integrieren (KMK, 2021), stellt Lehrkräfte und speziell die Lehrkräftebildung vor neue und größer werdende Herausforderungen. Lehrende brauchen fachdidaktisches und pädagogisches ‚Handwerkszeug‘ insbesondere im Bereich des digitalen Assessments und Feedbacks zur Anpassung des Unterrichts an die individuellen Bedürfnisse der Lernenden und an bereits etablierte digitale Technologien. In der aktuellen und vor allem der zukünftigen Bildungslandschaft sind deshalb für Hochschulen, Studienseminare sowie Fort- und Weiterbildung zwei Punkte unumgänglich: Erstens gilt es, sich aus digitaler Perspektive mit adaptivem Unterricht auseinanderzusetzen. Zweitens müssen digitalisierungsbezogene Kompetenzen, die Lehrkräfte für einen zielführenden Einsatz digitaler Technologien im Bereich Assessment, Feedback und adaptive Lernbegleitung allgemein benötigen, a) identifiziert, b) formuliert und c) in geeigneten Phasen der Lehrkräftebildung etabliert werden.

Orientierungsrahmen DiKoLAN um zusätzliche Kompetenz ergänzt

Die AG Digitale Basiskompetenzen hat folgerichtig DiKoLAN um einen korrespondierenden Kompetenzbereich ‚Assessment, Feedback und Adaptivität (AFA)‘ für den Unterricht in den Naturwissenschaften erweitert. Das trägt den seit dem Erscheinen von DiKoLAN erfolgten Entwicklungen in diesem Feld unterrichtlichen Handelns und den daraus resultierenden Herausforderungen für die Lehrkräftebildung an Hochschulen Rechnung. Ein grundlegendes Verständnis zu digitalen Technologien und den jeweiligen Funktionen, die Lehrkräfte in der Praxis bei einer individuellen Lernbegleitung und Lernprozessgestaltung unterstützen können, ist wesentlich. Nur dann ist ein sicherer und fachdidaktisch stimmiger Einsatz solcher Technologien in differenzierendem und adaptivem Unterricht möglich. Abhängig davon, ob und wie eingesetzte digitale Systeme die Durchführung von Diagnosen mit Aufgaben, Ergebnisanalysen, (teil-)automatisiertes Feedback oder gar darauf basierend ein angepasstes Lernangebot anbieten, müssen ggf. verschiedene Systeme in einem Gesamtkonzept und -ablauf im Unterricht funktional kombiniert werden. Entsprechende Planungen sind auch an die seitens der Lehrkraft notwendigen zeitlichen Ressourcen gebunden. Diese sind entweder für die Sichtung von Ergebnissen, das Geben von Feedback und die Kontrolle von automatisiert erstelltem Feedback oder zum Monitoring von automatisiert vorgeschlagenen individuellen Lernstrategien und deren Ergebnissen bzw. Fortschritten nötig. Die jeweils damit einhergehenden Aufgaben und Anforderungen unterscheiden sich je nach Ausprägung des Feedbacks: Bei *technology-generated feedback* handelt es sich um extern programmiertes, automatisiertes Feedback, das einen Teil der Verantwortung im Feedbackprozess von der Lehrkraft übernimmt. *Technology-mediated feedback* ist von der Lehrkraft mithilfe digitaler Technologien erstelltes Feedback, das asynchron oder synchron (von der Lehrkraft verantwortet) als separates digitales Element oder strukturell integriert in einer digitalen Lernumgebung gegeben wird (Meier, Schaal & Thyssen, 2024). Vorgaben für die Lehrkräftebildung sollten dieses Spektrum so adressieren, dass generell relevante Bereiche mit fachspezifischen Aspekten der Kompetenzentwicklung fokussiert werden können.

Standards für die Lehrkräfteausbildung fordern digitale Kompetenzen ein

Die gültigen ‚Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften‘ weisen in der aktuellen Fassung (2022) für Kompetenz 7 mit der Formulierung ‚Lehrkräfte diagnostizieren Lernvoraussetzungen und Lernprozesse von Schülerinnen und Schülern; sie fördern Schülerinnen und Schüler gezielt und beraten Lernende und deren Eltern‘ generelle, sowohl für die theoretischen als auch die praktischen Ausbildungsschritte wesentliche Teil-Kompetenzen aus, die im AFA-Bereich erreicht werden sollen. Außerdem formulieren sie dabei für die praktischen Ausbildungsabschnitte explizit, dass digitale Lernprozessdiagnostik unter Berücksichtigung ihrer Grenzen und Möglichkeiten genutzt werden kann (KMK, 2004, Fssg. 2022, S.12), ohne dies aus den Bildungswissenschaften heraus – für einzelne Fächer – konkretisieren zu können. Für Kompetenz 2 ist die Nutzung der Möglichkeiten digitaler Medien „insbesondere für die individuelle, auch sonderpädagogische, Förderung von Einzelnen oder Gruppen“ fixiert (S. 8).

Kompetenz 8 umfasst die reflektierte Nutzung „digitaler Möglichkeiten zur Unterstützung der Leistungserfassung, -feststellung und -bewertung“ (S.13). Hingegen beziehen sich die „Ländergemeinsame[n] inhaltliche[n] Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung“ (KMK, 2008, Fssg. 2024) bisher bei den aufzubauenden Kompetenzen in der Studienphase nur im fachwissenschaftlichen Bereich auf digitale Technologien (S.3). Im fachdidaktischen Bereich ist dieser Einbezug digitaler Technologien nicht zu finden, auch nicht im Kontext der Förderung von Lernerfolg und differenzierenden / adaptiven Lernumgebungen. Die Kompetenz, „Unterricht und Lernprozesse mithilfe digitaler Technologien zu unterstützen und den Schulalltag zu organisieren“ (S.4) wird erst für den Vorbereitungsdienst formuliert. Alle Fachprofile, einschließlich die der Naturwissenschaften, fordern mit der Formulierung bzgl. der Absolventinnen und Absolventen: „Sie sind sensibilisiert für die Chancen digitaler Lernmedien hinsichtlich Barrierefreiheit und nutzen digitale Medien auch zur Differenzierung und individuellen Förderung im Unterricht.“ (Fach Biologie, S.22), jedoch klar entsprechende Kompetenzen zum Einsatz digitaler Technologien ein. Um gemäß diesem Anspruch in der Schulpraxis performen zu können, ist es notwendig, dass Lehrkräfte korrespondierende digitale Kompetenzen entwickeln.

Nur so können sie die neuen Herausforderungen meistern und den Unterricht erfolgreich an die Bedürfnisse der Lernenden anpassen. Es ist daher unerlässlich, dass Lehrkräfte sich frühzeitig mit digitalen Technologien und Methoden auseinandersetzen und ihre Kompetenzen kontinuierlich ausbauen, um den Anforderungen einer zunehmend digitalisierten Bildungswelt gerecht zu werden. Dafür muss eine fachbezogene Identifikation und Formulierung geeigneter Kompetenzen erfolgen, um Curricula an Hochschulen diesbezüglich weiterentwickeln zu können. Im Sinne dieser Notwendigkeit möchte DiKoLAN Plus als Erweiterung von DiKoLAN über die Strukturierung des Kompetenzbereichs AFA den Lehramtsbildenden Orientierung und Impulse für die Naturwissenschaften aus der fachdidaktischen Perspektive liefern.

Für Informationen über den Autoren und die Autorin siehe Seite 41 in diesem Band.

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 – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt, & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.
- 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>
- Dumont, H., Decristan, J. & Fauth, B. (2024). Adaptiver Unterricht erfordert eine adaptive Unterrichtsforschung. *Unterrichtswissenschaft*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/S42010-024-00198-1>
- Hassan, N., Abd Rahman, M. N. & Sumintono, B. (2024). Evolving trends of technological innovation in educational assessment: A bibliometric analysis. *International Journal of Education, Psychology and Counseling*, 9(53), 83–100. <https://doi.org/10.35631/IJEP.953009>
- KMK (2004). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften* (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004 i. d. F. vom 07.10.2022). Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Standards-Lehrerbildung.pdf [21.06.2024]
- KMK (2008). *Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung* (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 08.02.2024). Verfügbar unter https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf [21.06.2024]
- KMK (2021). *Lehren und Lernen in der digitalen Welt. Die ergänzenden Empfehlung zur Strategie „Bildung in der digitalen Welt“* (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 09.12.2021). Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2021/2021_12_09-Lehren-und-Lernen-Digi.pdf [21.06.2024]
- Meier, M., Schall, S. & Thyssen, C. (2024). *Digital Biologie unterrichten. Grundlagen, Impulse und Perspektiven*. Kallmeyer/Klett.
- Trautmann, M. & Wischer, B. (2011). Heterogenität als Herausforderung für das Lehrerhandeln im Unterricht. In M. Trautmann & B. Wischer (Hrsg.), *Lehrbuch. Heterogenität in der Schule: Eine kritische Einführung* (S. 105–136). VS-Verl. für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92893-7_4

Technik & Digitalität – Gesellschaft und soziokulturelle Dynamiken beim digital gestützten Unterrichten mitdenken

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

Die Perspektive auf die für den digital gestützten Unterricht notwendige Wissensbasis und Kompetenzen bei Lehrkräften verändert sich zwangsläufig mit der dynamischen (Weiter-) Entwicklung von Technologien und deren Verfügbarkeit. Für den TK-Bereich (*Technological Knowledge*) des TPACK-Modells (*Technological Pedagogical and Content Knowledge*, Mishra & Koehler, 2006) ist dies im Hinblick auf Kenntnisse zu Geräten, die im Unterricht eingesetzt werden (sollen), sehr direkt erkenn- und nachvollziehbar. Mit dem fokussierten Blick auf Unterricht als Prozess ist weniger direkt offensichtlich, dass stetige Veränderungen zudem in Bezug auf Inhalte zu erwarten sind. Digitale Technologien transformieren die Naturwissenschaft selbst und es entstehen ständig neue Anwendungskontexte, d. h. im Bereich TCK (*Technological Content Knowledge*). Mit Blick auf die Lernenden selbst, als Adressat:innen bei der Planung von Unterricht und Lernumgebungen, wird klar, dass nicht nur Wissen und Kompetenzen zu unmittelbar im Unterricht eingeplanten Technologien notwendig sind. Vielmehr sind auch Wissen und Kompetenzen zu deren individuellen oder gar gesamtgesellschaftlichen Akzeptanz für das Lernen relevant. Hieraus resultieren Konsequenzen für die Lehrkräftebildung.

Gingen Mishra und Koehler bei der Konzeption des TPACK-Modells (2006) davon aus, die wesentlichen Wissensfacetten berücksichtigt zu haben, hinterfragen Mishra, Warr und Islam (2023) dies mittlerweile selbst. Soziale Aspekte von Künstlicher Intelligenz (KI) und bisherige Effekte der digitalen Transformation sind bisher nicht zentrale Aspekte, die nun langsam in den Fokus rücken. Mishra et al. (2023) formulieren diesbezüglich die zunehmende Bedeutung von *Contextual Knowledge* (XK) mit konkretem Bezug zu den sozio-kulturellen Faktoren, die Lehren und Lernen wesentlich mitbestimmen. Sie zeigen dies am Beispiel der Technologie bewegter Bilder, d. h. des Films, der die Welt nachhaltig verändert hat: „It has changed the social/cultural context, the broader socio-political knowledge ecology within which schools exist and where learning and teaching happen.“ (Mishra et al., 2023, S. 12). Sie stellen kritisch fest, dass wir beim Nachdenken über Bildungstechnologien oft das Klassenzimmer oder die Schule als Analyseeinheit betrachten. Kontextuelle Faktoren und längerfristige Auswirkungen von Technologie, die das Lernen im Klassenzimmer auf ggf. unvorhersehbare Weise verändern, bleiben unbeachtet.

Die von Mishra et al. (2023) insbesondere für den Bereich der KI in den Mittelpunkt gerückte soziokulturelle Komponente ist trotz ihrer generellen Bedeutung (vgl. das Beispiel des Films) bisher nicht explizit im TPACK-Modell berücksichtigt und deshalb häufig nicht im Fokus (Thyssen et al., 2023). Lehrkräfte müssen sich der dort zu verortenden Hintergrundvariablen, Faktoren und ihren Auswirkungen bewusst sein, nicht zuletzt im Hinblick darauf, wie und ob diese Faktoren Lehr-Lern-Konzepte beeinflussen. Entsprechend erwei-

tern Thyssen et al. (2023) das TPACK-Modell mit klarem Bezug zu Stalders Digitalitätskonzept um notwendiges digitalitätsbezogenes sozio-kulturelles Wissen hin zum DPACK-Modell (*Digitally-related Pedagogical and Content Knowledge*). Diese Digitalitätsaspekte können als Schnittmenge des soziokulturellen Wissensbereichs mit den Wissensfacetten des TPACK-Modells aufgefasst werden.

Die Bedeutung dieses soziokulturellen Wissens und der damit verknüpften Faktoren für unterrichtliche Handlungsbereiche variiert. Für Bereiche, in denen vom jeweiligen Handeln – abseits der Lehrkraft selbst – Lernende oder das Kollegium mit betroffen sind, ist der soziokulturelle Aspekt und damit das Wissen hierzu von größerer Bedeutung. Entsprechend sind auch Kompetenzbereiche im Orientierungsrahmen DiKoLAN (Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften, Becker et al., 2020) in unterschiedlicher Weise und in unterschiedlichem Maße diesbezüglich neu zu denken und ausdifferenzieren.

Berücksichtigung soziokultureller Faktoren in DiKoLAN

Am Beispiel des Kompetenzbereichs Messwert- und Datenerfassung kann dies nachvollzogen werden: Der Bereich von Wissen zu den Messcharakteristika von Sensoren und den Prozeduren für deren Kalibrierung etwa ist bisher in DiKoLAN nur als TK gedacht bzw. konzipiert. Er weist nur wenige Bezüge und Schnittmengen zu soziokulturellen Aspekten auf. Daher spielen Digitalitätsaspekte eine kleinere Rolle. Im Gegensatz dazu werden bislang im Bereich von TPACK und TPK verortete Überlegungen immer stärker auch von soziokulturellen Aspekten beeinflusst, weshalb Lehrkräfte hier über Grundlagen verfügen müssen. Die sich mit der zunehmenden Verbreitung von Smartwatches und Fitnesstrackern verändernde Akzeptanz und Bereitschaft, eigene Personen- und Körperdaten aufzunehmen und zur Verfügung zu stellen, beeinflusst mögliche Unterrichtskontexte und -konzepte wesentlich. Lehrkräfte müssen folgerichtig über soziokulturelles Wissen zu diesem Bereich verfügen. Als generelle Tendenz kann aus diesen Überlegungen abgeleitet werden: Die Relevanz von soziokulturellem Wissen für die Unterrichtsplanung – und damit das Arbeiten mit dem DPACK-Modell – steigt mit dem Grad der direkten Beteiligung von Menschen. Dies betrifft demnach in DiKoLAN ganz besonders auf Ebene der Kompetenzbereiche die Bereiche ‚Kommunikation & Kollaboration‘ sowie ‚Assessment, Feedback und Adaptivität‘ sowie andererseits auf Ebene der Kompetenzfacetten die bisher als TPACK und TPK konzipierten Teilbereiche. Studien (Hohenstein et al., 2023) zeigen, dass KI die Kommunikation beeinflusst, und dass Menschen, die KI zur Kommunikation nutzen, als weniger kooperativ und zugehörig sowie dominanter wahrgenommen werden. Daraus lassen sich Konsequenzen z. B. für das Verhältnis zwischen Lehrkraft und Lernenden ableiten. Entsprechendes soziokulturelles Wissen zur Etablierung und Wirkung von (diesen) Technologien (auch aus Bereichen außerhalb des Unterrichts) ist daher von großer Bedeutung.

Grundeinstellungen, gesellschaftlich herausgebildete Normen und Prägungen in Bezug auf digitale Technologien beeinflussen deren Wirkung und Akzeptanz in Unterrichtskonzepten. Der neu in DiKoLAN PLUS enthaltene Kompetenzbereich ‚Assessment, Feedback und Adaptivität (AFA)‘ verdeutlicht dies. Es müssen soziokulturelle Faktoren in Betracht gezogen und das diesbezügliche Professionswissen von Lehrkräften hinterfragt und erweitert werden. Shin et al. (2022) führen aus, dass die Akzeptanz von Chatbots eine kulturelle Dimension aufweist. Zugrundeliegende Algorithmen spiegeln die Werte und Interessen der Nutzerschaft wider, so dass die Interaktion mit Bots von den kulturellen und sozialen Kontexten abhängt, in denen sie stattfindet. In den unterrichtlichen Kontext transferiert bedeutet dies, dass z. B. die Akzeptanz, und damit letztlich ebenso die Wirksamkeit, von Tutoring-Systemen von soziokulturellen Faktoren mitbestimmt wird.

Kritische Reflexion zu KI notwendig

Künstliche Intelligenz wird immer mehr in das formative Assessment integriert. In Anbetracht dessen und der dargelegten Hintergründe wird, neben anderen Überlegungen zur Bedeutung von KI im Naturwissenschaftsunterricht (vgl. Thyssen et al., in diesem Band, S.73), eine umfangreichere Reflexion notwendig. Dies betrifft zudem die kritische Reflexion der KI selbst, da deren Algorithmen/Modelle wiederum selbst soziokulturell geprägt sind und im Zuge naturwissenschaftlicher Assessments diskriminieren können (Cheuk, 2021). Die für die Reflexion essenziellen Kompetenzen müssen in der Lehrkräftebildung berücksichtigt werden (vgl. Kompetenzbereich AFA, z. B. AFA.M.B1/2 & AFA.T.B3). Mit dem dadurch wachsenden Anspruch an z. B. Lehramtsstudierende muss deshalb grundlegend diskutiert werden, wo in der Lehrkräftebildungskette solche Inhalte thematisiert, Kompetenzen adressiert und noch zu klärende Fragen (Li et al., 2023; Zhai & Nehm, 2023) diskutiert werden. Soziokulturelle Aspekte sind hierbei nicht nur im Kontext internationaler oder ethnischer Aspekte von Bedeutung.

Vielmehr zeigt die Tatsache, dass im Bereich des Marketings umfangreiche Studien und Diskussionen (Ameen et al., 2023, McKee et al., 2024) stattfinden, wie die GenZ gut erreicht werden kann: Einerseits haben auch innerhalb eines Kulturkreises im Zeitverlauf auftretende soziokulturelle Veränderungen starken Einfluss darauf, wie Menschen mit Informationen und Inhalten erreicht werden können. Wie im Marketing ist es die Aufgabe von Schule, Schülerinnen und Schüler mit Informationen und Inhalten zu erreichen, nur verbunden mit anderen Zielsetzungen. Andererseits verdeutlicht dies, dass der Bildungsbereich in Bezug auf die Auseinandersetzung mit der digitalen Transformation ggf. einmal mehr hinter dem wirtschaftlichen Sektor zurückbleibt, wenn dies nicht stärker ins Bewusstsein rückt. Dabei werden, wie bereits argumentiert, nicht alle bisherigen Denk- und Planungsmuster obsolet, vielmehr muss an wesentlichen Stellen der Reflexionshorizont erweitert werden. Wie der Kompetenzbereich AFA zeigt, sind soziokulturelle Faktoren nur ein Element notwendiger Kompetenzen (vgl. Thyssen & Meier, in diesem Band). Dieses Element strahlt allerdings z. B. aus dem methodischen Bereich in den fachdidaktischen Bereich des Unterrichtens an sich aus.

Für Informationen über den Autoren und die Autorin siehe Seite 41 in diesem Band.

Literatur

- Ameen, N., Hosany, S. & Taheri, B. (2023). Generation Z's psychology and new-age technologies: Implications for future research. *Psychology & Marketing*, 40(10), 2029–2040. <https://doi.org/10.1002/mar.21868>
- Cheuk, T. (2021). Can AI be racist? Color-evasiveness in the application of machine learning to science assessments. *Science Education*, 105(5), 825–836. <https://doi.org/10.1002/sce.21671>
- Hohenstein, J., Kizilcec, R. F., DiFranzo, D., Aghajari, Z., Mieczkowski, H., Levy, K., Naaman, M., Hancock, J. & Jung, M. F. (2023). *Artificial intelligence in communication impacts language and social relationships*. *Scientific reports*, 13(1), 5487. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30938-9>
- Li, T., Reigh, E., He, P. & Adah Miller, E. (2023). Can we and should we use artificial intelligence for formative assessment in science? *Journal of Research in Science Teaching*, 60(6), 1385–1389. <https://doi.org/10.1002/tea.21867>
- McKee, K. M., Dahl, A. J. & Peltier, J. W. (2024). Gen Z's personalization paradoxes: A privacy calculus examination of digital personalization and brand behaviors. *Journal of Consumer Behaviour*, 23(2), 405–422. <https://doi.org/10.1002/cb.2199>
- 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>
- Shin, D., Chotiyaputta, V. & Zaid, B. (2022). The effects of cultural dimensions on algorithmic news: How do cultural value orientations affect how people perceive algorithms? *Computers in Human Behavior*, 126, 107007. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.107007>
- 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. & Meier, M. (2024, in diesem Band). Technologische Fortschritte eröffnen neue Anwendungs- und Entscheidungsfelder – Individualisierte Lernprozesse und Lernbegleitung im Fokus. 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* (S. 5–8). Joachim Herz Stiftung.
- Thyssen, C., Meier, M., Becker-Genschow, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Thoms, L.-J. & von Kotzebue, L. (2024, in diesem Band). Updates & Patches - Auch für Perspektiven auf Digitalität und Digitalisierung im Naturwissenschaftsunterricht?. 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* (S. 73–76). Joachim Herz Stiftung.
- 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>

Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS

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

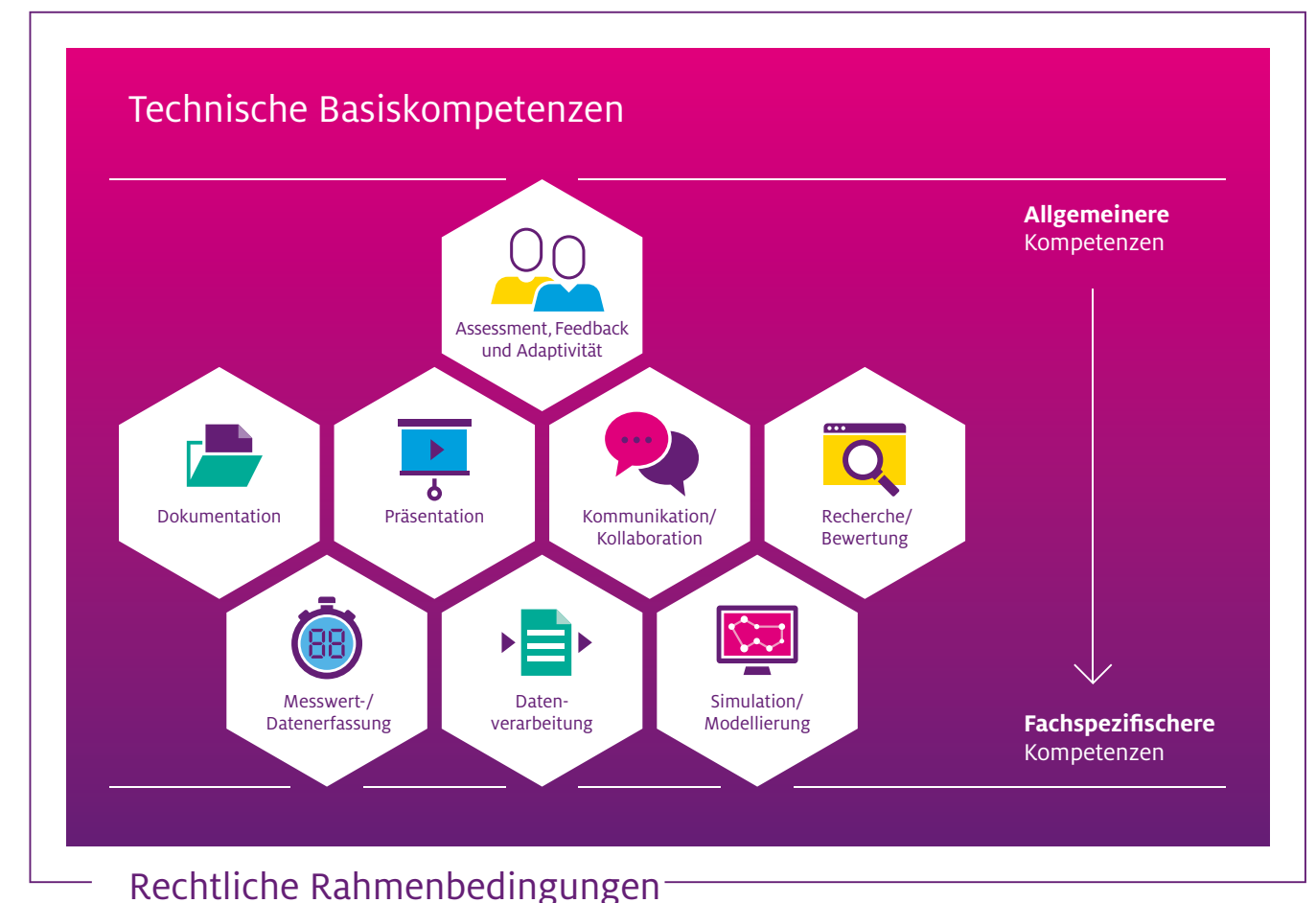
In einer zunehmend digital geprägten Gesellschaft kann davon ausgegangen werden, dass Lernende und (zukünftige) Lehrkräfte Erfahrungen und Fähigkeiten in der Nutzung digitaler Informations-, Kommunikations- und Unterhaltungstechnologien aus ihrer Freizeit aufweisen. Digitale Technologien zum Lehren und Lernen unterrichtlich auszugestalten und zu nutzen, geht jedoch über eine zumeist rein medial-vermittelte, sozial-geprägte Kommunikation, Interaktion und Freizeitorganisation, wie sie im Alltag er- bzw. gelebt wird (u. a. Götz & Walter, 2017; mpfs, 2023) hinaus.

Aus der unterrichtlichen Perspektive der Fächer stellt sich fortwährend die zentrale Frage: *Welche digitalisierungsbezogenen Kompetenzen das jeweilige Fach als wissenschaftliche Bezugsdisziplin in seiner Struktur fachlich repräsentieren und welche fachübergreifenden digitalen Kompetenzen bei Lernenden sowie vor allem auch bei Lehrenden angelegt werden können und sollen?* (u. a. Huwer, Bruckermann, Thyssen & Becker-Genschow, 2024). Antworten auf diese Frage sind z. T. sehr vielfältig. Insbesondere deshalb, weil trotz fortwährender Entwicklung von Kompetenzmodellen und Rahmungen zur Beschreibung und Operationalisierung technologiebezogener, professioneller Handlungskompetenz von (angehenden) Lehrkräften keine fachspezifischen Kompetenzmodelle etabliert sind. Grundlage für zahlreiche nationale und internationale Kompetenzmodelle im Kontext der digitalen Transformation in der Bildung sind der europäische Rahmen DigCompEdu (Punie & Redecker, 2017) und das deskriptiv-theoretische Modell zum Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK, Koehler, Mishra & Cain, 2013; s. Herleitung & Bsp. in Becker et al., 2020). Beide Modelle beinhalten keine fachspezifischen Konkretisierungen. Gleichwohl ist TPACK, unter Einbezug einer Perspektive auf Digitalität, auch Grundlage der inhaltlichen Struktur im Orientierungsrahmen ‚Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN)‘. Über diese Struktur können für fachspezifisch ausformulierte Kompetenzen auch mögliche Anteile abgeleitet werden, die konkret aus den Fachdidaktiken, Bildungs- und Fachwissenschaften heraus in die Lehrkräftebildung zur Entwicklung digitalisierungsbezogener Kompetenzen und deren Einsatz im Unterricht eingebracht werden können.

Für den MINT-Unterricht wurden folgende Einsatzszenarien digitaler Technologien skizziert (Eickelmann, Lorenz & Endberg, 2017, S. 240):

- ◆ Arbeit mit Textverarbeitungsprogrammen,
- ◆ Gestaltung von Präsentationen,
- ◆ Nutzung von Anwendungen zur Datenerfassung und -bearbeitung,
- ◆ Arbeit mit Tabellenkalkulationsprogrammen sowie
- ◆ Arbeit mit Simulations-, Experimentier- oder Modellbildungs-/Modellierungsprogrammen.

Diese können aufgrund von erweiterten Möglichkeiten zur Flexibilisierung, Individualisierung und/oder Automatisierung zunehmend in adaptiven Lernkonzepten für die Lernenden integriert werden. Um die damit gegebenen Potenziale der Digitalisierung in ihrem fachdidaktischen Wert zu erkennen und nutzen zu können, ist eine Erweiterung der bisher im Orientierungsrahmen präzisierten Basiskompetenzbereiche nötig: Der Kompetenzbereich ‚Assessment, Feedback und Adaptivität (AFA)‘ sollte in einer an zukünftigen Bedarfen orientierten universitären Lehre eingebunden werden. Entsprechend der steigenden Bedeutung von Digitalität werden exemplarisch für den neuen Kompetenzbereich AFA ebenso entsprechende Kompetenzaspekte mit formuliert (siehe Thyssen et al., in diesem Band).



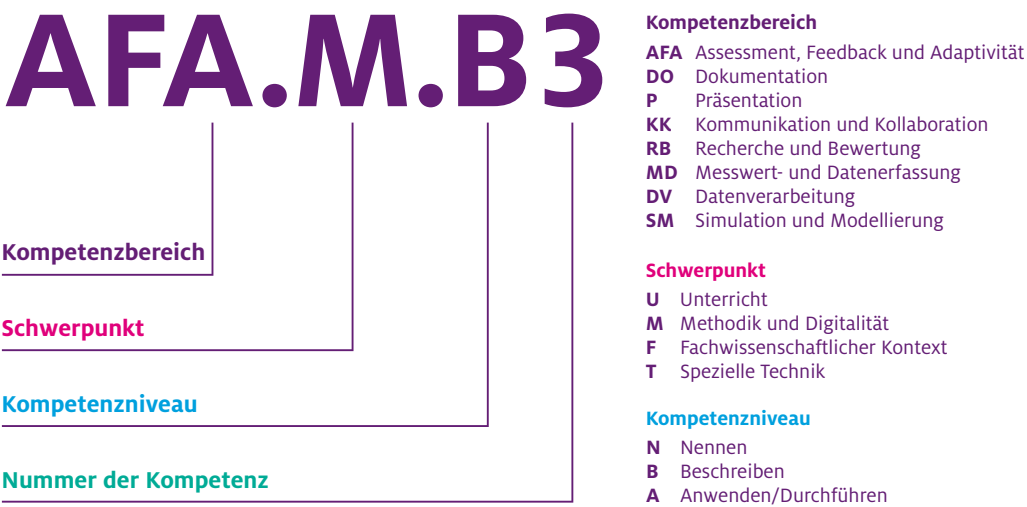
▲ **Abb. 1** Struktur des Orientierungsrahmens ‚Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften DiKoLAN PLUS‘, Darstellung der Basiskompetenzbereiche mit rahmengebenden Bedingungen im rechtlichen und technologischen Bereich

Alle acht ausdifferenzierten Kompetenzbereiche werden im Folgenden inhaltlich beschrieben sowie bzgl. ihrer Relevanz für die Unterrichtsplanung und -gestaltung erläutert. Es schließen sich tabellarische Übersichten an, in denen die Kompetenzen entsprechend der TPACK- (Koehler et al., 2013) sowie DPACK-Facetten (Huwer, Irion, Kuntze, Schaal & Thyssen, 2019 a, b) in den folgenden digitalen Schwerpunkten ausformuliert werden:

- ◆ spezielle Techniken (T),
- ◆ fachwissenschaftliche Kontexte (F),
- ◆ Methodik und Digitalität (M) sowie
- ◆ unterrichtliche Planung und Umsetzung (U)

Eine Komplexitätsstufung der angeführten Kompetenzen wird über die drei Niveaus Nennen (N), Beschreiben (B) und Anwenden (A) ausdifferenziert. Für jede ausformulierte Kompetenz ergibt sich ein Schlüssel aus Kompetenzbereich, Schwerpunkt und Kompetenzniveau (siehe Beispiel in Abb. 2).

Während die Niveaus ‚Nennen‘ und ‚Anwenden‘ hinsichtlich einer Interpretation und Ausdeutung vergleichsweise unkritisch sind, sollte darauf hingewiesen werden, dass eine kompetente Anwendung und Durchführung immer ein reflektierter Prozess sein muss, weshalb entsprechende Fähigkeiten (auch für eine Reflexion im laufenden Prozess und danach) entwickelt sein müssen.



▲ **Abb. 2** Legende zur Aufschlüsselung der ausformulierten Kompetenzen

Assessment, Feedback und Adaptivität (AFA)

Differenzierung und adaptiver Unterricht setzen voraus, dass Lehrkräfte über Informationen zum Lern- und Leistungsstand ihrer Schülerinnen und Schüler verfügen, um daran angepasste Lehrkonzepte und Lernprozesse zu gestalten. Eine solche Form des Unterrichtens beschreibt letztlich formatives Assessment im Einsatz als zentrales Unterrichtsprinzip. Digital gestütztes formatives Assessment beinhaltet digitale Lernstandsdiagnosen, Ergebnisanalysen, Feedback und Lern- bzw. Übungsempfehlungen mit geeigneten Systemen. Der strukturierte Einsatz im Klassenverband setzt voraus, dass Lehrkräfte digitale Technologien zur Unterstützung oder für automatisierte Interaktionen im Bereich von z. B. Learning-Analytics oder beim Feedback einsetzen und reflektieren können (z. B. in Bezug auf die Vorteile von personalisiertem Echtzeit-Lehrkräftefeedback und automatisiertem Feedback, Wang & Han, 2022). Dabei anfallende digitale personenbezogene Daten erfordern Sensibilität in Bezug auf deren Nutzung und Fachkenntnis in Bezug auf Vorgaben zur Speicherung, Sicherheit und Konformität von dafür nutzbaren Systemen. Den Forderungen nach adaptivem Unterricht können Lehrkräfte ohne digitale Unterstützung nicht umfänglich nachkommen.

Die Arbeit mit persönlichen Daten, die im digitalen Assessment anfallen, führt dazu, dass neben diesbezüglich einzuhaltenden Vorschriften gemäß DSGVO Überlegungen zu ethischen Aspekten mit einbezogen werden (müssen) (Ungerer & Slade, 2022). Werden z. B. im Rahmen von formativen Assessments Übungskonzepte und Rückmeldungen vollautomatisiert gegeben – insbesondere bei der Nutzung von KI-basierten Systemen – so muss sichergestellt werden, dass diese Interaktion nicht nur zielführend ist, sondern auch ethisch vertretbar erfolgt. Das heißt, dass die Kommunikation gemäß akzeptierter Regeln und Formen ablaufen muss. Gegebenenfalls zugrundeliegende KI-Modelle dürfen weder einzelne Lernende diskriminieren oder gar nur auf bestimmte Lernbedürfnisse optimiert sein. Solche individuellen Lerndaten dürfen deshalb nur mit klaren Regelungen gemeinsam mit wirtschaftlichen Partnern (Kousa & Niemi, 2023) und keinesfalls zweckentfremdet genutzt werden oder gar in die Hände nicht autorisierter Personen gelangen. ‚Assessment, Feedback und Adaptivität‘ ist ein Kompetenzbereich, in dem zukünftig ein breites Kompetenzprofil notwendig sein wird.



Der Kompetenzbereich ‚Assessment, Feedback & Adaptivität‘ (AFA) umfasst die individuelle Fertigkeit, digitale Werkzeuge systematisch für Feedback, Tutorielle Unterstützung und Assessment einzusetzen. Dazu gehört auch die Auswahl von Systemen zur Unterstützung und Bewertung von Lernenden, einschließlich des Gebens von systemgesteuertem und/oder technologie-unterstütztem Feedback, der individuellen Betreuung und Differenzierung sowie der Leistungsbewertung als zentrale Facette der Lernbegleitung. Dabei sind jeweils verstärkt auch digitalitätsbezogene Aspekte zu berücksichtigen.

In Tabelle 1 werden die Erwartungen im Kompetenzbereich ‚Assessment, Feedback & Adaptivität‘ für angehende Lehrkräfte der Naturwissenschaften zusammengefasst.

Dokumentation (DO)

Digitalisierung von oder im Unterricht ist auf allen Ebenen der Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung sowie der Klassenführung u. a. mit dem Generieren, Speichern, Verwalten und Archivieren/Sichern von Daten verbunden. Dazu gehört die digitale Dokumentation von Arbeitsprodukten gleichermaßen wie die geschützte Verwaltung von Schülerdaten. Sowohl überfachlich als auch fachlich gebunden sind Fertigkeiten in diesem Bereich mit der Ausbildung von Data Literacy (Ridsdale et al., 2015) bei Lehrenden verknüpft. Diese wiederum ermöglicht eine Förderung von Kompetenzen zum Aufbewahren von Informationen und Daten bei Lernenden (Kultusministerkonferenz, 2016, S. 15). Werkzeuge zur effektiven Datenverarbeitung und -dokumentation scheinen unerlässlich, um informierte Entscheidungen treffen zu können (Wolff, Gooch, Caverio Montaner, Rashid & Kortuem, 2016). Infolgedessen greift der Kompetenzbereich ‚Dokumentation‘ die häufig in der Lehrerbildung noch unterrepräsentierte Facette von Data Literacy auf und differenziert sie fachspezifisch aus.



Der Kompetenzbereich ‚Dokumentation‘ (DO) umfasst die individuelle Fertigkeit, digitale Werkzeuge zur systematischen Ablage und dauerhaften Speicherung von Daten und Informationen, um diese fachgemäß zu nutzen. Dazu gehört auch, Fotos, Bilder und Videos aufzunehmen, zu bearbeiten und einzubinden, verschiedene Medien zu kombinieren und zu speichern, Informationen strukturiert zu sichern und zu archivieren sowie Abläufe und Sinnzusammenhänge darzustellen.

Die in Tabelle 2 aufgeführten praxisbezogenen Kompetenzerwartungen zur ‚Dokumentation‘ machen eine enge Verzahnung mit fachspezifischen Kompetenzbereichen, wie der Messwerterfassung und Datenverarbeitung deutlich.

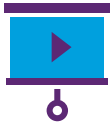
Präsentation (P)

Die Fähigkeit, Ideen, Ergebnisse und Prozesse zu präsentieren, ist eines der zentralen Elemente von naturwissenschaftlichem Unterricht. Stellte in der Vergangenheit die analoge Tafel das zentrale Element der Visualisierung mit der Lehrperson als Hauptagierendem dar, führt die Digitalisierung der Klassenzimmer zu enormen technischen und didaktischen Veränderungen. Durch interaktive Tafeln können nicht nur multimediale Elemente einfacher in den Unterricht integriert werden, sondern auch digital unterstützte Präsentationen durch Schülerinnen und Schüler realisiert werden.

Denn ein moderner naturwissenschaftlicher Unterricht soll und muss es Schülerinnen und Schülern ermöglichen, ihre Lernprodukte anderen zu präsentieren und zu kommunizieren (Kultusministerkonferenz, 2016, S. 11). Dabei erstreckt sich das Anwendungsspektrum von der Verwendung einer Präsentationssoftware bis hin zum Zeigen eigener Filme oder Animationen. Beispiele sind das Darstellen eines Prozesses, wie z. B. Zeitrafferaufnahmen zum Wachstum von Pflanzen ebenso wie die Präsentation von Bildern und Videos, die beim Mikroskopieren angefertigt werden.

Um dies zu ermöglichen, ist es von entscheidender Bedeutung, dass zukünftige Lehrkräfte in der Lage sind, nicht nur die einzelnen digitalen Medien sicher zu beherrschen, sondern auch ihre Vor- und Nachteile für die Unterrichtsgestaltung zu erkennen. Hierfür müssen sie geeignete Präsentationsmedien/-formen kennen und diese situationsspezifisch auswählen, um deren Potenzial für den Lernprozess freizusetzen. Dabei sollte Unterricht über die rein frontale Präsentation hinausgehen und Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit eröffnen, diverse Präsentationsmöglichkeiten zu erproben. Lehrkräfte müssen daher, neben ihrer fachlichen und pädagogischen Expertise, in der Lage sein, sowohl Gestaltungsaspekte (Wert-

heimer, 1923; Palmer, 1999) als auch die Prinzipien des multimedialen Lernens (Mayer, 2014) zu kennen und im Unterricht anzuwenden.



Der Kompetenzbereich ‚Präsentation‘ (P) beschreibt die individuelle Fähigkeit, digitale Medien ziel- und adressatengerecht für den Erkenntnis- und Kommunikationsprozess einzusetzen sowie das Wissen über Grenzen und Potenziale unterschiedlicher digitaler Präsentationsmedien.

In Tabelle 3 sind die Erwartungen im Basiskompetenzbereich ‚Präsentation‘ für angehende Lehrkräfte der Naturwissenschaften zusammengefasst.

Kommunikation und Kollaboration (KK)

Unterricht ist abhängig von Kommunikation und Informationsaustausch bzw. -management (Didaktik als Theorie der Steuerung von Lernprozessen; Kron, 1994). Gemäß sozial-konstruktivistischer Lerntheorien ermöglichen Kommunikation und Information beim kompetenzorientierten – und auch technologiegestützten – Lernen Partizipation (Ebner et al., 2013, S. 158). Demnach sind die Einbindung geeigneter Kommunikationstechniken und -phasen sowie kollaborativer Elemente zur Teilnahme im Lernprozess Schlüsselemente des Unterrichts. Daraus ergeben sich insbesondere im digitalen Bereich Chancen, weshalb Lehrkräfte diese Elemente zielführend und kompetent in den Unterricht integrieren können müssen. Diese Chancen sind: die zeitgleiche und ortsunabhängige Arbeit an demselben Dokument, das Zusammenführen von arbeitsteilig erhobenen Messwerten zur statistischen Absicherung einer Problemlösung sowie das Zusammenführen von Daten aus arbeitsteiligen Teiluntersuchungen für eine Gesamtlösung. Unter den Aspekten der sich ergebenden Zeitersparnis können in der Erkenntnisgewinnung komplexere Problemstellungen kollaborativ erschlossen werden. Digitale Kommunikationstools unterstützen dabei die kommunikative Steuerung solcher abgestimmten Prozesse.

Entsprechende digitale Basiskompetenzen sind nicht nur für die Gestaltung von wirksamen Lernumgebungen, sondern auch zum Adressieren der in den Bildungsstandards verankerten Kompetenzbereiche Kommunikation und Erkenntnisgewinnung (arbeitsteiliges Forschen) notwendig. So entstehen neue Möglichkeiten, komplexere Problemstellungen der Erkenntnisgewinnung durch Kollaboration und Kommunikation anzugehen. Das Feld hierfür nutzbarer digitaler Werkzeuge und Methoden ist weit und ändert sich ständig. Die folgende Definition bietet deshalb eine praxistaugliche Beschreibung des für den (zukünftigen) Unterricht relevanten Kompetenzbereiches und entsprechender Fähigkeiten und Fertigkeiten.



Der Kompetenzbereich ‚Kommunikation und Kollaboration‘ (KK) umfasst die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen synchrones oder asynchrones Arbeiten von Einzelpersonen oder Gruppen auf ein gemeinsames Ziel hin zu planen und mit Lernenden durchzuführen. Dazu werden gemeinsame Dateien oder Produkte erstellt und bearbeitet, gemeinsame Datenpools angelegt und bearbeitet sowie Systeme zur Rechtevergabe eingeplant und umgesetzt.

Tabelle 4 fasst praxisorientierte Vorschläge für digitale Basiskompetenzen im Bereich ‚Kommunikation und Kollaboration‘ zusammen.

Recherche und Bewertung (RB)

Aufgrund der Komplexität der verfügbaren Informationen und der Verschiedenheit redaktioneller Kontrollmechanismen kommt der kompetenten Internetrecherche steigende Bedeutung zu. Neben den technischen Fertigkeiten zur Informationsrecherche sind deshalb sowohl kognitive Fähigkeiten zur Informationssuche und -bewertung als auch metakognitive Fähigkeiten zur Bewertung des Suchprozesses notwendig (Johnston & Webber, 2003). In dem IPS-I-Modell (Information problem solving while using the internet; Brand-Gruwel, Wopereis & Walraven, 2009) wird postuliert, dass für eine informationsbasierte, digitale Problemlösung zur Beantwortung von problemorientierten Fragen fünf Schritte inklusive einer erfolgreichen internetbasierten Informationsrecherche durchlaufen werden sollten (u. a. Brand-Gruwel et al., 2009; Walraven, Brand-Gruwel, & Boshuizen, 2008):

1. Definition des zu lösenden Problems (d. h. Lesen der Aufgabenstellung, Fragenformulierung, Aktivierung des Vorwissens, Klärung der Aufgabenanforderungen und Bestimmung der erforderlichen Informationen)
2. Recherche von Informationen (d. h. Umgang mit Internet und Computer, Suchbegriffe ableiten, Suchergebnisse beurteilen)
3. Überfliegen und Überprüfen der Informationen (d. h. Umgang mit Internet und Computer, überfliegen der Internetseite, Inhalt überprüfen, Beurteilen der überflogenen Informationen)
4. (Kognitiv-elaborative) Verarbeitung der Informationen (d. h. Text lesen, Erarbeiten des Inhalts, Beurteilen der verarbeiteten Informationen)
5. Präsentation der Informationen (d. h. Formulieren des Problems, das Produkt/Ergebnis strukturieren und darstellen, Text formulieren, Inhalt erarbeiten)

Diese fünf Schritte erfordern sowohl speziell auf digitale Medien bezogene Kompetenzen, wie etwa die Recherche von Informationen, als auch für analoge Recherchen erforderliche Kompetenzen, wie die Verarbeitung der Informationen (und deren Dokumentation sowie Präsentation, vgl. entsprechende Kompetenzbereiche). Dennoch müssen auch die nicht explizit digitalen Kompetenzen in diesem Zusammenhang beherrscht werden. Bei manchen Kompetenzen, wie dem Überfliegen, Überprüfen und Präsentieren der Informationen, sind digitale Kompetenzen heute essenziell, um die notwendige Problemlösekompetenz erreichen zu können. So sind Zeitschriften in weiten Teilen gar nicht mehr als Druckausgabe in Bibliotheken vorhanden und Suchkataloge in der Regel digital strukturiert und verfügbar.

Im Rahmen der von der Kultusministerkonferenz (2016) geforderten Kompetenzen der Lernenden „in der digitalen Welt“ werden die Fähigkeiten „Suchen und Filtern“ sowie „Auswerten und Bewerten“ (S. 15) explizit gefordert und enthalten vergleichbare Aspekte zu denen im IPS-I-Modell. Der kompetente Umgang mit naturwissenschaftlichen Datenbanken stellt zudem eine fachspezifische Anforderung an die Lehrkräfte der Naturwissenschaften dar.



Der Kompetenzbereich ‚Recherche und Bewertung‘ (RB) umfasst neben technischen Fertigkeiten die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen Informationen zu vorgegebenen Themenbereichen oder zur Lösung von Fragestellungen zu beschaffen, und diese zu strukturieren und zu bewerten. Dazu werden Suchziele definiert, verschiedene Informationsquellen eingebunden und bewertet.

In Tabelle 5 sind die Erwartungen an die Lehrenden im Kompetenzbereich ‚Recherche und Bewertung‘ zusammengefasst.

Messwert- und Datenerfassung (MD)

Digitale Messwert- und Datenerfassung bietet Zugang zu naturwissenschaftlichen Phänomenen, die analog nur schwer erfasst werden können, wie z. B. Hochgeschwindigkeits- und Wärmebildaufnahmen. Bei der Untersuchung von besonders schnell oder langsam ablaufenden Prozessen ist die computerunterstützte Messwerterfassung gegenüber der analogen Messtechnik im Vorteil. Darüber hinaus können die erhaltenen Messwerte in unterschiedlichen Darstellungsformen nacheinander oder gleichzeitig präsentiert, mehrere Messreihen in demselben Koordinatensystem vergleichend dargestellt und die Achsenskalierungen beliebig verändert werden. Hier ist die Kompetenz wichtig, Informationen aus Diagrammen lesen zu können.

Mit Hochgeschwindigkeitskameras können extrem schnell ablaufende Prozesse festgehalten werden (Vollmer, 2011) und aus den Aufnahmen dynamische physikalische Größen, wie beispielsweise Beschleunigungen oder Energieübertragungen, zeitaufgelöst bestimmt werden (Michel, 2010), was auch z. B. Betrachtungen der Kinetik schneller Reaktionen erlaubt. Die hierfür notwendige Verarbeitung digitaler Daten verdeutlicht die enge Verzahnung mit dem Kompetenzbereich ‚Datenverarbeitung‘. Durch hypothesengeleitetes Experimentieren können sowohl das Experimentierverständnis als auch die Erkenntnisgewinnung angebahnt bzw. vertieft werden (Hilfert-Rüppell & Sieve, 2017).

Mit Infrarotkameras können neben Experimenten zur Wärmestrahlung in der Wärmelehre auch bisher nicht nachweisbare Effekte, wie die Reibungswärme in der Mechanik oder die Konstanz der Stromstärke in einem unverzweigten Stromkreis in der Elektrizitätslehre, veranschaulicht werden (Ziegler, 2017).

Mobile Endgeräte, in denen nicht nur Kameras, sondern auch Sensoren integriert sind, erweitern den Einsatzbereich zur Messwerterfassung durch die Unabhängigkeit vom Stromnetz und die Integration vielfältiger Sensoren (Thyssen, Huwer, & Krause, 2020). Untersuchungen von Bewegungen sind spontan per Videoanalysen oder durch Auslesen der internen Sensoren möglich. Da diese Geräte den Lernenden annähernd flächendeckend zur Verfügung stehen (Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest, 2018), sollten Unterrichtsszenarien in den Naturwissenschaften bei der Integration digitaler Messwerterfassung Vorkenntnisse in der gewünschten Nutzung, Organisationsformen, Methoden oder persönliche und soziale Konsequenzen des geplanten Handelns berücksichtigen.



Der Kompetenzbereich ‚Messwert- und Datenerfassung‘ (MD) beschreibt die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen mittel- oder unmittelbar Daten zu erheben, indem (Mess-)Daten eingegeben, analoge Daten digitalisiert, Bilder sowie Filme angefertigt, Sonden, Sensoren und Programme (bzw. Apps) eingesetzt und Messwerte aus Dokumentationsmedien wie Bildern oder Videos gewonnen werden.

Neben der oben genannten Definition des Kompetenzbereichs ‚Messwert- und Datenerfassung‘ bietet Tabelle 6 eine Orientierung zu den Kompetenzerwartungen an die Lehrenden in diesem Kompetenzbereich.

Datenverarbeitung (DV)

Die Datenverarbeitung ist insbesondere im naturwissenschaftlichen Unterricht eine wichtige Säule des Lehr-Lern-Prozesses. Denn erst aus den (weiter)verarbeiteten Messdaten werden Erkenntnisse ermöglicht oder weitere Forschungsfragen aufgeworfen. Die Datenverarbeitung im naturwissenschaftlichen Unterricht profitiert von der Digitalisierung auf drei Ebenen: Datenerhebung, Datenaufbereitung (Filterung, Umkodierung, Auswertung) und Automatisierung der Datenverarbeitung.

Zunächst erschließt die digitale Datenverarbeitung im naturwissenschaftlichen Unterricht fachspezifische Zugänge zu bestimmten Datensätzen, welche auch die aktuellen Methoden der korrespondierenden Fachwissenschaft angemessen repräsentieren und in diesem Sinne authentisch sind. So können Messdaten beispielsweise durch die Bestimmung und Extraktion von Kurvenmaxima bei Schallpegel- oder Beschleunigungsmessungen oder von Steigungen in Kalibrierungskurven bei Konzentrationsmessungen mit authentischen Fachmethoden ausgewertet werden (Thyssen & Huwer, 2018; Bronner, 2019). Außerdem kann Material aus Datensammlungen und -formaten (in Form von Messwertreihen, Bildern, Videos, Audiofiles oder Texten) mithilfe von digitalen Werkzeugen wie Statistikprogrammen oder einfachen Tabellenkalkulationen vorbereitend oder im Unterricht gefiltert, umkodiert und ausgewertet werden.

Hierfür stehen eine Reihe an Werkzeugen zur Filterung, für statistische Analysen, für Bild-, Audio- und Videoanalysen inklusive Visualisierungsoptionen zur Verfügung (Kuhn, 2015). Ferner werden durch die digitale Datenverarbeitung aufwendige Prozesse automatisiert, sodass mehr Lernzeit im Unterricht für die Vor- und Nachbereitung des Experiments verfügbar ist. Dies gilt vor allem für Szenarien, in denen bisher die Auswertung der Messdaten händisch vorgenommen wurde, z. B. bei der Berechnung von Mittelwerten oder der Anpassung von Messwerten an theoretisch fundierte Funktionsgleichungen. Bei Titrationen müssen z. B. Messwerte mit einem Stift in ein Koordinatensystem auf Papier übertragen werden, um so den Wendepunkt einer Titrationskurve händisch bestimmen zu können. Werden die Daten unmittelbar digital in einem Koordinatensystem dargestellt, dort selektiert und verarbeitet, ist die direkte Bestimmung des Wendepunkts (und damit auch des Äquivalenzpunkts) durch Kurvenanpassung möglich (Schrader & Schanze, 2015).

Somit ermöglicht die digitale Datenverarbeitung Zugänge zu Kompetenzen der Bildungsstandards (vor allem im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung), die im analogen Unterrichtssetting nicht so zeiteffizient möglich wären.



Der Kompetenzbereich ‚Datenverarbeitung‘ (DV) beschreibt die individuelle Fähigkeit, Daten mit digitalen Werkzeugen weiterzuverarbeiten. Dies umfasst Filterung, Berechnungen neuer Größen, Aufbereitung, statistische Analysen und Zusammenführen von Datensätzen.

In Tabelle 7 sind die Kompetenzerwartungen an die Lehrenden im Kompetenzbereich ‚Datenverarbeitung‘ zusammengefasst.

Simulation und Modellierung (SM)

Mit Computersimulationen können, basierend auf zugrunde liegenden Modellen und einer begrenzten Anzahl von Variablen, naturwissenschaftliche Prozesse abgebildet werden. Als wesentliches Werkzeug der Erkenntnisgewinnung dienen Simulationen sowohl der Analyse von Systemen und Prozessen als auch der Prognose der zeitlichen Entwicklung regelbasierter Systeme. Simulationen werden im naturwissenschaftlichen Unterricht sowohl lehrerseitig zur Veranschaulichung von Sachverhalten als auch schülerseitig, eingebunden in einen Selbstlernprozess, genutzt. Da Simulationen auf Benutzereingaben reagieren, lassen sich Einflüsse und Zusammenhänge interaktiv untersuchen und direkt erfahren, was schließlich eine Anpassung der mentalen Modelle der Schülerinnen und Schüler an die naturwissenschaftlichen Prozesse erleichtert.

Während bei Simulationen die dynamischen Modelle in der Regel bereits implementiert sind, bieten Modellierungsprogramme die Möglichkeit, eigene dynamische Modelle zu einem Sachverhalt oder Phänom zu entwickeln und zu überprüfen. Darüber hinaus können verschiedene Modelle getestet und deren Vorhersagekraft und Anschaulichkeit verglichen werden. Durch eigenständige Modellierungen wird ein tieferes Verständnis der fachwissenschaftlichen Inhalte erreicht.

Sowohl das Lehren und Lernen mit Simulationen als auch das Modellieren naturwissenschaftlicher Prozesse ist fest im Unterricht verankert und findet sowohl in der fachdidaktischen Forschung (Rutten, van Joolingen, & van der Veen, 2012) als auch in Lehrerzeitschriften breite Berücksichtigung (Girwidz et al., 2019). Umso mehr müssen angehende Lehrkräfte auf den fach- und schülergerechten Einsatz entsprechender Hilfsmittel im Unterricht vorbereitet werden. Das sehr große Angebot an Anwendungen für verschiedene Endgeräte erfordert allerdings auch eine tiefergehende Auseinandersetzung mit den Grenzen bestehender Software, um auch einen fach- und sachgerechten Einsatz sicherzustellen. Somit gehen die seitens der Lehrkräfte benötigten digitalen Kompetenzen im Bereich Simulationen und Modellierung deutlich über die ebenfalls benötigten Kompetenzen im Umgang mit Modellen und Modellierungen hinaus.



Der Kompetenzbereich ‚Simulation und Modellierung‘ (SM) beschreibt die individuellen Fertigkeiten, computergestützte Modellierungen zu erstellen sowie bestehende digitale Simulationen ziel- und adressatengerecht für den Erkenntnis- und Kommunikationsprozess einzusetzen sowie das Wissen über Grenzen und Potenziale von Modellen und Simulationen im Erkenntnisgewinnungsprozess.

In Tabelle 8 sind die Erwartungen im Kompetenzbereich ‚Simulation und Modellierung‘ an angehende Lehrkräfte der Naturwissenschaften zum Abschluss des Studiums zusammengefasst.



▼ **Tab. 1 Kompetenzbereich ‚Assessment, Feedback und Adaptivität‘ (AFA)**

Niveau	Unterrichten (D/TPACK)	Methodik, Digitalität (D/TPK)		Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK)	Spezielle Technik (D/TK)
Nennen	AFA.U.N1 Nennen Bedingungen und Szenarien für den förderlichen Einsatz von digitalen Feedback-, Tutoring- und Assessment-Systemen in Lehr-Lernsituationen. AFA.U.N2 Kontextspezifische Möglichkeiten für digitale Methoden in der Planung und Umsetzung von differenziertem bis adaptivem Unterricht.	AFA.M.N1 Nennen Potenziale digitaler Formen der Lernbegleitung (synchron oder asynchron), z. B. mittels: ◆ digitalem Feedback über Kommentare o. ä. ◆ digitalen (Video-)Sprechstunden ◆ digitalen Glossaren und FAQ ähnlichen Unterstützungen AFA.M.N2 Nennen Vorteile und Auswirkungen von unterschiedlichen digitalen Umsetzungen in der Auseinandersetzung mit und Sichtung von Lernprodukten für die digitale Lernbegleitung, z. B. in versch. Sozialformen, wie ◆ individuellem Austausch 1 zu 1 ◆ multiperspektivisches Peer-Feedback und verschiedenen technischen Methoden, wie z. B.: ◆ Gallery-Walks (z. B. Gathertown/Space-Makers) ◆ Videokommentierung AFA.M.N3 Nennen Potenziale von durch digitale Werkzeuge ermöglichten Diagnosen und summativem sowie formativem Feedback. AFA.M.N4 Nennen Potenziale für selbstgesteuertes Lernen mit digitalen tutoriellen Systemen inkl. Assessmentsystemen. AFA.M.N5 Nennen Daten, Kenngrößen und Indikatoren, die durch ein digitales Monitoring erhoben und für die Diskussion von Lernaktivitäten/-prozessen genutzt und kommuniziert werden können. AFA.M.N6 Nennen Unterschiede in der Gestaltung von system-generiertem und technologisch-unterstütztem Feedback durch die Lehrperson.		AFA.F.N1 Nennen digitale Technologien zur Kontrolle von fachwissenschaftlichen Forschungsdokumentationen als ein Beispiel für Unterstützungssysteme mit Feedback (z. B. Forschungsdatenmanagementsysteme zur Unterstützung der Arbeit mit Forschungsdaten, die in ihrer Strukturierung den FAIR Daten-Prinzipien entsprechen und gute wissenschaftliche Praxis unterstützen). AFA.F.N2 Nennen digitale Assessments zur Kontrolle von Arbeitsabläufen und Prozessen (z. B. in VR-Simulationen). AFA.F.N3 Nennen Peer-Review-Systeme als Beispiel im Kontext von Publikationen.	AFA.T.N1 Nennen digitale Technologien, die Funktionalitäten anbieten im Bereich von z. B.: ◆ der für Lerngruppen passenden inhaltlichen und zeitlichen Strukturierung von Lernplänen ◆ der Gabe von einfachem Feedback (digitalem ‚Richtig-oder-Falsch‘ z. B. mittels Kahoot, Quizlet oder Mentimeter) ◆ der Gabe von differenzierterem (d. h. elaboriertem) Feedback (z. B. über die Kommentarfunktion in Textdokumenten etc.) ◆ der Erstellung und Einbindung von Lernstandserhebungen (summatives Assessment) ◆ der Lernfortschrittserhebung und -dokumentation (formatives Assessment) ◆ Audience-Response-Systemen, wie z. B. Umfragesysteme, Mind- bzw. Concept-Mapping-Tools AFA.T.N2 Nennen digitale Technologien für Assessment, Feedback, Diagnose und deren adaptiven Gestaltung, die eine Lernbegleitung mit oben genannten Funktionen (teil-)automatisiert unterstützen können. AFA.T.N3 Nennen digitale Technologien, die einen anonymen, individuellen Vergleich mit und/oder in der Lerngruppe ermöglichen. AFA.T.N4 Nennen technische Umsetzungsmöglichkeiten für digitales Audio- und Videofeedback.
Beschreiben (inkl. notwendigem Vorgehen)	AFA.U.B1 Beschreiben didaktisch begründet Vorgehensweisen für den fachgemäßen Einsatz von digitalen Assessment- und Tutoring-Technologien (z. B. in Kombination mit Flipped Classroom, Teilen von Blended Learning) in Fachkontexten.	AFA.M.B1 Beschreiben Vor- und Nachteile sowie Grenzen digitaler Feedback-, Tutoring- und Assessment-/Diagnose-Technologien. AFA.M.B2 Beschreiben pädagogische Voraussetzungen des methodischen Einsatzes digitaler Feedback-, Tutoring- und Assessment-/Diagnose-Technologien, z. B. im Hinblick auf: ◆ Zeitaufwand und -nutzung ◆ Organisationsformen und Betreuung ◆ selbstgesteuertes, individuelles Lernen ◆ Interesse, Motivation und kulturelle Rahmenbedingungen AFA.M.B3 Beschreiben Strategien zum Einsatz von digitalen Feedback-, Tutoring- und Assessment-/Diagnose-Technologien in Lehr-Lern-Prozessen.		<i>Nicht mit Lernprozessen verbundene Anwendungen sind nach unserer Recherche noch nicht so zahlreich und bedeutend, als dass hier Anforderungen zu formulieren wären.</i>	AFA.T.B1 Beschreiben Daten, z. B. zur Anmeldung und/oder Nutzung, die genannte digitale Technologien erheben und speichern, um in Hinblick auf die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) sicher agieren zu können. AFA.T.B2 Beschreiben technische Rahmenbedingungen, die für einzelne digitale Technologien zum Einsatz im Bereich Assessment, Feedback und Diagnose notwendig sind. AFA.T.B3 Beschreiben aus technischer Perspektive die Umsetzung und die damit verbundenen Arbeitsabläufe bzw. Prozesse, um in AFA.T.N1 genannte digitale Technologien in Passung zu gegebenen technischen und kulturellen Rahmenbedingungen der digitalen Infrastruktur auszuwählen und einzusetzen.
Anwenden/ Durchführen (praktische und funktionale Realisierung, basierend auf einem dem Ausbildungsstand angemessenen, reflektierten Planungsprozess inkl. Reflexion der Durchführung)	AFA.U.A1 Planung und Durchführung von Lehr-Lern-Prozessen (d. h. in Unterrichtsszenarien und/oder darüber hinaus) unter Einbindung digitaler Technologien für Assessment, Feedback, Diagnose und ihres adaptiven Einsatzes. <i>Ein aktives Monitoring von Lernprozessen durch Studierende ist in der ersten Phase der Lehramtsausbildung i. d. R. nicht möglich.</i>	<i>Eine Anwendung ist zurzeit in vielen Fällen in der ersten Ausbildungsphase aufgrund fehlender Ausstattung und Lizenzen nicht möglich.</i> <i>Kontaktzeit ist häufig (auch bzgl. des Kompetenzstandes der Studierenden) für andere Felder sinnvoller einsetzbar.</i>			<i>Eine Anwendung ist in vielen Fällen in der ersten Phase der Lehramtsausbildung aufgrund fehlender Ausstattung und Lizenzen nicht möglich. Kontaktzeit ist häufig für andere Felder sinnvoller einsetzbar.</i>

Der Kompetenzbereich **‚Assessment, Feedback & Adaptivität‘ (AFA)** umfasst die individuelle Fertigkeit, digitale Werkzeuge systematisch für Feedback, Tutorielle Unterstützung und Assessment einzusetzen. Dazu gehört auch, die Auswahl von Systemen zur Unterstützung und Bewertung von Lernenden, einschließlich des Gebens von system-gesteuertem und/oder technologie-unterstütztem Feedback, der individuellen Betreuung und Differenzierung sowie der Leistungsbewertung, als zentrale Facette der Lernbegleitung. Dabei sind jeweils verstärkt auch digitalitätsbezogene Aspekte zu berücksichtigen.



▼ **Tab. 2 Kompetenzbereich ‚Dokumentation‘ (DO)**

Niveau	Unterrichten (TPACK)	Methodik, Digitalität (TPK)		Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK)	Spezielle Technik (TK)
Nennen	DO.U.N1 Digitale Techniken zur Dokumentation/Versionierung bzw. Datenarchivierung/Back-up-Erstellung für spezifische Lehr-Lern-Situationen, z. B. beim Experimentieren, für Ergebnisse einer Literaturrecherche nennen.	DO.M.N1 Methodische Aspekte, die beim Einsatz digitaler Dokumentation im Unterricht relevant sein können, nennen, z. B.: ◆ Zugang zu den Speichersystemen ◆ Zeitaufwand ◆ Hardwarebedarf ◆ Zugriffsbeschränkungen		DO.F.N1 Möglichkeiten der fachgemäßen digitalen Dokumentation/Versionierung und Datenarchivierung (z. B. Gendatenbanken, Spektraldatenbanken, Datenblätter) unter Berücksichtigung der Zitationsregeln nennen. DO.F.N2 Methoden der digitalen Datendokumentation in Forschungsszenarien (z. B. Bilddokumentation: Geldokumentation, Voxeldateien aus MRT-Scans) nennen.	DO.T.N1 Technische Ansätze nennen, wie z. B.: ◆ Möglichkeiten zur digitalen Dokumentation von z. B. Protokollen, Experimenten, Daten, Analyseprozessen, digitalen Herbarien (z. B. mittels Word, OneNote, Etherpad) ◆ Möglichkeiten von Systemen für dauerhafte Datenablage/-speicherung und entsprechende Softwareangebote/-archive (z. B. Netzwerkspeicher, Archivierungsserver, Cloudspeicher) ◆ Möglichkeiten der Versionsverwaltung und Dateiarchivierung (z. B. Dateibenennung mit fortlaufender Nummerierung, datumsbasierte Dateinamen, Windows-Dateiversionsverlauf, Apple Time Machine, Subversion, Git) DO.T.N2 Die Notwendigkeit der Durchführung von Back-ups als elementaren Teil digitaler Datenverwaltung nennen.
Beschreiben (inkl. notwendigem Vorgehen)	DO.U.B1 Didaktisch begründete Vorgehensweisen beim fachgemäßen Einsatz digitaler Techniken zur Dokumentation/Versionierung bzw. Datenarchivierung/Back-up-Erstellung für spezifische Lehr-Lern-Situationen beschreiben.	DO.M.B1 Methodische Vor- und Nachteile sowie Grenzen der spezifischen digitalen Technik bezogen auf Lehr-Lern-Situationen beschreiben.		DO.F.B1 Möglichkeiten der fachgemäßen digitalen Dokumentation/Versionierung und Datenarchivierung (z. B. Gendatenbanken, Spektraldatenbanken, Datenblätter) unter Berücksichtigung der Zitationsregeln beschreiben.	DO.T.B1 Im Hinblick auf vorhandene Funktionen, technische Rahmenbedingungen, technische Anforderungen, technische Vor- und Nachteile (z. B. automatisierte Back-ups) sind die unter DO.T.N1 angeführten Möglichkeiten technische Ansätze zur Dokumentation zu beschreiben. DO.T.B2 Die Notwendigkeit der Durchführung von Back-ups als Teil digitaler Datenverwaltung und das Vorgehen zur Durchführung eines Back-ups inklusive des Restores (Wiederherstellung der Daten) beschreiben.
Anwenden/Durchführen (praktische und funktionale Realisierung, basierend auf einem dem Ausbildungsstand angemessenen, reflektierten Planungsprozess inkl. Reflexion der Durchführung)	DO.U.A1 Planung und Durchführung kompletter Unterrichtsszenarien mit fachgemäßer Anwendung digitaler Techniken zur Dokumentation/Versionierung bzw. Datenarchivierung/Back-up-Erstellung unter Berücksichtigung geeigneter Organisations- und Sozialformen.				DO.T.A1 Fachunabhängige Integration folgender Prinzipien in die eigene (auch alltägliche) Arbeit: ◆ digital dokumentieren ◆ eine Versionsverwaltung nutzen ◆ Back-up-Lösungen für eigene Dateien nutzen ◆ mindestens ein Back-up inklusive Wiederherstellung der Daten durchführen

Der Kompetenzbereich ‚**Dokumentation**‘ (DO) umfasst die individuelle Fertigkeit, digitale Werkzeuge zur systematischen Ablage und dauerhaften Speicherung von Daten und Informationen fachgemäß zu nutzen. Dazu gehört auch, verschiedene Medien zu kombinieren und zu speichern, Informationen strukturiert zu sichern und zu archivieren sowie Abläufe und Sinnzusammenhänge darzustellen.



▼ Tab. 3 Kompetenzbereich ‚Präsentation‘ (P)

Niveau	Unterrichten (TPACK)	Methodik, Digitalität (TPK)		Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK)	Spezielle Technik (TK)
Nennen	P.U.N1 Zu (fachwissenschaftlichen) Präsentationsmedien für den Schuleinsatz geeignete Alternativen nennen (z. B. statt integrierter Mikroskopkamera ein digitales Handmikroskop, mobile Endgeräte als Hochgeschwindigkeitskamera). P.U.N2 Für spezifische Lehr-Lern-Settings/ Kontexte unterschiedliche Szenarien zum sachgerechten Einsatz (adressaten-, fach- und zielgerecht) digitaler Präsentationsmedien nennen.	P.M.N1 Prinzipien/Kriterien zur adressatengerechten Gestaltung digitaler Präsentationsmedien (z. B. CTML nach Richard E. Mayer, Gestaltpsychologie nach Wertheimer und Palmer) nennen. P.M.N2 Mögliche Aspekte nennen, auf die sich der Einsatz digitaler Präsentationsmedien beim Lernen und Lehren auswirken kann, z. B. im Hinblick auf: ◆ Zeitaufwand ◆ Organisationsformen ◆ Darstellungsformen ◆ Methoden ◆ Medienkenntnis/Einarbeitung ◆ Interesse und Motivation ◆ persönliche und soziale Konsequenzen		P.F.N1 Nennen mehrere fachspezifische/fachwissenschaftliche Szenarien und ggf. Kontexte für: ◆ digitale Präsentationsformen ◆ die digitale Präsentation von Prozessen (z. B. Zeitraffer für Osmose, Zeitlupe für Bewegungen) ◆ die Verwendung von Präsentationshardware (z. B. Wärmebildkameras, Mikroskopkameras, mobile Endgeräte mit Kameras) ◆ Präsentationssoftware (z. B. Origin, Matlab), die den aktuellen fachwissenschaftlichen Anforderungen und Zitationsregeln genügt	P.T.N1 Nennen jeweils mehrere technische Möglichkeiten zur Präsentation: ◆ von Inhalten unterschiedlicher Größenordnungen (z. B. Dokumentenkamera, Videokamera, Smartphone, Tablet, Mikroskopkamera) ◆ von Prozessen auf unterschiedlichen Zeitskalen (z. B. Zeitlupe, Zeitraffer) ◆ für ein größeres Auditorium (z. B. Beamer, interaktive Tafeln) ◆ für mehrere Gruppen (z. B. Anzeige auf mehreren Endgeräten) ◆ für einen einzelnen Empfänger
Beschreiben (inkl. notwendigem Vorgehen)	P.U.B1 Didaktische Voraussetzungen für den Einsatz digitaler Präsentationsmedien im Unterricht, Auswirkungen dieser auf die jeweiligen Unterrichtsverfahren sowie durch digitale Systeme ermöglichte Zugänge zu Basiskompetenzen (vor allem zum Kompetenzbereich Kommunikation) insbesondere beim inklusiven Lehren und Lernen beschreiben.	P.M.B1 Prinzipien/Kriterien zur adressatengerechten Gestaltung digitaler Präsentationsmedien (z. B. CTML nach Richard E. Mayer, Gestaltpsychologie nach Wertheimer und Palmer) beschreiben. P.M.B2 Pädagogische Voraussetzungen sowie Vor- und Nachteile beschreiben, die sich methodisch beim Einsatz digitaler Präsentationsmedien ergeben, z. B. im Hinblick auf: ◆ Zeitaufwand ◆ Organisationsformen ◆ Darstellungsformen ◆ Methoden ◆ Medienkenntnis/Einarbeitung ◆ Interesse und Motivation ◆ persönliche und soziale Konsequenzen		P.F.B1 Ausgewählte fachwissenschaftliche Präsentationsformen und -medien beispielhaft beschreiben, z. B.: ◆ Hochgeschwindigkeitsaufnahmen von Kollisionen ◆ Anfertigen von Diagrammen ◆ Zeitrafferaufnahmen von Pflanzenwachstum ◆ dreidimensionale Darstellungen von Molekülschwingungen	P.T.B1 Für jede Art der Präsentation mindestens eine Möglichkeit der technischen Umsetzung inklusive des notwendigen Vorgehens unter Bezugnahme auf aktuelle Hard- und Software sowie damit verbundenen technischen Standards beschreiben. P.T.B2 Die Eigenschaften/Funktionalitäten, technischen Voraussetzungen und etwaige Einschränkungen der jeweiligen Systeme beschreiben.
Anwenden/ Durchführen (praktische und funktionale Realisierung, basierend auf einem dem Ausbildungsstand angemessenen, reflektierten Planungsprozess inkl. Reflexion der Durchführung)	P.U.A1 Planung und Durchführung kompletter Unterrichtsszenarien unter Einbindung digitaler Präsentationsmedien und -formen und der Berücksichtigung geeigneter Sozial- und Organisationsformen. P.U.A2 Fachwissenschaftliche Darstellungen mit digitalen Medien für den Schulkontext elementarisieren.	P.M.A1 Auswahl bzw. Anpassung bestehender und erstellter eigener Präsentationsmedien unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten und Einschränkungen sowie Prinzipien/Kriterien zur adressatengerechten Gestaltung.		P.F.A1 Erstellung und Vorführung von Präsentationen im fachwissenschaftlichen Kontext unter Verwendung digitaler Präsentationsmedien, z. B.: ◆ Hochgeschwindigkeitsaufnahmen von Kollisionen ◆ Anfertigen von Diagrammen ◆ Zeitrafferaufnahmen von Pflanzenwachstum ◆ dreidimensionale Darstellungen von Molekülschwingungen	P.T.A1 Inbetriebnahme, Kalibrierung und Nutzung für mindestens ein Beispiel jeder Art der oben genannten Möglichkeiten digitaler Präsentation durchführen.

Der Kompetenzbereich ‚Präsentation‘ (P) beschreibt die individuelle Fähigkeit, digitale Medien ziel- und adressatengerecht für den Erkenntnis- und Kommunikationsprozess einzusetzen sowie das Wissen über Grenzen und Potenziale unterschiedlicher digitaler Präsentationsmedien.



▼ **Tab. 4 Kompetenzbereich ‚Kommunikation und Kollaboration‘ (KK)**

Niveau	Unterrichten (TPACK)	Methodik, Digitalität (TPK)		Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK)	Spezielle Technik (TK)
Nennen	KK.U.N1 Hardware und/oder Software nennen, die für eine spezifische Lehr-Lern-Situation sachgerecht (adressaten-, fach- und zielgerecht) geeignet ist. KK.U.N2 Kollaborationsszenarien für Einstieg, Erarbeitung und Sicherung nennen. KK.U.N3 Die Systeme als Zugang bzw. Vertiefung für den Kompetenzbereich Kommunikation nennen.	KK.M.N1 Nennen möglicher Grenzen und Auswirkungen/Aspekte der jeweiligen Hardware- bzw. Software-Nutzung im Unterricht im Hinblick auf: ◆ Organisationsformen ◆ gruppenarbeitsteilige Prozesse in der Sicherung und Erarbeitung (Arbeitspensum, Zuordnung zu Personen) ◆ Kommunikation über die Unterrichtszeit hinaus ◆ technische Probleme und Vorbereitungszeit ◆ Gruppendynamische Effekte ◆ Selbstorganisation und Selbststeuerung ◆ Datensicherheit (Schreib- und Lesezugriff) ◆ Zeiteffektivität ◆ Motivation ◆ Effekte basierend auf BYOD-Nutzung (Mobbing, Angeberei) ◆ Daten- bzw. Dateiaustausch		KK.F.N1 Kollaborative Projekte in den Fachwissenschaften (z. B. Seti@Home, Stallcatchers) nennen. KK.F.N2 Kollaborative Laborbücher als eine Art der kollaborativen Zusammenarbeit nennen. KK.F.N3 Kollaborative Dokumentbearbeitung bei Publikationen und Antragstellungen nennen (z. B. über Google Docs oder Office 365). KK.F.N4 Kommunikation mit internationalen Kollegen mittels geeigneter Systeme (z. B. über Skype oder Adobe Connect) nennen. KK.F.N5 Wissensorganisation und Strukturierung über entsprechende Content-Systeme (z. B. CMS und Wikis) nennen.	KK.T.N1 Software für kollaborative Text- und Datenverarbeitung, (z. B. Office 365, Google Docs, Etherpad) nennen. KK.T.N2 Gemeinsam nutzbare Cloud-Speicher-Programme (z. B. Landescloud, Schulcloud, Dropbox, OneDrive, Nextcloud/ownCloud, Sync’n’Share) nennen. KK.T.N3 Systeme für gemeinsam nutzbare Netzspeicher (z. B. WLAN-Speicher, NAS) nennen. KK.T.N4 Systeme zur Datenverwaltung nennen. KK.T.N5 Möglichkeiten der Versionsverwaltung (z. B. Dateibenennung mit fortlaufender Nummerierung, datumsbasierte Dateinamen, Subversion, Git) nennen. KK.T.N6 Kollaborativ nutzbare Systeme und Strategien zum Daten- und Dateimanagement nennen.
Beschreiben (inkl. notwendigem Vorgehen)	KK.U.B1 Einsatzszenarien einer geeigneten Möglichkeit/Strategie beschreiben. KK.U.B2 Kollaborationsszenarien für Einstieg, Erarbeitung und Sicherung (generische Unterrichtsplanung) beschreiben. KK.U.B3 Beschreiben didaktischer Voraussetzungen für den Einsatz im Unterricht, Auswirkungen dieser auf die jeweiligen Unterrichtsverfahren sowie durch digitale Systeme ermöglichte Zugänge zu Basiskompetenzen (vor allem zum Kompetenzbereich Kommunikation), auch beim inklusiven Lernen und Lehren.	KK.M.B1 Beschreiben Vorteile beim unterrichtlichen Einsatz im Hinblick auf die genannten Aspekte. KK.M.B2 Beschreiben Maßnahmen zur Begegnung möglicher negativer Auswirkungen z. B.: ◆ Aufstellen geeigneter Nutzungsregeln ◆ Kontrollmechanismen, z. B. Software wie Classroom von Apple, die Arbeitsanteile und Urheberschaft dokumentiert (z. B. Etherpad) ◆ Möglichkeiten für strukturierte Nutzerfreigaben und Rechteverwaltung ◆ Motivation und Mobbing/Angeberei durch Bereitstellung von Geräten		KK.F.B1 Vorteile der oben genannten Systeme für die Forschung und einzelne Projekte beschreiben.	KK.T.B1 Unter KK.T.N1-6 genannte Hard-/Software-Kombinationen bezüglich ihrer Anwendung beschreiben.
Anwenden/ Durchführen (praktische und funktionale Realisierung, basierend auf einem dem Ausbildungsstand angemessenen, reflektierten Planungsprozess inkl. Reflexion der Durchführung)	KK.U.A1 Planung und Durchführung von kompletten Unterrichtsszenarien mit sachgerechtem Einsatz der jeweiligen Technik unter Berücksichtigung geeigneter Organisations- und Sozialformen. KK.U.A2 Einweisung der Lernenden in die Techniken.				KK.T.A1 Nutzen kollaborative Software für Text- und Datenverarbeitung. KK.T.A2 Nutzen Speichersysteme, z. B. Landescloud, Schulcloud. KK.T.A3 Nutzen gemeinsam nutzbare Speichersysteme z. B. WLAN-Speicher, NAS. KK.T.A4 Nutzen Systeme zur Datenverwaltung. KK.T.A5 Erstellen und Überarbeiten (synchron und asynchron) kollaborativ Text- und Datendateien.

Der Kompetenzbereich ‚Kommunikation und Kollaboration‘ (KK) umfasst die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen synchrones oder asynchrones Arbeiten von Einzelpersonen oder Gruppen auf ein gemeinsames Ziel hin zu planen und mit Lernenden durchzuführen. Dazu werden gemeinsame Dateien oder Produkte erstellt und bearbeitet, gemeinsame Datenpools angelegt und bearbeitet sowie Systeme zur Rechtevergabe eingeplant und umgesetzt.



▼ Tab. 5 Kompetenzbereich ‚Recherche und Bewertung‘ (RB)

Niveau	Unterrichten (TPACK)	Methodik, Digitalität (TPK)		Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK)	Spezielle Technik (TK)
Nennen	RB.U.N1 Nennen Bedingungen und Szenarien für den sachgerechten Einsatz von Datenbanken oder Literatur-Datenbanken in Lehr-Lern-Szenarien. RB.U.N2 Nennen Kriterien zur Bewertung der Ergebnisse einer Recherche. RB.U.N3 Nennen die Schritte einer erfolgreichen internetbasierten Informationssuche bzw. Problemlösung (z. B. entsprechend dem IPS-I-Modell nach Brand-Gruwel, Wopereis und Walraven): 1. Definition des zu lösenden Problems 2. Recherche von Informationen 3. Überfliegen und Überprüfen der Rechercheergebnisse 4. kognitiv-elaborative Verarbeitung der Informationen 5. Präsentation der Informationen	RB.M.N1 Nennen Vor- und Nachteile sowie Grenzen digitaler Datenbanken und Suchmaschinen für die Verwendung in Lehr-Lern-Szenarien. RB.M.N2 Nennen Vor- und Nachteile sowie Grenzen für die Verwendung digitaler Quellen in Lehr-Lern-Szenarien.		RB.F.N1 Nennen mehrere naturwissenschaftsspezifische Datenbanken/Datenarchivierungen (z. B. Gendatenbanken, Spektraldatenbanken, Sammlungsinventardatenbanken). RB.F.N2 Nennen mehrere Literatur-Datenbanken oder -Suchmaschinen (z. B. OPAC, Google Scholar, Web of Science, Scopus). RB.F.N3 Nennen mindestens zwei Gütekriterien zur Bewertung digitaler Quellen aus fachwissenschaftlicher Perspektive z. B.: ◆ Aktualität ◆ notwendiger Umfang/Stil/Gestaltung ◆ notwendige Datenmenge/Auflösung ◆ Fach-/Wissenschaftlichkeit ◆ fachlicher, neutraler Sprachstil ◆ Validität und Reliabilität ◆ Reviewverfahren ◆ Urheber und Referenzen RB.F.N4 Nennen Einflussfaktoren auf das Suchergebnis bei der Verwendung von Suchmaschinen z. B.: ◆ Suchergebnisse basierend auf vorangegangenen Suchen ◆ verwendete Suchbegriffe ◆ verwendete Operatoren	RB.T.N1 Nennen Suchmöglichkeiten der digitalen Recherche z. B.: ◆ Suchfunktionen von Bibliotheksseiten (u. a. Fachbereichsbibliothek, Universitätsbibliothek) ◆ Fachdatenbanken (u. a. elektronische Zeitschriftenbibliothek) ◆ elektronische Volltexte (u. a. E-Books, elektronische Dissertationen) RB.T.N2 Nennen Aspekte der Notwendigkeit einer Recherchestrategie (Problemanalyse, Stichwörter, Synonyme und Suchdienste). RB.T.N3 Nennen Aspekte des Aufbaus und der Nutzung/Erstellung von Datenbanken, z. B.: ◆ Datenfelder ◆ Datensätze ◆ Links ◆ Rechte ◆ Prüfungsinstanzen
Beschreiben (inkl. notwendigem Vorgehen)	RB.U.B1 Beschreiben sachgerechte Einsatzszenarien von digitalen Recherchen z. B. in (fachspezifischen) Datenbanken oder Literatur-Datenbanken sowie die Durchführung einer Bewertung der Ergebnisse anhand der Gütekriterien. RB.U.B2 Beschreiben die Schritte einer erfolgreichen internetbasierten Informationssuche bzw. Problemlösung anhand eines naturwissenschaftlichen Unterrichtsbeispiels in den unter RB.U.N3 angeführten Schritten (z. B. entsprechend dem IPS-I-Modell nach Brand-Gruwel, Wopereis und Walraven).	RB.M.B1 Beschreiben Vor- und Nachteile sowie Grenzen digitaler Datenbanken und Suchmaschinen für die Verwendung in Lehr-Lern-Szenarien. RB.M.B2 Beschreiben Vor- und Nachteile sowie Grenzen für die Verwendung digitaler Quellen in Lehr-Lern-Szenarien.		RB.F.B1 Beschreiben fachspezifische Möglichkeiten der digitalen Recherche, z. B. OPAC, Fachdatenbanken und elektronische Volltexte. RB.F.B2 Beschreiben Strategien zur Entnahme von Informationen aus digitalen Quellen. RB.F.B3 Beschreiben Eigenschaften zweier naturwissenschaftsspezifischer Datenbanken. RB.F.B4 Beschreiben Eigenschaften zweier Literatur-Datenbanken oder -Suchmaschinen. RB.F.B5 Beschreiben mindestens zwei der unter RB.F.N3 genannten Gütekriterien, z. B. Umfang, Datenmenge/Auflösung, Fachwissenschaftlichkeit, Validität, Reliabilität und Reviewverfahren.	RB.T.B1 Beschreiben eine Recherchestrategie (Problemanalyse, Stichwörter, Synonyme und Suchdienste). RB.T.B2 Beschreiben Gütekriterien zur Bewertung der Validität von digitalen Quellen, z. B.: ◆ Aktualität ◆ Wissenschaftlichkeit ◆ neutraler Sprachstil ◆ Urheber ◆ Referenzen ◆ Stil/äußere Gestaltung RB.T.B3 Beschreiben den Aufbau von Datenbanken und Funktion von Filtern.
Anwenden/ Durchführen (praktische und funktionale Realisierung, basierend auf einem dem Ausbildungsstand angemessenen, reflektierten Planungsprozess inkl. Reflexion der Durchführung)	RB.U.A1 Planung und Durchführung von kompletten Unterrichtsszenarien unter Einbindung von Recherchen z. B. in (fachspezifischen) Datenbanken oder Literatur-Datenbanken sowie der Bewertung der Ergebnisse anhand der Gütekriterien und der Berücksichtigung geeigneter Sozial- und Organisationsformen. RB.U.A2 Planung und Durchführung von naturwissenschaftlichen Unterrichtsszenarien unter Einbindung der Schritte einer erfolgreichen internetbasierten Informationssuche bzw. Problemlösung in den unter RB.U.N3 angeführten Schritten (z. B. entsprechend dem IPS-I-Modell nach Brand-Gruwel, Wopereis und Walraven).	RB.M.A1 Planung und Durchführung von Unterrichtsszenarien, in denen die (fachunabhängigen) Vor- und Nachteile sowie Grenzen digitaler Datenbanken und Suchmaschinen thematisiert werden.		RB.F.A1 Führen eine fachspezifische Recherche gemäß der Gütekriterien durch und bewerten die gefundenen Ergebnisse.	

Der Kompetenzbereich ‚Recherche und Bewertung‘ (RB) umfasst neben technischen Fertigkeiten die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen Informationen zu vorgegebenen Themenbereichen oder zur Lösung von Fragestellungen zu beschaffen, diese zu strukturieren und zu bewerten. Dazu werden Suchziele definiert und verschiedene Informationsquellen eingebunden und bewertet.



▼ Tab. 6 Kompetenzbereich ‚Messwert- und Datenerfassung‘ (MD)

Niveau	Unterrichten (TPACK)	Methodik, Digitalität (TPK)		Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK)	Spezielle Technik (TK)
Nennen	MD.U.N1 Zur fachwissenschaftlichen digitalen Messwerterfassung (dME) für den Schuleinsatz taugliche Alternativen nennen. MD.U.N2 Für spezifische Lehr-Lern-Settings unterschiedlichster Szenarien zum sachgerechten Einsatz (schüler-, fach- und zielgerecht) dME und damit verbundene Messstrategien nennen, z. B.: ◆ Untersuchung der Veränderung der Hauttemperatur beim Sport oder beim Rauchen durch Thermografie mit Wärmebildkameras ◆ Bestimmung des Nitratgehalts eines Gewässers durch computergestützte Messwerterfassung ◆ Analyse der Flügelschlagfrequenzen von Insekten mit mobilen Endgeräten	MD.M.N1 Mögliche weitere Aspekte nennen, auf die sich der Einsatz dME beim Lernen und Lehren auswirken kann, z. B. im Hinblick auf: ◆ Zeitaufwand ◆ Organisationsformen ◆ Darstellungsformen ◆ Methoden ◆ Medienkenntnis/Einarbeitung ◆ Interesse und Motivation ◆ persönliche und soziale Konsequenzen		MD.F.N1 Fachwissenschaftliche Szenarien und ggf. Kontexte dME (z. B. Videoanalyse, Aufnahme eines EKG, pH-Wert-Erfassung) nennen. MD.F.N2 Messinstrumenten mit dME (z. B. Wärmebildkameras, mobile Endgeräte mit Kameras, integrierten und externen Sensoren) nennen, die den aktuellen Anforderungen der fachwissenschaftlichen Forschung genügen. MD.F.N3 Damit korrespondierende Messsysteme und relevante Sicherheitsstandards nennen. MD.F.N4 Ferngesteuerte Labore (z. B. Teleskope) zur Durchführung von Experimenten, die vor Ort nicht durchgeführt werden können, nennen.	MD.T.N1 Jeweils mehrere Möglichkeiten der dME nennen, z. B.: ◆ zur Analyse von Multimedia-Material (z. B. Colorimetrie, Videoanalyse) ◆ zur computerunterstützten Messwerterfassung mit schulspezifischen Systemen (z. B. für EKG-, pH-, Temperatur-, Strom-, Spannungs-, Bewegungsmessungen) ◆ mit Labor-/Messinstrumenten, die Messdaten zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stellen (u. a. digitale Waagen, Wärmebildkameras) ◆ mit mobilen Endgeräten mit eingebauten Sensoren zur Datenaufnahme (z. B. Kamera, Gyroskop, Beschleunigungs-, Licht- und Biometrie-Sensor) ◆ mit mobilen Endgeräten mit externen Sensoren
Beschreiben (inkl. notwendigem Vorgehen)	MD.U.B1 Beschreiben didaktische Voraussetzungen für den Einsatz von Systemen für dME im Unterricht (z. B. individuell angepasste Instruktionen), Auswirkungen der dME auf die jeweiligen Unterrichtsverfahren (z. B. Ermöglichung von forschend-entdeckendem Lernen durch mobile Endgeräte), durch digitale Systeme ermöglichte Zugänge zu Basiskompetenzen, Erkenntnisgewinnung und NOS-Konzepten.	MD.M.B1 Pädagogische Voraussetzungen sowie Vor- und Nachteile beschreiben, die sich methodisch beim Einsatz dME ergeben, z. B. im Hinblick auf die unter MD.M.N1 gelisteten Aspekte.		MD.F.B1 Ausgewählte fachwissenschaftliche Szenarien der dME beispielhaft beschreiben.	MD.T.B1 Für jede Art der dME mindestens eine Möglichkeit der technischen Umsetzung inkl. des notwendigen Vorgehens unter Bezugnahme auf aktuelle Hard- und Software sowie damit verbundenen Standards beschreiben. MD.T.B2 Die Messcharakteristika (z. B. Messbereich, Messgenauigkeit, Auflösung, Abtastrate, Einsatzbereiche, Limitierungen) der Systeme beschreiben.
Anwenden/ Durchführen (praktische und funktionale Realisierung, basierend auf einem dem Ausbildungsstand angemessenen, reflektierten Planungsprozess inkl. Reflexion der Durchführung)	MD.U.A1 Planung und Durchführung kompletter Unterrichtsszenarien unter Einbindung einer dME und der Berücksichtigung geeigneter Sozial- und Organisationsformen.			MD.F.A1 Aufnahme von Messwerten im fachwissenschaftlichen Kontext unter Verwendung von dME, z. B.: ◆ Durchführung einer Elektrokardiographie ◆ Durchführung einer Titration ◆ quantitative Untersuchung von Stoßversuchen	MD.T.A1 Inbetriebnahme, Kalibrierung und Messwerterfassung für mindestens ein Beispiel jeder Art der oben genannten Möglichkeiten der dME.

Der Kompetenzbereich ‚Messwert- und Datenerfassung‘ (MD) beschreibt die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen mittel- oder unmittelbar Daten zu erheben. Dies umfasst die Eingabe von (Mess-)Daten, die Digitalisierung analoger Daten, das Anfertigen von Bildern und Filmen, den Einsatz von Sonden, Sensoren und Programmen/Apps sowie die Messwertgewinnung aus Dokumentationsmedien wie Bildern oder Videos.



▼ **Tab. 7 Kompetenzbereich ‚Datenverarbeitung‘ (DV)**

Niveau	Unterrichten (TPACK)	Methodik, Digitalität (TPK)		Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK)	Spezielle Technik (TK)
Nennen	DV.U.N1 Werkzeuge für den sachgerechten Einsatz (adressaten-, fach- und zielgerecht) der Datenverarbeitung nennen. DV.U.N2 Szenarien zum Einsatz der genannten Möglichkeiten einer Datenverarbeitung in spezifischen Lehr-Lern-Situationen mit Passung zu einem inhaltlich sinnvollen Kontext nennen.	DV.M.N1 Für eine Lehr-Lern-Situation notwendige Vorkenntnisse und Kompetenzen der Lernenden zum Einsatz der Techniken nennen. DV.M.N2 Methodische Aspekte des Lernen und Lehrens über digitale Datenverarbeitung nennen, z. B. hinsichtlich: ◆ Zeit ◆ Organisationsform ◆ Ausrüstungs- und Materialbedarf DV.M.N3 Zu beachtende Punkte bei der Verarbeitung von personenbezogenen Daten im Rahmen von Arbeitsschritten nennen.		DV.F.N1 Quasi-etablierte Vorgehensweisen der digitalen Datenverarbeitung im Fachgebiet nennen. DV.F.N2 Fachwissenschaftliche Szenarien mit zugehörigen Methoden der fachspezifischen Datenverarbeitung nennen, z. B.: ◆ Bestimmung und Extraktion von Kurvenmaxima (z. B. Schallpegel, Beschleunigungsmessungen) ◆ Colorimetrie (DNA-Arrays, Konzentrationsmessungen) ◆ Messunsicherheiten, Standardfehler, Streuung, etc. bei der Auswertung von Messdaten ◆ Konzentrationsberechnungen aus Stoffmengen- und Volumenangaben inklusive einer fachlichen Kontextuierung (z. T. auch Big-Data-Analysen)	DV.T.N1 Verschiedene Datentypen und Kodierungen sowie zugehörige Daten- bzw. Dateiformate (sowie damit erlaubte Operationen) nennen, z. B. für: ◆ Bild und Video ◆ Audio ◆ Werte (Integer, Float) ◆ Text DV.T.N2 Digitale Werkzeuge (z. B. Statistikprogramme, Tabellenkalkulation, Datenbanken) nennen zur: ◆ Filterung ◆ Berechnung neuer Größen ◆ Aufbereitung zur Visualisierung ◆ statistischen Analyse ◆ Bild-, Audio- und Videoanalyse ◆ Verknüpfung von Daten ◆ Automatisierung in der Datenverarbeitung DV.T.N3 Unterstützte Dateiformate der genannten Werkzeuge nennen. DV.T.N4 Möglichkeiten des Exports und Imports von digitalen Daten der genannten Datentypen und Kodierungen nennen. DV.T.N5 Möglichkeiten zur Konvertierung der Daten und Datenformate nennen.
Beschreiben (inkl. notwendigem Vorgehen)	DV.U.B1 Didaktische Voraussetzungen der digitalen Datenverarbeitung für den Einsatz in und Auswirkungen auf die jeweiligen Unterrichtsverfahren beschreiben. DV.U.B2 Durch digitale Datenverarbeitung ermöglichte Zugänge zu Basiskompetenzen (vor allem zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung) beschreiben.	DV.M.B1 Möglichkeiten zum Schutz und zur Anonymisierung von personenbezogenen Daten beschreiben. DV.M.B2 Vor- und Nachteile methodischer Aspekte der digitalen Datenverarbeitung beim Lernen und Lehren beschreiben, z. B. hinsichtlich: ◆ Zeit ◆ Organisationsform ◆ Ausrüstungs- und Materialbedarf		DV.F.B1 Fachwissenschaftliche Szenarien mit zugehörigen Methoden, in denen fachspezifische Datenverarbeitung stattfindet, beschreiben.	DV.T.B1 Eigenschaften der Datentypen und -formate sowie mit einer Konvertierung verbundene Änderungen beschreiben. DV.T.B2 Verfahren (z. B. Statistikprogramme, Tabellenkalkulation, Datenbanken) beschreiben zur: ◆ Filterung ◆ Berechnungen neuer Größen ◆ Aufbereitung zur Visualisierung ◆ statistischen Analyse ◆ Bild-, Audio- und Videoanalyse ◆ Verknüpfung von Daten ◆ Automatisierung in der Datenverarbeitung DV.T.B3 Mögliche Schwierigkeiten beim Export und Import von digitalen Daten der genannten Typen beschreiben. DV.T.B4 Möglichkeiten zur Konvertierung der Daten und Datenformate beschreiben. DV.T.B5 Datenstruktur von XML-, CSV-Dateien (auch mit Strichpunktseparation) beschreiben.
Anwenden/ Durchführen (praktische und funktionale Realisierung, basierend auf einem dem Ausbildungsstand angemessenen, reflektierten Planungsprozess inkl. Reflexion der Durchführung)	DV.U.A1 Planung und Durchführung kompletter Unterrichtsszenarien unter Einbindung digitaler Datenverarbeitung und der Berücksichtigung geeigneter Sozial- sowie Organisationsformen.				DV.T.A1 Verfahren (z. B. Statistikprogramme, Tabellenkalkulation, Datenbanken) anwenden zur: ◆ Filterung ◆ Berechnungen neuer Größen ◆ Aufbereitung zur Visualisierung ◆ statistischen Analyse ◆ Bild-, Audio- und Videoanalyse ◆ Verknüpfung von Daten ◆ Automatisierung in der Datenverarbeitung DV.T.A2 Digitale Daten der Datentypen und -formate exportieren und importieren. DV.T.A3 Daten und Datenformate mit ausgewählter Software konvertieren.

Der Kompetenzbereich **‚Datenverarbeitung‘** (DV) beschreibt die individuelle Fähigkeit, mit digitalen Werkzeugen Daten weiterzuverarbeiten. Dies umfasst Filterung, Berechnungen neuer Größen, Aufbereitung, statistische Analysen und Zusammenführen von Datensätzen.



▼ Tab. 8 Kompetenzbereich ‚Simulation und Modellierung‘ (SM)

Niveau	Unterrichten (TPACK)	Methodik, Digitalität (TPK)		Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK)	Spezielle Technik (TK)
Nennen	SM.U.N1 Nennen Szenarien für den sachgerechten Einsatz digitaler Simulationen und Modellierungen (z. B. Tabellenkalkulation, Geogebra für den Einsatz in der Lehre) sowie Software und Strategien zum Einsatz in einem spezifischen Lehr-Lern-Szenarium, z. B.: ◆ als Möglichkeit des Erkenntnisgewinns ◆ mangels anderer finanzierbarer, zugänglicher und sicherer Methoden ◆ als fachspezifische Arbeitsweise ◆ als zeitlich optimierte Form der Datengewinnung ◆ interaktive Methode ◆ als Ansatz für eine gezielte, variable Modellkritik	SM.M.N1 Nennen Vor- und Nachteile, typische Eigenschaften sowie die Grenzen in Lehr-Lern-Szenarien unter Berücksichtigung von z. B.: ◆ fachlicher Korrektheit (Vereinfachung) ◆ Modellvarianten, normativ (Rezepte, Berechnung von Zinsen), deskriptiv (Wetterbericht, Kettenlinie) ◆ Qualität der Repräsentation ◆ Zeitaufwand (Berechnungsdauer) ◆ Einweisungszeit ◆ der Realisierung risikofreier, fehlertoleranter Räume (Sicherheitsaspekte) ◆ den jeweiligen mathematischen Modellen (z. B. Parameter, Rundungsfehler, Eingabegenauigkeit) ◆ notwendigen Vorkenntnissen SM.M.N2 Nennen Vor- und Nachteile im Vergleich zu analogen Simulationen (Planspiele).		SM.F.N1 Nennen mehrere fachwissenschaftliche Szenarien, in denen Simulation bzw. Modellierung zur Erkenntnisgewinnung genutzt wird (z. B. Temperaturfelder, Magnetfelder, Klimamodelle). SM.F.N2 Nennen mindestens zwei Methoden der digitalen Simulation bzw. Modellierung in Forschungsszenarien (z. B. Populationsdynamiken nach Lotka-Volterra). SM.F.N3 Nennen mehrere Datenquellen, aus denen für eine Modellierung einsetzbare Daten entnommen/bezogen werden können (z. B. Wetterdaten, Populationen, Messwerte aus den Fachwissenschaften). SM.F.N4 Nennen Erkenntnisse, die mit Simulationen gewonnen wurden (z. B. Materialbeanspruchung, Crashtests, Wettervorhersage, Erderwärmung). SM.F.N5 Nennen unterschiedliche Zielkategorien des Einsatzes von Simulationen: ◆ prognostisch → Generierung von Messwerten ◆ analytisch → Abgleich mit Messwerten ◆ Veranschaulichung → Vermittlung ◆ eingebunden in einen Selbstlernprozess → Erkenntnisgewinnung SM.F.N6 Nennen unterschiedliche Zielkategorien des Einsatzes von Modellierungs-Applikationen ◆ prognostisch → Generierung von Messwerten ◆ analytisch → Abgleich mit Messwerten	SM.T.N1 Nennen mehrere Programme oder Webpakete, mit denen Simulationen und Modellierungen vorgenommen werden können (abseits einer Tabellenkalkulation wie z. B. Excel). SM.T.N2 Nennen für die digitale Modellierung notwendige Datengrundlagen, Fertigkeiten und notwendige Vorkenntnisse des Bedieners/Nutzers, z. B. im Hinblick auf: ◆ Programmierung und Syntax ◆ benötigte Hardware (Leistung) ◆ Datenpoolgröße für Berechnungen SM.T.N3 Nennen mehrere Simulationen und Zugänge zu Simulationen: ◆ zur Generierung von Daten im Erkenntnisprozess, z. B. mit einem Tabellenkalkulationsprogramm ◆ zum Abgleich mit experimentell gewonnenen Daten, z. B. mit einem Tabellenkalkulationsprogramm ◆ zur Veranschaulichung fachlicher Zusammenhänge, z. B. PhET-Simulationen SM.T.N4 Nennen Kennzeichen einer Simulation: ◆ Übertragung eines Bedeutungszusammenhangs von einer Objektdarstellung in eine andere ◆ strukturgetreue Abbildung ◆ handlungsgetreue Abbildung ◆ Reduktion der Komplexität
Beschreiben (inkl. notwendigem Vorgehen)	SM.U.B1 Beschreiben didaktische Voraussetzungen für den Einsatz von Simulationen und Modellierungen im Unterricht und deren Auswirkungen auf die jeweiligen Unterrichtsverfahren sowie durch digitale Systeme ermöglichte Zugänge zu Basiskompetenzen (vor allem zum Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung und ggf. Kommunikation).	SM.M.B1 Beschreiben und bewerten Simulationen und Modellierungssoftware bezüglich Motivation (Usability, Attraktivität, Klarheit der Beschreibung und Zielsetzung) und Methodik (Flexibilität, Passung an die Zielgruppe, Umsetzung, klare Beschreibung und Zielsetzung). SM.M.B2 Beschreiben Vor- und Nachteile im Vergleich zu analogen Simulationen (Planspiele).		SM.F.B1 Beschreiben den Erkenntnisgewinn mit Simulationen und deren Vor-/Nachteile sowie deren erkenntnistheoretische Limitierungen in verschiedenen konkreten Forschungsszenarien.	SM.T.B1 Beschreiben des Funktionsumfangs der genannten Pakete bzw. Programme in Hinblick auf: ◆ Parametrisierung ◆ Rechenzeit ◆ Mathematisierung und GUI bzw. Modellbeschreibung ◆ Ausgabemöglichkeiten (als Graphen oder Datensätze)
Anwenden/ Durchführen (praktische und funktionale Realisierung, basierend auf einem dem Ausbildungsstand angemessenen, reflektierten Planungsprozess inkl. Reflexion der Durchführung)	SM.U.A1 Planung und Durchführung kompletter Unterrichtsszenarien unter Einbindung von Simulationen bzw. Modellierungen und der Berücksichtigung geeigneter Sozial- und Organisationsformen.				SM.T.A1 Führen mindestens eine Modellierung inklusive Simulation und Ergebnissicherung durch.

Der Kompetenzbereich ‚Simulation und Modellierung‘ (SM) beschreibt die individuellen Fertigkeiten, digitale Modellierungen zu erstellen sowie fertige digitale Simulationen ziel- und adressatengerecht für den Erkenntnis- und Kommunikationsprozess einzusetzen. Hierbei stehen auch die Grenzen und Potenziale von Modellen und Simulationen für den Erkenntnisgewinn im Fokus.

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 – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt, & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 14–43). Joachim Herz Stiftung.

Brand-Gruwel, S., Wopereis, I., & Walraven, A. (2009). A descriptive model of information problem solving while using internet. *Computers & Education*, 53(4), 1207–1217.

Bronner, P. (2019). Sechs Vorschläge für spannenden naturwissenschaftlichen Unterricht mit BYOD. *Computer + Unterricht*, 113, 23–27.

Ebner, M., Schön, S., Bäuml-Westebbe, G., Buchem, I., Lehr, C., & Egloffstein, M. (2013). Kommunikation und Moderation: Internetgestützte Kommunikation zur Lernunterstützung. In M. Ebner, & S. Schön (Hrsg.), *L3T: Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien* (2. Auflage, S. 157–165). Abgerufen am 06.03.2020, von <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-opus-83416>

Eickelmann, B., Lorenz, R. & Endberg, M. (2017). Lernaktivitäten mit digitalen Medien im Fachunterricht der Sekundarstufe I im Bundesländervergleich mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer. In: R. Lorenz, W. Bos, M. Endberg, B. Eickelmann, S. Grafe & J. Vahrenhold (Hrsg.). *Schule digital – der Länderindikator 2017: Schulische Medienbildung in der Sekundarstufe I mit besonderem Fokus auf MINT-Fächer im Bundesländervergleich und Trends von 2015 bis 2017* (S. 231–260). Waxmann.

Girwidz, R., Thoms, L.-J., Pol, H., López, V., Michelini, M., Stefanel, A. ... Hömöstre, M. (2019). Physics teaching and learning with multimedia applications. A review of teacher-oriented literature in 34 local language journals from 2006 to 2015. *International Journal of Science Education*, 41(9), 1181–1206.

Götz, C. & Walter, A. (2017). „Smartphone Nutzung unter SchülerInnen. Wer nutzt, wie lange, welche Apps?“ Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Dept. of Computer Science, Technical Reports, CS-2017-04.

Hilfert-Rüppell, D., & Sieve, B. F. (2017). Entschleunigen biologischer und chemischer Abläufe durch Zeitlupenaufnahmen. In J. Meßinger-Koppelt, S. Schanze, & J. Groß (Hrsg.), *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen. Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer* (S. 147–160). Hamburg: Joachim Herz Stiftung.

Huwer, J., Bruckermann, T., Thyssen, C. & Becker-Genschow, S. (2024). Editorial: STEM/science teacher education for the future: “from TPaCK to DPaCK”. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1387305>

Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S., & Thyssen, C. (2019a). Von TPaCK zu DPaCK – Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 5, 358–364.

Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S., & Thyssen, C. (2019b). Digitality-related Paedagogical Content Knowledge (DPaCK) – A Framework for teacher education in the digital age. In M. Shelly, & A. Kiray (Eds.), *Education Research Highlights in Mathematics, Science and Technology 2019* (S. 298–309). Iowa: IRES Publishing.

Johnston, B. & Webber, S. (2003). Information Literacy in Higher Education: A review and case study. *Studies in Higher Education*, 28(3), 335–352. <https://doi.org/10.1080/03075070309295>

Kultusministerkonferenz (2016). *Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz*. Abgerufen am 19.02.2020, von https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf

Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19.

Kousa, P. & Niemi, H. (2023). AI ethics and learning: EdTech companies’ challenges and solutions. *Interactive Learning Environments*, 31(10), 6735–6746. <https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2043908>

Kuhn, J. (2015). iMobilePhysics. *Computer + Unterricht*, 95, 20–22.

Kron, F.W. (2004). *Grundwissen Didaktik* (2. Auflage). München: UTB.

Mayer, R. E. (Ed.). (2014). *The Cambridge handbook of multimedia learning (Second edition)*. Cambridge: Cambridge University Press.

Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2018). *JIM-Studie 2018. Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger*. Stuttgart: MPFS. Abgerufen am 19.02.2020, von https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2018/Studie/JIM2018_Gesamt.pdf

mpfs – Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (Hrsg.) (2023). *JIM-Studie 2023. Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger*. Verfügbar unter: https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2022/JIM_2023_web_final_kor.pdf [29.06.2024]

Michel, M. (2010). *Hochgeschwindigkeitskameras im Physikunterricht: Physik unter der (Zeit-)Lupe*. Abgerufen am 24.02.2020, von <http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Highspeedkamera.pdf>

Palmer, S. E. (1999). *Vision science: Photons to phenomenology*. Cambridge, MA: MIT Press.

Punie, Y. & Redecker, C. (Hrsg.) (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. EUR 28775 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Ridsdale, C., Rothwell, J., Smit, M., Ali-Hassan, H., Bliemel, M., Irvine, D., Kelley, D., Matwin, S., & Wuetherick, B. (2015). *Strategies and Best Practices for Data Literacy Education. Knowledge Synthesis Report*. Abgerufen am 19.02.2020, von <https://dalspace.library.dal.ca/bitstream/handle/10222/64578/Strategies%20and%20Best%20Practices%20for%20Data%20Literacy%20Education.pdf?sequence=1>

Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136–153.

Schrader, F., & Schanze, S. (2015). Messwerte digital erfassen: Erfassung und Verarbeitung von Messwerten mit neuen Medien. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 145, 34–38.

Thyssen, C., & Huwer, J. (2018). Promotion of transformative education for sustainability with ICT in real-life contexts. In I. Eilks, S. Markic, & B. Ralle (Eds.), *Building bridges across disciplines for transformative education and a sustainable future* (S. 85–96). Aachen: Shaker Verlag.

Thyssen, C., Huwer, J., & Krause, M. (2020). Digital Devices als Experimentalwerkzeuge – Potenziale digitalen Experimentierens mit Tablet und Smartphone. *Unterricht Biologie*, 451, 44–47.

Thyssen, C., Thoms, L.-J., von Kotzebue, L., Becker-Genschow, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E. & Meier, M. (2024, in diesem Band). Technik & Digitalität – Gesellschaft und soziokulturelle Dynamiken beim digital gestützten Unterrichten mitdenken. 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* (S. 9–12). 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 Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0786-9_8

Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. (2011). High Speed – Slow Motion: Technik digitaler Hochgeschwindigkeitskameras. *Physik in unserer Zeit*, 42(3), 144–148.

Walraven, A., Brand-Gruwel, S., & Boshuizen, H. P. (2008). A descriptive model of information problem solving while using internet. *Computers in Human Behavior*, 24(3), 623–648.

Wang, Z. & Han, F. (2022). The Effects of Teacher Feedback and Automated Feedback on Cognitive and Psychological Aspects of Foreign Language Writing: A Mixed-Methods Research. *Frontiers in psychology*, 13, 909802. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.909802>

Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. II. *Psychologische Forschung*, 4(1), 301–350.

Wolff, A., Gooch, D., Cavero Montaner, J., Rashid, U., & Kortuem, G. (2016). Creating an Understanding of Data Literacy for a Data-driven Society. *The Journal of Community Informatics*, 12(3), 9–26.

Ziegler, M. (2017). *Können preisgünstige Smartphone-Wärmebildkameras gewinnbringend im Physikunterricht eingesetzt werden?*. Abgerufen am 19.02.2020, von https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/physik/gym/bp2016/fb5/5_waermebild/500_zg_waermebildkamera.pptx

Über die Autorinnen und Autoren

Alle Autorinnen und Autoren sind Mitglied der AG Digitale Basiskompetenzen in der Lehrkräftebildung und in der Mehrheit Alumni des Kolleg Didaktik:digital der Joachim Herz Stiftung.

- **Prof. Dr. Sebastian Becker-Genschow** leitet das Forschungsgebiet Digitale Bildung mit Schwerpunkt Künstliche Intelligenz am Department Didaktiken der Mathematik und der Naturwissenschaften an der Universität zu Köln. Er war zuvor mehrere Jahre Lehrer für Physik und Mathematik, bevor er zu technologieunterstütztem Physikunterricht an der TU Kaiserslautern promovierte. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Unterstützung von Lehr-Lern-Prozessen im MINT-Bereich durch KI-basierte Technologien in Schule und Universität sowie die digitalisierungsbezogene Professionsentwicklung von Lehrkräften.
- **Prof. Dr. Till Bruckermann** ist Universitätsprofessor für Lehr- und Lern-Forschung in innovativen, außerschulischen Lern- und Entwicklungsräumen am Institut für Erziehungswissenschaft der Leibniz Universität Hannover. Er erforscht digitale Technologien in nicht-formalen und informellen Lernkontexten mit einem Schwerpunkt auf naturwissenschaftlicher Bildung.
- **Alexander Finger** ist Studiengangskoordinator für die wissenschaftliche Ausbildung von Lehrkräften im Fach Biologie am Zentrum für Lehrerbildung und Schulforschung an der Universität Leipzig. Zu seinen Lehr- und Forschungsinteressen zählen der Einsatz digitaler Medien bei der Pflanzenbestimmung, der Anwendungsbereich zur Digitalisierung in der Lehrerbildung sowie die Ausgangs- und Gelingensbedingungen für den Qualifikationsprozess von Lehrkräften im Seiteneinstieg.
- **Prof. Dr. Johannes Huwer** ist Professor für Fachdidaktik der Naturwissenschaften an der Universität Konstanz und der PH Thurgau. Er forscht seit einigen Jahren in den Bereichen der Digitalisierung und der Nachhaltigkeitsbildung in Science Education. Im Bereich der Digitalisierung besteht ein besonderes Forschungsinteresse in der fachdidaktischen Gestaltung von adaptiven und immersiven AR- und KI-Lehr-Lern-Umgebungen sowie der Professionalisierungsforschung von Lehrkräften (DiKoLAN/DPACK).
- **Erik Kremser** leitet seit 2007 das Demonstrationspraktikum und die Vorlesungsassistenz am Fachbereich Physik der TU Darmstadt. Seit 2013 forscht er über die Potenziale der Digitalisierung in Lehr-Lern-Prozessen. Momentan befasst er sich mit der Implementation digitaler Kompetenzen in die Lehrveranstaltungen der Lehramtsstudiengänge Physik.
- **Prof.in Dr. Monique Meier** ist Professorin in der Didaktik der Biologie an der Technischen Universität Dresden. Sie forscht und lehrt zur Nutzung digitaler Technologien im (naturwissenschaftlichen) Unterricht, insbesondere zum Videoeinsatz und zu digitalen Potenzialen in der Individualisierung. Darüber hinaus setzt sie sich intensiv mit der Ausgestaltung einer praxis- und naturnahen sowie technologisch innovativen Lehramtsausbildung auseinander.
- **Dr. Lars-Jochen Thoms** ist Dozent am Brückenlehrstuhl für Fachdidaktik der Naturwissenschaften an der Pädagogischen Hochschule Thurgau und der Universität Konstanz. Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich des selbstregulierten und forschenden Lernens mit adaptiven digitalen Lerntechnologien in authentischen Kontexten und in der Lehrpersonenprofessionsforschung, mit einem Fokus auf digitalisierungsbezogenen Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht.
- **Prof. Dr. Christoph Thyssen** leitet aktuell noch die AG Didaktik der Biologie an der RPTU Kaiserslautern-Landau und wechselt in Kürze an das Institut für Biologie und ihre Didaktik an der PH Freiburg. Seine Forschungsinteressen sind digitale Medien im MINT-Unterricht, digitale Kompetenzen von Studierenden sowie Augmented und Virtual Reality als voll- bzw. halbdigitale Medien.
- **Prof.in Dr. Lena von Kotzebue** leitet die AG Didaktik der Biologie und Umweltbildung an der Paris Lodron Universität Salzburg. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Lehrkräften. Aktuell forscht sie im Bereich der Klimabildung sowie zum technologiebezogenen Professionswissen von (angehenden) Lehrkräften und zur Wirksamkeit des Einsatzes digitaler Technologien im Biologieunterricht.

Weiterführende Informationen

Empfohlene Zitation: Meier, M., Thyssen, C., Becker-Genschow, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Thoms, L.-J. & von Kotzebue, L. (2025). *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* (S. 13–42). Joachim Herz Stiftung.

Projekte in der Lehrkräftebildung

Lehrkräfte für einen adaptiven, digital gestützten und prozessorientierten MINT-Unterricht vorbereiten: Das Verbundprojekt MINT-ProNeD

▼ Frank Reinhold, Garvin Brod, Jan-Philipp Burde, Marita Friesen, Peter Gerjets, Johannes Huwer, Jochen Kuhn, Christoph Thyssen, Andreas Lachner

Adaptiven Unterricht in den MINT-Fächern digital unterstützen

Der Bildungserfolg – speziell in den MINT-Fächern – hängt stark von den individuellen Lernvoraussetzungen von Schülerinnen und Schülern ab. Adaptiver Unterricht, der explizit auf die jeweiligen Voraussetzungen eingeht und personalisierte Lernmöglichkeiten bietet, gilt als vielversprechendes didaktisches Konzept, um produktiv mit Heterogenität umzugehen. Adaptiven Lernumgebungen liegt die kontinuierliche Berücksichtigung der Lernvoraussetzungen zugrunde, verbunden mit einer ständigen Anpassung von Materialien und Methoden. Dies wird durch eine formative Diagnostik (Lernverlaufsdiagnostik) sichergestellt. Darauf basierend erfolgen Makroadaptationen (z. B. niveaudifferenzierte Arbeitsgruppen oder verschiedene instruktionale Methoden) und Mikroanpassungen (z. B. individuelle Lernunterstützung).

Adaptives Unterrichten kann maßgeblich durch den Einsatz digitaler Technologien gelingen, da diese vielfältige Möglichkeiten bieten (Plass & Pawar, 2020; Huwer, Banerji & Thyssen, 2020). Eine forschungsbasierte Konzeption sieht idealerweise vor, dass eine digital gestützte Lernverlaufsdiagnostik als Grundlage für diese Adaptationen dient (Souvignier & Hasselhorn, 2018; Friesen, Leuders & Loibl, 2022; Grob, Holmeier & Labudde, 2017). Diese gestattet es Lehrkräften effizient auf die individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler einzugehen. So lassen sich insbesondere kognitive Schülermerkmale, wie z. B. prozessbezogene Kompetenzen (im MINT-Bereich vor allem Experimentieren, Problemlösen, Modellieren und Mathematisieren) fördern. Digitale Technologien eröffnen Lernenden zudem den Weg für selbstgesteuerte Adaption und Individualisierung. Dabei können Einsatzzwecke je nach digitaler Anreicherung variieren, was hauptsächlich dazu führt, dass die jeweilige Wirksamkeit durch unterschiedliche Lehr- und Lerntheorien begründet werden kann (Reinhold et al., 2024). Für eine umfassende wissenschaftsbasierte Aus- und Weiterbildung von Lehrkräften sollten diese verschiedenen Einsatzzwecke und die damit verbundenen diversen theoretischen Perspektiven explizit thematisiert werden. So können Schülerinnen und Schülern etwa auf eine Vielzahl digital bereitgestellter Materialien zugreifen, was sie dazu befähigt, ihren Lernprozess selbst zu steuern und anzupassen (Dyrna, 2021). Automatisierte Feedbacksysteme unterstützen die Lernenden zusätzlich und fördern ihren Lernprozess (Burkhart, Lachner & Nückles, 2020; Hattie & Timperley, 2007). Tools zur Informationserschließung, wie Mess- und Auswertungstools beim Experimentieren oder in Simulationen, ermöglichen selbstgesteuerte, genetische Lernprozesse wie entdeckendes oder forschendes Lernen (Plass & Schwartz, 2014;

Omarchevska et al., 2022). Das kann besonders im naturwissenschaftlichen Unterricht zu Erkenntnisgewinn führen (Thyssen et al., 2021; Garner et al., 2015). Um auf Basis dieser Evidenzen synergistische Potenziale im digital unterstützten adaptiven Unterricht zur Individualisierung von Lernprozessen nutzen zu können, benötigen Lehrkräfte entsprechende digitalisierungsbezogene Kompetenzen in den Bereichen Assessment, Feedback und Adaptivität. Daher müssen Angebote zu deren Förderung in der Lehrkräftebildung etabliert werden (Thyssen & Meier, in diesem Band, S. 5).

Das Verbundprojekt MINT-ProNeD

Die Beispiele aus den vorherigen Abschnitten illustrieren, dass digital-gestützter adaptiver Unterricht ein komplexes Zusammenspiel aus vielfältiger Adaptation und Assessments darstellt, was hohe Anforderungen an Lehrpersonen stellt. In MINT-ProNeD (*mint-proned.de*), einem Verbundprojekt von lernen:digital, setzen wir uns das Ziel, Professionalisierungsangebote für Lehrpersonen zur Realisierung digital-gestützten adaptiven Unterrichts im MINT-Bereich forschungsbasiert zu entwickeln und durchzuführen. Im Projekt arbeiten neun lehrerbildende Hochschulen und drei außeruniversitäre Forschungsinstitute aus fünf verschiedenen Bundesländern zusammen.

Die Arbeit erfolgt in drei interdisziplinären Netzwerken: Im Netzwerk ‚Fortbildung‘ werden forschungsbasierte Fortbildungen für alle Fächer und Schularten (weiter-)entwickelt und durchgeführt. Im Netzwerk ‚Unterrichtsentwicklung und -beratung‘ wird, basierend auf aktuellen Ansätzen der professionellen Lerngemeinschaften, ein dezentrales Unterrichtsberatungskonzept entwickelt, welches die fachliche Integration gängiger digitaler Technologien in den Blick nimmt. Das Netzwerk ‚Future Innovation Hub‘ adressiert zukunftsweisende Technologien für den MINT-Unterricht (z. B. KI, immersive Realitäten), die gemeinsam mit Lehrpersonen auf einen potenziellen Einsatz im (zukünftigen) MINT-Unterricht hin erprobt werden. Zudem besteht eine enge Kooperation zum Projektvorhaben KuMus-ProNeD, welches adaptiven Unterricht in Kunst, Musik und Sport adressiert. Um die Kohärenz der Arbeiten in den drei Netzwerken zu gewährleisten, wurde eine inhaltsbezogene Rahmenkonzeption (Abb. 1) entwickelt, welche mehrere reziproke Teilschritte umfasst, die auf die jeweiligen Fachkontexte angepasst werden können. Im Sinne des formativen Assessments durchlaufen adaptive Unterrichtssettings diesen Zyklus im Idealfall mehrmals – wobei Professionalisierungsangebote für Lehrkräfte durchaus auf einzelne Aspekte und damit verbundene Kompetenzen fokussieren können.

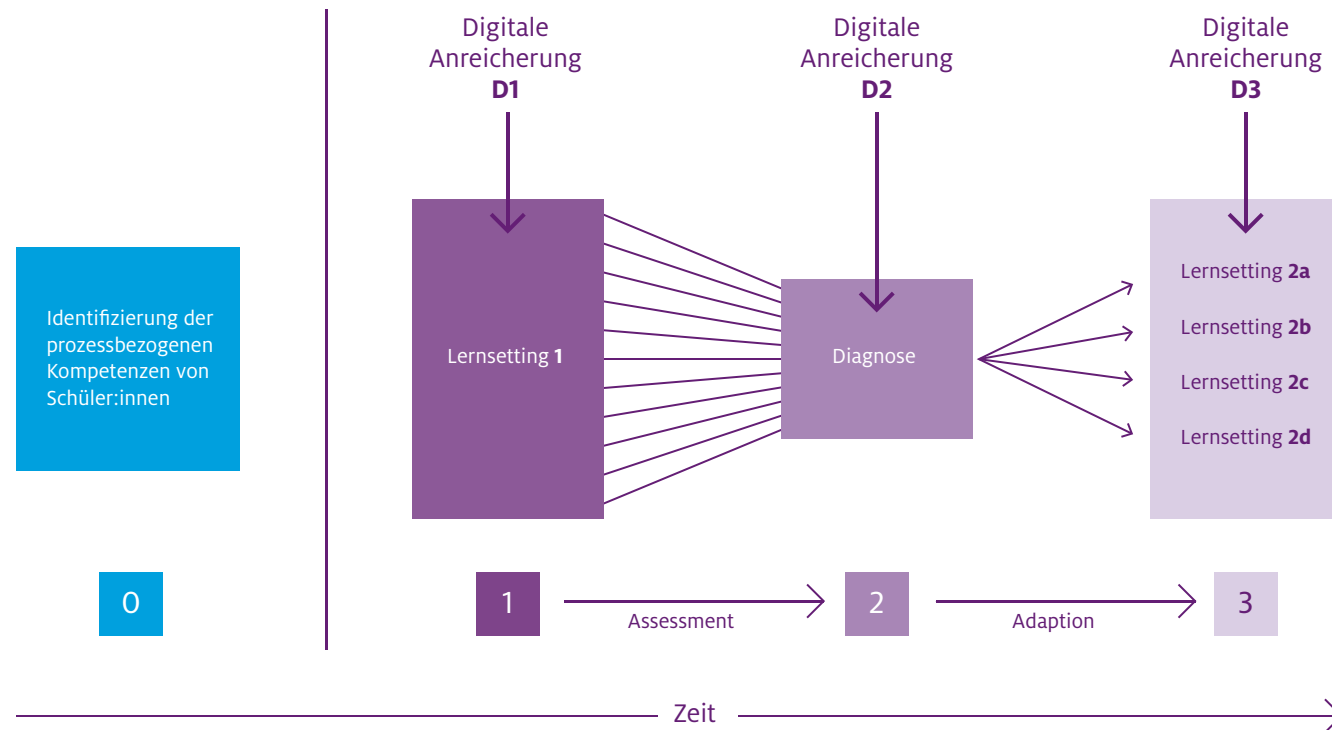
Evidenzbasierte Fortbildungen für digitalen und adaptiven MINT-Unterricht

Im Netzwerk ‚Fortbildung‘ werden aufbauend auf dieser Rahmenkonzeption Fortbildungen für Lehrkräfte konzipiert, entwickelt und durchgeführt (Abb. 1). Durch eine strukturierte und evidenzbasierte Herangehensweise sollen Lehrkräfte befähigt werden, digitale Technologien effektiv zu nutzen und adaptiven, prozessorientierten MINT-Unterricht zu gestalten.

Zur Förderung prozessbezogener Schülerkompetenzen (PSK) werden domänenspezifische Vorgaben und Rahmenmodelle herangezogen **(0)**. Ein authentischer Kontext für das Lernsetting der Fortbildung wird durch geeignete Mittel geschaffen. Dabei wird ein inhaltspezifischer, konkreter Lerngegenstand definiert, an dem die Förderung dieser PSK für die Lehrkräfte vermittelt wird.

Ein erstes Lernsetting konzentriert sich auf die kognitive Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und beinhaltet daher eine schülerzentrierte Arbeitsphase **(1)**. Das Ziel dieser Phase ist es, Produkte zu erstellen, die eine individuelle Diagnose von lernrelevanten Personen-

merkmalen ermöglichen. Hierfür sind domänenspezifische Lehrkompetenzen (LK) zum Lerngegenstand notwendig. Dieses Lernsetting kann digital angereichert werden **(D1)**, beispielsweise durch Experimentierumgebungen. Dazu sind fachbezogene digitale Lehrkompetenzen (D-LK) erforderlich (Thyssen et al., 2021; Garner et al., 2015).



▲ **Abb. 1** Rahmenkonzeption zur Gestaltung und Umsetzungen von Fortbildungen für einen adaptiven, digital gestützten und prozessorientierten MINT-Unterricht im Projekt MINT-ProNeD

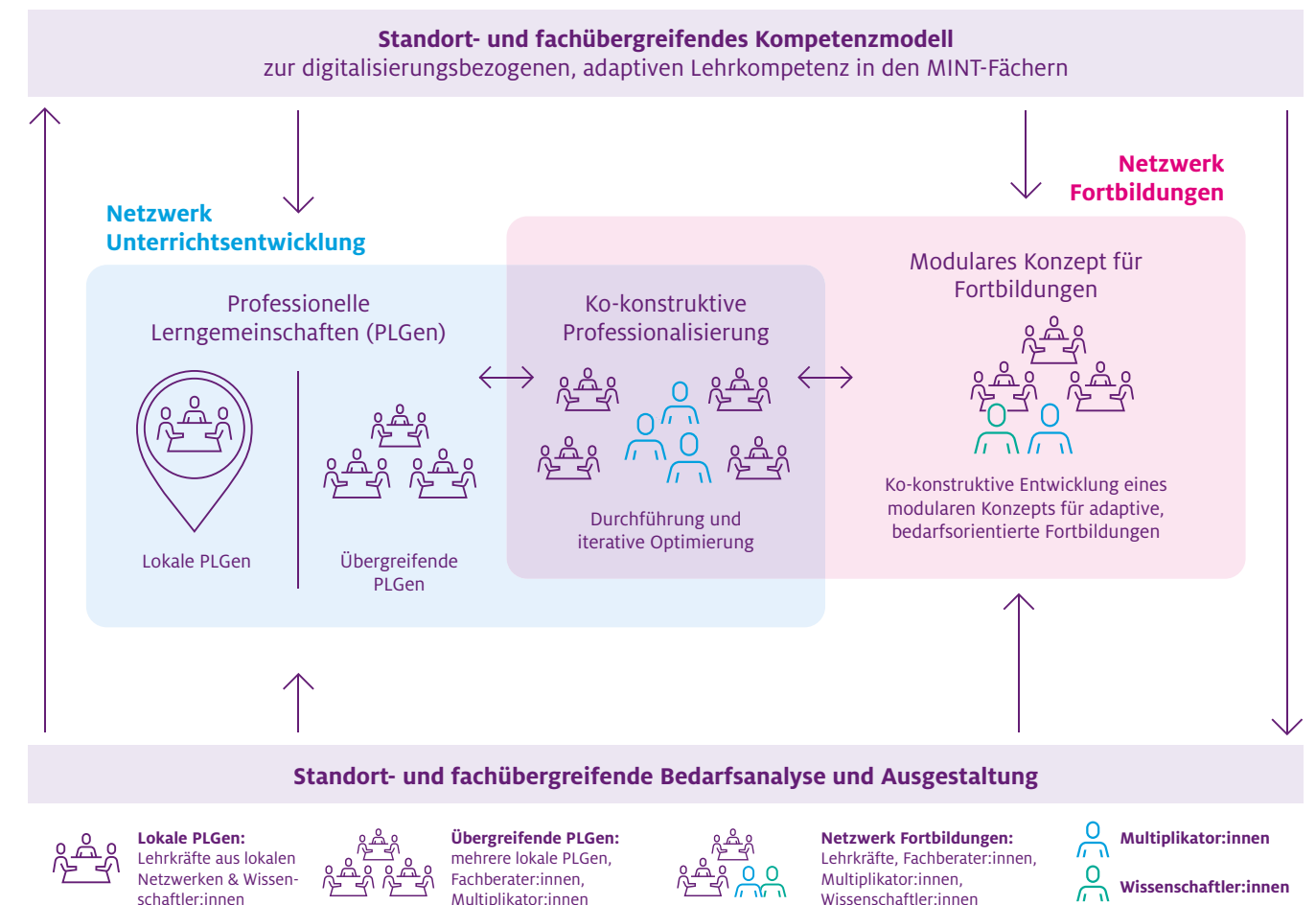
In der Phase der formativen Diagnostik identifizieren Lehrkräfte lernrelevante individuelle Personenmerkmale **(2)**. Diese dienen als Basis für die darauffolgende personenbezogene Förderung. Für diese Phase sind sowohl domänenspezifische Lehrkompetenzen ebenso wie übergreifende diagnostische Kompetenzen notwendig (DiaCoM; Loibl et al., 2020). Auch die Diagnostik kann durch digitale Mittel unterstützt werden **(D2)**, beispielsweise durch Lehrkräfte-Dashboards. Um das umzusetzen, benötigen Lehrerinnen und Lehrer domänenübergreifende digitale Lehrkompetenzen (van Leeuwen et al., 2021). Daran schließt ein zweites Lernsetting an, das auf der formativen Diagnostik aufbaut und aus einem weiterführenden, individualisierten Lernsetting besteht **(3)**. Dies kann durch Mikro- und/oder Makroadaptionen erfolgen (Plass & Pawar, 2020). Auch hier sind domänenspezifische Lehrkompetenzen zum Lerngegenstand notwendig. Diese individuelle Förderung kann ebenfalls digital angereichert und unterstützt werden **(D3)**. In diesem Zusammenhang sind domänenspezifische digitale Lehrkompetenzen zur Generierung digitaler Lernsettings erforderlich (z. B. DiKoLAN für den naturwissenschaftlichen Unterricht).

Unterricht gemeinsam in ‚Professionellen Lerngemeinschaften‘ weiterentwickeln

Im Netzwerk ‚Unterrichtsentwicklung und -beratung‘ wird ein forschungsbasiertes Angebot zur partizipativen Unterrichtsentwicklung durch ‚Professionelle Lerngemeinschaften‘ (kurz: PLGen) umgesetzt. Im Fokus steht die Zusammenarbeit von Lehrkräften und Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktikern. Das Ziel ist, den Unterricht in den MINT-Fächern durch den

Einsatz von adaptiven und digital angereicherten Lernkonzepten weiterzuentwickeln. Zu diesem Zweck wird auf einen Co-Design-Ansatz (Sibley & Lachner, 2023) zurückgegriffen, wonach Lehrpersonen und Forschende entsprechende Unterrichtskonzepte gemeinsam entwickeln. So lassen sich Anforderungen aus der Unterrichtspraxis der Lehrkräfte sowie standortspezifische Ressourcen und Bedarfe besonders berücksichtigen. Auf diese Weise können forschungsbasierte und zugleich praxistaugliche Unterrichtskonzepte entstehen, die mit der jeweils vorhandenen Ausstattung vor Ort realisiert werden können.

Professionelle Lerngemeinschaften bringen ein besonderes Potenzial im Vergleich zu anderen Fortbildungskonzepten mit: Insbesondere kann die Professionalisierung von Lehrkräften fortlaufend und dadurch nachhaltiger geschehen, wodurch eine höhere Innovationsbereitschaft bei den Beteiligten zu erwarten ist (Gräsel, Fußangel & Pröbstel, 2006). Im Projekt liegt der Schwerpunkt auf möglichst offenen, modular umsetzbaren Zugängen zur Netzwerkarbeit. So können die standort- und fachbezogenen Bedingungen und Vorarbeiten der unterschiedlichen Schulen und Hochschulen möglichst zielführend und effektiv genutzt werden. Das Netzwerk ‚Unterrichtsentwicklung und -beratung‘ sowie das Netzwerk ‚Fortbildung‘ stehen entsprechend des in Abbildung 2 dargestellten MINT-ProNeD-Kompetenzmodells in enger Wechselwirkung: Fortbildungen, die im Rahmen des Projektes ausgebracht werden, können sowohl PLGen initiieren als auch von bereits bestehenden PLGen als Input genutzt werden. Das heißt in der Praxis: Im ersten Fall geht es z. B. darum, die in einer Fortbildung kennengelernte Integration digitaler Technologien im eigenen Unterricht zu erproben, Herausforderungen zu identifizieren und gemeinsam an Lösungsansätzen zu arbeiten.



▲ **Abb. 2** Ko-konstruktive Professionalisierung im Rahmen der Netzwerke Unterrichtsentwicklung und Fortbildungen

Dagegen soll der zweite beschriebene Weg es ermöglichen, dass fächerübergreifende Unterrichtskonzepte, die im Rahmen einer PLG erarbeitet wurden, vom Netzwerk Fortbildungen aufgegriffen werden und so einer größeren Zahl an Lehrkräften zur Verfügung stehen. Im Projekt MINT-ProNeD können die PLGen sowohl lokal an einer Schule verankert sein oder schulübergreifend arbeiten, z. B. indem mehrere lokale PLGen (ggf. zusammen mit Fachberaterinnen und Multiplikatoren) gemeinsam zu übergreifenden Themen des digital-gestützten und adaptiven Unterrichtens in den MINT-Fächern arbeiten.

Entwicklung zukunftsweisender Technologien für den MINT-Unterricht

Im Netzwerk ‚Future Innovation Hub‘ werden zukünftige Cutting-Edge-Technologien (z. B. Big Data, Nutzung Künstliche Intelligenz, immersive und virtuelle Realitäten, Sensoren) auf der Basis vorhandener Erfahrungen, Erkenntnisse und Tools gemeinsam mit Lehrpersonen für einen zukünftigen MINT-Unterricht erprobt. Kern des Future Innovation Hub ist die enge Einbindung von Lehrpersonen als Multiplikatorinnen und Multiplikatoren. Ziel ist es, neue Ansätze zu entwickeln, wie Geräte und Anwendungen, die effektiver in den Unterrichtsprozessen eingesetzt werden können. Dadurch sollen Lehrkräfte einen Ausblick auf mögliche innovative Lehrmethoden bekommen.

Zukunftsfähiger MINT-Unterricht durch interdisziplinäre Netzwerke und nachhaltige Verankerung

Das Verbundprojekt MINT-ProNeD verdeutlicht die Bedeutung eines digital-gestützten, adaptiven Unterrichtens im MINT-Bereich, der die individuellen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler berücksichtigt und damit der Heterogenität im Unterricht produktiv begegnet. Durch die drei interdisziplinären Netzwerke – ‚Fortbildungen‘, ‚Unterrichtsentwicklung und -beratung‘ sowie ‚Future Innovation Hub‘ – wird ein umfassender Ansatz zur Professionalisierung von Lehrpersonen durch fachspezifische Wissens- und Kompetenzentwicklung in den notwendigen Bereichen verfolgt. Eine nachhaltige Verankerung des Verbundvorhabens ist jedoch entscheidend, um adaptive Lehrmethoden in der Breite zu etablieren und Bildungsgerechtigkeit im MINT-Bereich zu fördern. Mit diesem Projekt möchten wir unseren Beitrag dazu leisten, den MINT-Unterricht zukunftsfähig zu gestalten und Schülerinnen und Schüler gleichberechtigte Bildungschancen einzuräumen.

Förderhinweis und Danksagung

Das Verbundprojekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Etablierung der Kompetenzzentren für digitales und digital gestütztes Unterrichten unter dem Förderkennzeichen 01JA23M02 unterstützt. Wir danken dem Institut für Bildungsanalysen Baden-Württemberg (IBBW), dem Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung Baden-Württemberg (ZSL), dem Pädagogischen Landesinstitut Rheinland-Pfalz (PL) sowie der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP) Dillingen für ihre Unterstützung.

Über die Autorin und die Autoren:

- **Prof. Dr. Frank Reinhold** ist Professor für Mathematik und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule Freiburg. Seine Forschungsinteressen sind u. a. der Einsatz digitaler Medien im Mathematik-Unterricht im Allgemeinen sowie im Speziellen im Kontext kognitiver Aktivierung beim Lernen.
- **Prof. Dr. Garvin Brod** ist Professor für Psychologie an der Goethe-Universität Frankfurt und leitet den Arbeitsbereich Individualisierte Förderung am DIPF – Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation. Er forscht dazu, wie Kinder neues Wissen erwerben und wie man sie dabei unterstützen kann, wobei er sich insbesondere mit Individualisierung und Selbstregulation des Lernens befasst.
- **Prof. Dr. Jan-Philipp Burde** ist Professor für Didaktik der Physik an der Eberhard Karls Universität Tübingen und Studiendekan für die Lehramtsstudiengänge Physik und Astronomie. Seine Forschungsinteressen umfassen u. a. die Förderung des Interesses und des Konzeptverständnisses in der Elektrizitätslehre sowie die didaktischen Möglichkeiten digitaler Medien im Physikunterricht.
- **Prof.in Dr. Marita Friesen** ist Professorin für Mathematikdidaktik am Institut für Mathematik und Informatik (IMI) der Pädagogischen Hochschule Heidelberg und vertritt im Rahmen ihrer heiEDUCATION-Professur die Didaktik im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich an der Heidelberg School of Education (HSE). Sie forscht in den verschiedenen Phasen der Lehrkräftebildung im Fach Mathematik in den Bereichen professionelle Unterrichtswahrnehmung, vignettenbasierte Kompetenzentwicklung und -erfassung sowie zur Entwicklung von adaptiven und digital gestützten Lernsettings.
- **Prof. Dr. Peter Gerjets** ist Professor für Empirische Lehr-Lern-Forschung an der Eberhard Karls Universität Tübingen und Leiter der Arbeitsgruppe Multimodale Interaktion am Leibniz-Institut für Wissensmedien (IWM). Er erforscht, wie hypermediale Lernumgebungen gestaltet sein müssen, um ein vertieftes Verständnis von Lerninhalten zu unterstützen, ohne Lernende durch die Vielfalt von Informationsangeboten und Interaktionsmöglichkeiten kognitiv zu überlasten.
- **Prof. Dr. Johannes Huwer** ist Professor für Fachdidaktik der Naturwissenschaften an der Universität Konstanz und der PH Thurgau. Er forscht seit einigen Jahren in den Bereichen der Digitalisierung und der Nachhaltigkeitsbildung in Science Education. Im Bereich der Digitalisierung besteht ein besonderes Forschungsinteresse in der fachdidaktischen Gestaltung von adaptiven und immersiven AR- und KI-Lehr-Lern-Umgebungen sowie der Professionalisierungsforschung von Lehrkräften (DiKoLAN/DPACK).
- **Prof. Dr. Jochen Kuhn** ist Professor an der Fakultät für Physik der LMU München und leitet den Lehrstuhl für Didaktik der Physik. Seine Forschung konzentriert sich auf die Lehrerbildung in den Naturwissenschaften, das Lernen mit multiplen Repräsentationen durch multimediabasierte Lernumgebungen unter Verwendung gängiger und fortschrittlicher Technologie (z. B. Smartphones, Tablet PC, AR-Smartglasses) sowie das Lernen mit und über Künstliche Intelligenz in Schule und Hochschule.
- **Prof. Dr. Christoph Thyssen** leitet aktuell noch die AG Didaktik der Biologie an der RPTU Kaiserslautern-Landau und wechselt in Kürze an das Institut für Biologie und ihre Didaktik an der PH Freiburg. Seine Forschungsinteressen sind digitale Medien im MINT-Unterricht, digitale Kompetenzen von Studierenden sowie Augmented und Virtual Reality als voll- bzw. halbdigitale Medien. Er ist Alumnus des Kolleg Didaktik:digital der Joachim Herz Stiftung und Mitinitiator der AG Digitale Basiskompetenzen in der Lehrkräftebildung.
- **Prof. Dr. Andreas Lachner** ist Professor für Erziehungswissenschaft mit dem Schwerpunkt Lehren und Lernen mit digitalen Medien sowie Co-Director des Tübingen Center for Digital Education. Seine Forschungsaktivitäten umfassen die Förderung (meta-)kognitiver und motivationaler Lernprozesse bei der Nutzung digitaler Medien sowie die Integration digitaler Medien in fachspezifischen Unterrichtsszenarien. Weiterer Schwerpunkt liegt auf Professionalisierungsstrategien im Kontext digitaler Medien.

Literatur

- Burkhardt, C., Lachner, A. & Nückles, M. (2020). Assisting students' writing with computer-based concept map feedback: A validation study of the CohViz feedback system. *PLOS ONE*, 15(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235209>
- Dyrna, J. (2021). Mit digitalen Medien selbstgesteuert lernen? Ansätze zur Ermöglichung und Förderung von Selbststeuerung in technologieunterstützten Lernprozessen. In J. Dyrna, J. Riedel, S. Schulze-Achatz & T. Köhler (Hrsg.), *Selbstgesteuertes Lernen in der beruflichen Weiterbildung: Ein Handbuch für Theorie und Praxis* (S. 247–261). Waxmann.
- Friesen, M., Leuders, T. & Loibl, K. (2022). Differenzieren im Mathematikunterricht: Forschungsbasiert und praxisrelevant zugleich?! *Der Mathematikunterricht*, 2, 4–17.
- 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/10.25656/01:4453>
- Garner, N., Huwer, J., Siol, A., Hempelmann, R. & Eilks, I. (2015). On the development of non-formal learning environments for secondary school students focusing sustainability and Green Chemistry. In V. Gomes Zuin & L. Mammino (Hrsg.), *Worldwide trends in green chemistry education* (S. 76–92). RSC.
- Grob, R., Holmeier, M. & Labudde, P. (2017). Formative assessment to support students' competences in inquiry-based science education. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 11(2), 6.
- Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of educational research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/O03465430298487>
- Huwer, J., Banerji, A. & Thyssen, C. (2020). Digitalisierung – Perspektiven für den Chemieunterricht. *Nachrichten aus der Chemie*, 68(10), 10–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/nadc.20204100187>
- Loibl, K., Leuders, T. & Dörfler, T. (2020). A Framework for Explaining Teachers' Diagnostic Judgements by Cognitive Modeling (DiaCoM). *Teaching and Teacher Education*, 91, 103059. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2020.103059>
- Omarchevska, Y., Lachner, A., Richter, J., & Scheiter, K. (2022). It takes two to tango: How scientific reasoning and self-regulation processes impact argumentation quality. *Journal of the Learning Sciences*, 31(2), 237–277. <https://dx.doi.org/10.1080/10508406.2021.1966633>
- Plass, J. L. & Pawar, S. (2020). Toward a taxonomy of adaptivity for learning. *Journal of Research on Technology in Education*, 52(3), 275–300. <https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1719943>
- Plass, J.L. & Schwartz, R.N. (2014). Multimedia learning with simulations and microworlds. In R.E. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed., pp. 729–761). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2022.101690>
- Reinhold, F., Leuders, T., Loibl, K., Nückles, M., Beege, M. & Boelmann, J. M. (2024). Learning Mechanisms Explaining Learning With Digital Tools in Educational Settings: A Cognitive Process Framework. *Educational Psychology Review*, 36(1), 14. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09845-6>
- Sibley, L. & Lachner, A. (2023). Adaptiver Unterricht: Wie er funktioniert und was digitale Medien leisten können. *Campus Schulmanagement*. Verfügbar unter: <https://www.campus-schulmanagement.de/magazin/adaptiver-unterricht-tipps-beispiele-digitale-medien> [07.12.2024]
- Souvignier, E. & Hasselhorn, M. (2018). Formatives Assessment. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 21(4), 693–696. <https://doi.org/10.1007/s11618-018-0839-6>
- Thyssen, C. & Meier, M. (2024, in diesem Band). Technologische Fortschritte eröffnen neue Anwendungs- und Entscheidungsfelder – Individualisierte Lernprozesse und Lernbegleitung im Fokus. 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* (S. 5–8). Joachim Herz Stiftung.
- Thyssen, C., Pankow, A., Klaeger, K. & Chernyak, D. (2021). Kompetenzen und Nutzungsperspektiven von Lehrkräften zum Einsatz digitaler Medien zur Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Unterricht. In T. Reuter, A. Weber, S. Nitz & M. Leuchter (Hrsg.), *Problemlösen in digitalen Kontexten* (S. 112–135). Verlag Empirische Pädagogik.
- van Leeuwen, A., Knoop-van Campen, C. A. N., Molenaar, I. & Rummel, N. (2021). How Teacher Characteristics Relate to How Teachers Use Dashboards: Results From Two Case Studies in K-12. *Journal of Learning Analytics*, 8(2), 6–21. <https://doi.org/10.18608/jla.2021.732>

Digitaler Feedbackdialog zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen in den Geistes- und Naturwissenschaften

▼ Jennifer Schluer, Monique Meier

Ausgangslage

Feedback nimmt eine bedeutende Rolle bei der Unterstützung von Lernprozessen und zur Verbesserung von Lernprodukten ein (Wisniewski, Zierer & Hattie, 2020). Nach heutigem Verständnis wird Feedback als interaktiver Lerndialog verstanden, für dessen Erfolg nicht nur Lehrende, sondern insbesondere auch Lernende einen aktiven Beitrag leisten (s. Literatursynthese in Schluer, 2023b, S. 2). Lehrende sollten demnach Feedback in ihrer Lehre systematisch verankern sowie geeignete Lehr-/Lernkonzepte und Aufgabenformate entwickeln (Boud & Dawson, 2023; Carless & Winstone, 2023), damit Lernende Feedback einfordern, geben, aushandeln und umsetzen können (Carless & Boud, 2018). Hierzu benötigen beide Seiten ein gemeinsames Verständnis von Feedback als Lerndialog, (didaktisches) Orientierungswissen über verschiedene Feedbackoptionen und die Fähigkeit, Medien und (digitale) Tools zielgerichtet zu verwenden (u. a. Narciss et al., 2014). In diesen Dialogen, sei es zwischen Lehrenden und Lernenden oder Lernenden und Lernenden, können digitale Technologien die Feedbackmöglichkeiten erweitern oder sogar gänzlich transformieren. Insgesamt birgt der Einsatz von Technologien zahlreiche Potenziale, wie eine zeitliche und örtliche Flexibilität, die Unmittelbarkeit bzw. Direktheit der Interaktion sowie neuartige Möglichkeiten zur Individualisierung von Lernprozessen. Aktuell schöpfen Lehrende diese Potenziale jedoch noch nicht aus. Im internationalen Vergleich gibt nur ein sehr geringer Anteil an Lehrenden an, digitale Technologien häufig bis immer zur individuellen Förderung einzelner Schülerinnen und Schüler oder von kleineren Schülergruppen im Unterricht (14,8 %) sowie für die Rückmeldung zur Arbeit der Lernenden einzusetzen (11,2 %; Drossel, Eickelmann, Schaumburg & Labusch, 2019).

Im Kontext zunehmender Vernetzung wurden zudem die Chancen eines fächerübergreifenden Dialogs bislang nur unzureichend erkundet. Während die Ausgestaltung von Feedbackprozessen einerseits hochgradig kontextspezifisch ist (z. B. Chong, 2021), gewinnen andererseits inter- und transdisziplinäre Kompetenzen immer mehr an Bedeutsamkeit. Dies wurde in der theoretischen und empirischen Feedback-Literatur bisher kaum berücksichtigt (Schluer, Rütti-Joy & Unger, 2023). Um die benötigten Kompetenzen unter Lernenden fördern zu können, ist außerdem ein Dialog unter Lehrenden unerlässlich, welcher den eigenen institutionellen und fachlichen Rahmen übersteigt.

Transfer transdisziplinär – Ein Lehrprojekt

Ein in der Hochschulbildung initiiertes und gelebter Feedback-Dialog als Lerngegenstand und/oder Lehrmethode ist ebenso vielseitig wie im schulischen Kontext. Angesichts der Vielzahl an didaktischen Gestaltungsmöglichkeiten für Feedbackprozesse (Brück-Hübner & Schluer, 2023) und dem Wandel des Feedbackbegriffs in den letzten Jahrzehnten (Carless, 2022; Überblick in Schluer, 2022, S. 16–17) ist ein gemeinsames Verständnis von ‚Feedback‘ nicht nur in unterschiedlichen Fächern, sondern gleichzeitig innerhalb eines Faches nicht selbstverständlich. Selbst wenn Einigkeit über die Definition von Feedback besteht, so kann die methodische Integration verschiedener Feedbackmethoden in bestehende fachspezifische Lehrkonzepte an Grenzen stoßen. Im Lehrprojekt ‚Transfer transdisziplinär‘ sollen diese Grenzen und vor allem Überschneidungen in der Einbindung digitaler Feedbackmethoden in hochschuldidaktischen Lehrkonzepten aufgedeckt und effektiv genutzt werden. Im Fokus stehen didaktische Konzepte zur Förderung fachbezogener Kompetenzen bei angehenden Lehrkräften in den Geistes- und Naturwissenschaften. Zu diesem Zweck kooperieren die Englischdidaktik im Fach TESOL (*Teaching English to Speakers of Other Languages*, Technische Universität Chemnitz) und die Fachdidaktik Biologie (Technische Universität Dresden).

Um Erkenntnisse zu gewinnen, die eine möglichst breite Anwendbarkeit haben, wird im Transferprojekt eine hohe Gegensätzlichkeit an Fächern, Zielgruppen und Inhalten fokussiert. Es handelt sich um den Kontrast bzw. die didaktischen Gemeinsamkeiten zwischen Geistes- und Naturwissenschaften sowie zwischen unterschiedlichen Lernzielen und Methoden der Erkenntnisgewinnung. Demzufolge unterscheiden sich auch die Aufgaben, zu denen Feedback gegeben wird. Darüber hinaus variieren die beteiligten Studierendengruppen sehr stark: Während in den Projektseminaren der Englischdidaktik an der TU Chemnitz hauptsächlich englischsprachige, internationale Studierende gegen Ende ihres Masterstudiums teilnehmen, ist das Lehrkonzept in der Biologiedidaktik im Grundstudium des Lehramtsstudiengangs (2. Fachsemester) an der TU Dresden angesiedelt. Gemessen an den Unterschiedlichkeiten sind auch die Zielstellungen und der potenzielle Mehrwert des transdisziplinären Dialogs vielfältiger Natur (Tabelle 1).

Mehrwert	Zielstellung
Fachlich	Transfer erprobter Lehr-/ Lernkonzepte aus den Geisteswissenschaften in die Naturwissenschaften
Inhaltlich	Erprobung zusätzlicher digitaler Feedbackmethoden in einem neuen Kontext (über das wissenschaftliche Schreiben und Arbeiten hinausgehend)
Didaktisch	Verbesserung der Interaktion in Seminaren sowie eigener didaktischer Kompetenzen (als Lehrpersonen)
Technologisch	Steigerung der digitalen Kompetenzen der Lehrenden und Lernenden (angehende Lehrkräfte)
Akademisch	Förderung der Auseinandersetzung mit Bewertungs-/ Qualitätskriterien, insbesondere durch Peer-Feedback
Konzeptuell	Vertieftes Verständnis der Heterogenität des Feedbackbegriffs und der Feedbackpraktiken
Sprachlich	Erreichen einer größeren Zielgruppe durch Zweisprachigkeit der Lehr-/ Lernmaterialien; Förderung fremdsprachlicher Kompetenzen, ggf. für bilingualen Sachfachunterricht
Curricular	Überarbeitung der Lehrpläne durch sukzessive Integration von digitalem Feedback

▲ Tab. 1 Projektziele

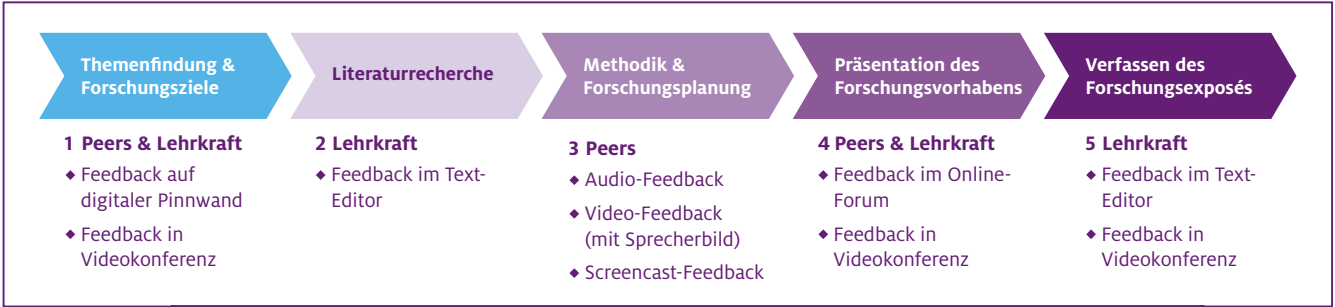
Für die *Biologiedidaktik* steht insbesondere die formative Begleitung der Studierenden im Zentrum, welche durch ein um digitales Feedback erweitertes Seminarkonzept ermöglicht werden soll. In der Umsetzung soll dies auch zur Förderung von (ersten) Feedback-Kompetenzen bei den angehenden Lehrkräften führen, indem sie diese in Peer-Feedback-Konstellationen selbst erleben und fachliche, sprachliche und technologische Ressourcen gezielt nutzen. Für die *Englischdidaktik*, in der das Lehr-/ Lernkonzept ursprünglich entwickelt und evaluiert wurde, treten andere Zielsetzungen in den Vordergrund. Hierzu zählt in erster Linie die Erforschung der konzeptuellen Übertragbarkeit sowie die sich daran anschließende Erweiterung bzw. Modifikation der bislang erarbeiteten Materialien. Zusätzlich sollen diese vom Englischen ins Deutsche übersetzt werden und somit für einen größeren Adressatenkreis erschließbar sein. Dies schafft eine wichtige Grundlage, um die Materialien in hochschuldidaktischen Workshops und Lehrkräftefortbildungen nutzen zu können.

Feedbackmethoden transferieren & Lehrkonzepte /-materialien weiterentwickeln

Aufgrund der Vorarbeiten liegt die ‚transfergebende‘ Rolle für das transdisziplinäre Lehrprojekt maßgeblich im Fachgebiet TESOL (Englischdidaktik). Am Standort fand eine sukzessive Novellierung des Curriculums unter inhaltlichem Einbezug von Feedback statt (Schluer, 2024d). Unter anderem wurden digitale Feedbackmethoden über mehrere Semesterkohorten erprobt und (weiter-)entwickelt. Die Methoden wurden in einem forschungsausgerichteten Lehrkonzept zu verschiedenen Phasen des wissenschaftlichen Schreib- und Arbeitsprozesses eingesetzt. Hierdurch erhalten die Studierenden des Fachs Englisch eine prozessbegleitende Unterstützung bei der Vorbereitung ihrer Masterarbeit bzw. Dissertation (Abb. 1, oben, Schluer, 2023b). Neben der Praxiserfahrung in der digitalen Feedback-Implementierung liegt als weitere elementare Vorarbeit die Online-Plattform ‚Digital Feedback Map‘ (DFM; Schluer, 2023a) vor. Sie kann als informatives, lehrbezogenes Werkzeug zur Gestaltung und Nutzung vielfältiger digitaler Feedbackmethoden dienen. Sie ermöglicht es Dozierenden wie Studierenden gleichermaßen, digitale Feedbackmethoden kennenzulernen, zu vergleichen und für ihren jeweiligen Bildungs- bzw. Lernkontext auszuwählen. Das Ziel besteht darin, digitale Feedback-Kompetenzen bei Lehrenden und Lernenden (hier im hochschuldidaktischen Kontext) zu entwickeln, um interaktive Feedbackdialoge zu erleichtern sowie zur Verbesserung von Lernprozessen und -resultaten beizutragen.

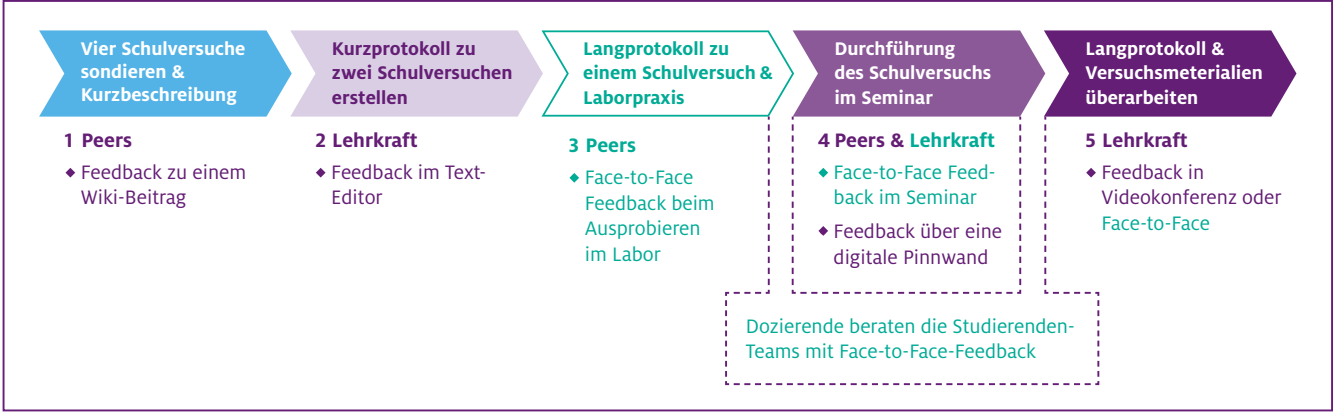
Auf der ‚transfernehmenden‘ Seite wird auf ein in der Biologiedidaktik etabliertes Lehrkonzept das fachübergreifende Ziel zur Integration von Feedback-Lehrelementen übertragen. Im Kern des Lehrkonzeptes stehen eine fachmethodische und fachpraktische Aufbereitung sowie fachdidaktische Umsetzung biologischer Schulversuche durch Studierende (Abb. 1, unten). Außerdem wird mit der übersetzten Version der DFM ein Lehr-Lern-Werkzeug für Studierende zur Verfügung gestellt. Unterschiede der in diesen Transfer eingebrachten Lehrkonzepte liegen vor allem in der fachlichen und damit zum Teil methodischen Anlage. Daher stößt eine 1-zu-1-Übertragung digitaler Feedback- bzw. Lehr-Methoden an ihre Grenzen, die auch aus Unterschieden in der anvisierten Kompetenzförderung resultiert. Formativ unterstützt und begleitet werden die Lehramtsstudierenden in der Biologiedidaktik bei der Gestaltung von biologischen Schulversuchen. Diese werden im fiktiven Unterrichtsszenario mit den Studierenden erprobt und reflektiert. Das fördert neben fachdidaktischen Kompetenzen in der Unterrichtsplanung und differenzierten Materialgestaltung die laborpraktischen Fähigkeiten zur Umsetzung der Schulversuche. In den ersten Lehrphasen zur Themenfindung und Recherche/Sondierung können in beiden Lehrkonzepten – Biologie und Englisch – ähnliche digitale Feedbackmethoden zur Anwendung kommen (u. a. Wiki-Feedback, Abb. 2). Die Studierenden der Biologie erfahren in den darauffolgenden praktischen Laborphasen zur Vorbereitung des Schulversuchs noch weitgehend analoge Feedback-Dialoge mit Peers und technischem Laborpersonal. Die Präsentation bzw. Umsetzung der unterrichtlich aufbereiteten Schulversuche findet ebenso in Präsenz statt. Sie wird aber durch kollaboratives digital-erfasstes Feedback von den Peers und dem oder der Dozierenden unterstützt bzw. konzeptionell erweitert.

Englischdidaktik

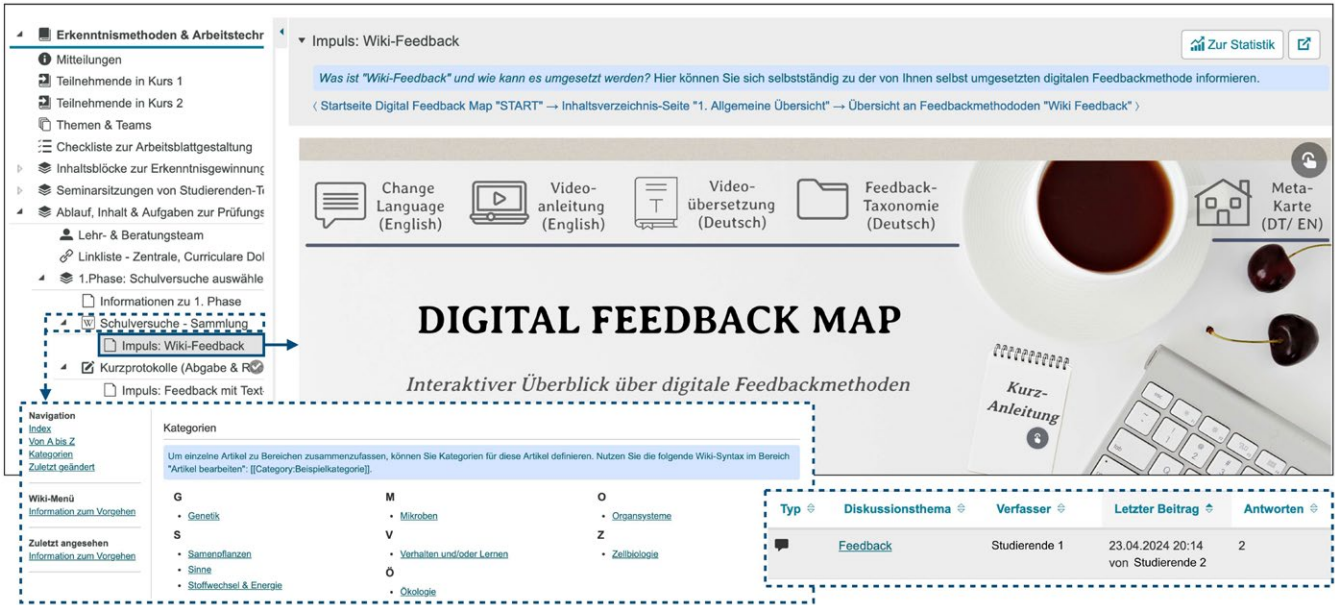


Transfer

Biologiedidaktik



▲ **Abb. 1** Feedbackmethoden transferieren und hochschuldidaktische Lehrkonzepte weiterentwickeln (grün = Anpassungen der Feedback-Art im Transfer)



▲ **Abb. 2** Umsetzung eines Wiki-Feedbacks zur Auswahl von geeigneten Schulversuchen und Einbindung der DFM in einen veranstaltungsbegleitenden Online-Kurs (Lernmanagementsystem OPAL)

Ausblick

Bislang zeigt sich, dass die Transferaktivitäten einen klaren Mehrwert für beide Seiten bieten können. Jedoch müssen die unterschiedlichen Feedbackgegenstände und -ziele sowie die Charakteristika der Lernendengruppen beachtet werden. Dieses komplexe Zusammenspiel an Faktoren beleuchten Brück-Hübner und Schluer (2023) in ihrer Feedback-Taxonomie, die sie mittels eines qualitativ-inhaltsanalytischen Scope-Reviews von hochschulischen Interventionsstudien erstellt haben. Um die Ergebnisse in der Hochschuldidaktik sowie Lehrkräfteaus- und -fortbildung nutzbar zu machen, hat Schluer (2024b) darauf aufbauend eine Online-Version entworfen, die Reflexionsfragen zum Ausgangspunkt der didaktischen Planung von Feedbackprozessen nimmt. Im Zuge des Transferprojekts wird diese zuvor nur auf Englisch vorliegende Entwurfsversion ins Deutsche übertragen und durch den Dialog mit (angehenden) Lehrkräften fortwährend ergänzt. Durch die öffentliche Zugänglichkeit der Ressourcen auf der ‚Digital Feedback Map‘ (Schluer, 2023a; 2024a) und der ‚interaktiven Feedback-Taxonomie‘ (Schluer, 2024b; 2024c) wird eine nachhaltige Nutzung seitens Studierender und Lehrender ermöglicht. Sie bilden zudem eine wichtige Basis für einen weiterführenden transdisziplinären Dialog zwischen unterschiedlichen Fächern bzw. Fachrichtungen.

Förderhinweis

Das Transfer-/ Lehrprojekt wurde im Rahmen der Digital Fellowships im Verbundprojekt ‚Digitalisierung der Hochschulbildung in Sachsen (DHS)‘ mit Mitteln des Sächsischen Staatsministeriums für Wissenschaft, Kultur und Tourismus unterstützt (Projekttitel ‚Transfer transdisziplinär: Digitaler Feedbackdialog zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen in den Geistes- und Naturwissenschaften‘, Förderzeitraum 04/2024 bis 11/2024). Diese Maßnahme wurde mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtages beschlossenen Haushaltes.

Über die Autorinnen:

- **Jun.-Prof.in Dr. Jennifer Schluer** ist Juniorprofessorin für Englischdidaktik (*Teaching English to Speakers of Other Languages, TESOL/ Advanced Academic English*) an der Technischen Universität Chemnitz. Ihre Forschungsinteressen liegen in den Bereichen digitales Lehren und Lernen, insbesondere digitale Feedbackmethoden, sowie Sprachbewusstheit, Mehrsprachigkeit und interkulturelles Lernen.
- **Prof.in Dr. Monique Meier** ist Professorin in der Didaktik der Biologie an der Technischen Universität Dresden. Sie forscht und lehrt zur Nutzung digitaler Technologien im (naturwissenschaftlichen) Unterricht, insbesondere zum Videoeinsatz und zu digitalen Potenzialen in der Individualisierung. Darüber hinaus setzt sie sich intensiv mit der Ausgestaltung einer praxis- und naturnahen sowie technologisch innovativen Lehramtsausbildung auseinander.

Literatur

- Boud, D., & Dawson, P. (2023). What feedback literate teachers do: An empirically-derived competency framework. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 48(2), 158–171. <https://doi.org/10.1080/02602938.2021.1910928>
- Brück-Hübner, A. & Schluer, J. (2023). Was meinst du eigentlich, wenn du von „Feedback“ sprichst? Chancen und Grenzen qualitativ-inhaltsanalytischer Scope-Reviews zur Herausarbeitung von Taxonomien zur Beschreibung didaktischer Szenarien am Beispiel „Feedback“. *MedienPädagogik*(54), 125–166. <https://doi.org/10.21240/mpaed/54/2023.11.29.X>
- Carless, D. (2022). From teacher transmission of information to student feedback literacy: Activating the learner role in feedback processes. *Active Learning in Higher Education*, 23(2), 143–153. <https://doi.org/10.1177/1469787420945845>
- Carless, D. & Boud, D. (2018). The development of student feedback literacy: *Enabling uptake of feedback*. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 43(8), 1315–1325. <https://doi.org/10.1080/02602938.2018.1463354>
- Carless, D., & Winstone, N. (2023). Teacher feedback literacy and its interplay with student feedback literacy. *Teaching in Higher Education*, 28(1), 150–163. <https://doi.org/10.1080/13562517.2020.1782372>
- Chong, S. W. (2021). Reconsidering student feedback literacy from an ecological perspective. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 46(1), 92–104. <https://doi.org/10.1080/02602938.2020.1730765>
- Drossel, K., Eickelmann, B., Schaumburg, H. & Labusch, A. (2019). Nutzung digitaler Medien und Prädiktoren aus der Perspektive der Lehrerinnen und Lehrer im internationalen Vergleich. In B. Eickelmann, W. Bos, J. Gerick, F. Goldhammer, H. Schaumburg, K. Schwippert, M. Senkbeil & J. Vahrenhold (Hrsg.), *ICILS 2018 #Deutschland. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern im zweiten internationalen Vergleich und Kompetenzen im Bereich Computational Thinking* (S. 205–240). Waxmann.
- Narciss, S., Sosnovsky, S., Schnaubert, L., Andrès, E., Eickelmann, A., Gogvadze, G. & Melis, E. (2014). Exploring feedback and student characteristics relevant for personalizing feedback strategies. *Computers & Education*, 71, 56–76. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.011>
- Schluer, J. (2022). *Digital feedback methods*. Narr Francke Attempto.
- Schluer, J. (2023a). *Digital feedback map: Overview of digital feedback methods*. <https://tinyurl.com/DigitalFeedbackOverview/> [28.06.2024]
- Schluer, J. (2023b). Digitales Feedback didaktisch gedacht: Überblick und Anwendungsbeispiel. Perspektiven auf Lehre. *Journal for Higher Education and Academic Development*, 3(2), 1–14. <https://doi.org/10.55310/jfhead.42>
- Schluer, J. (2024a). *Digital Feedback Map: Interaktiver Überblick über digitale Feedbackmethoden*. <https://tinyurl.com/DigitalesFeedbackDT> [28.10.2024]
- Schluer, J. (2024b). *Feedback taxonomy (interactive web version)*. <https://tinyurl.com/FeedbackTaxonomyEN> [29.06.2024]
- Schluer, J. (2024c). *Feedback-Taxonomie (interaktive Online-Version)*. <https://tinyurl.com/FeedbackTaxonomieDT> [28.10.2024]
- Schluer, J. (2024d). Redesigning TESOL courses with digital feedback: Reflections on modifications and suggestions for future exploration. In J. Schluer (Hrsg.), *Digital Feedback in Higher Education: Teaching Practices, Student Voices, and Research Findings* (S. 35–62). Digital Society, 76. Transcript.
- Schluer, J., Rütli-Joy, O., & Unger, V. (2023). Feedback literacy. In T. Philipp & T. Schmohl (Hrsg.), *Handbook Transdisciplinary Learning* (S. 155–164). Higher Education: University Teaching & Research. Transcript.
- Wisniewski, B., Zierer, K. & Hattie, J. (2020). The power of feedback revisited: A meta-analysis of educational feedback research. *Frontiers in Psychology*, 10:3087, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03087>

Lehrbeispiele aus der Hochschullehre

1. Digitale Lehrbegleitung: Peer-Feedback & Assessment

Im fachdidaktischen Praktikum geben Studierende Live-Taggings als Rückmeldung zur Lehrperformance von videographierten Studierenden. Zeitstempel erlauben eine Synchronisation mit dem Video und eine direkte Sichtung der Performance über den Zeitverlauf, d. h. in unterschiedlichen Unterrichtsphasen bzw. -situationen. Im Nachgang ergänzte Kommentare inkl. Bewertung und alternativer Umsetzungsvorschläge liefern ausführlicheres Peer-/Dozierenden-Feedback als Reflexionsgrundlage für die Videographierten.

Eckpunkte zum Lehrkonzept

- ◆ entwickelt an der RPTU Kaiserslautern-Landau in Kaiserslautern
- ◆ Fach: Biologie
- ◆ Pflichtpraktika (Bachelor of Education ab 3. Semester, Master of Education ab 4. Semester)
- ◆ Teilnehmerzahl pro Durchgang: 15 bis 30

Benötigtes Vorwissen der Studierenden

Die Studierenden benötigen Grundwissen zur Identifikation von Rückmeldepotenzial im Bereich der Unterrichtskonzeption und -durchführung, um konstruktives Feedback zu Sicht- und Tiefenstrukturen geben zu können. Dies umfasst Aspekte wie Mediengestaltung, Kommunikation, didaktische Reduktion etc. im fachdidaktischen Bereich sowie Fachwissen zur Identifikation fachlicher Probleme. Bei den Studierenden sollten klar abgegrenzte und definierte Konstrukte als Kategorien verfügbar sein, zu denen dann Feedback gegeben werden kann.

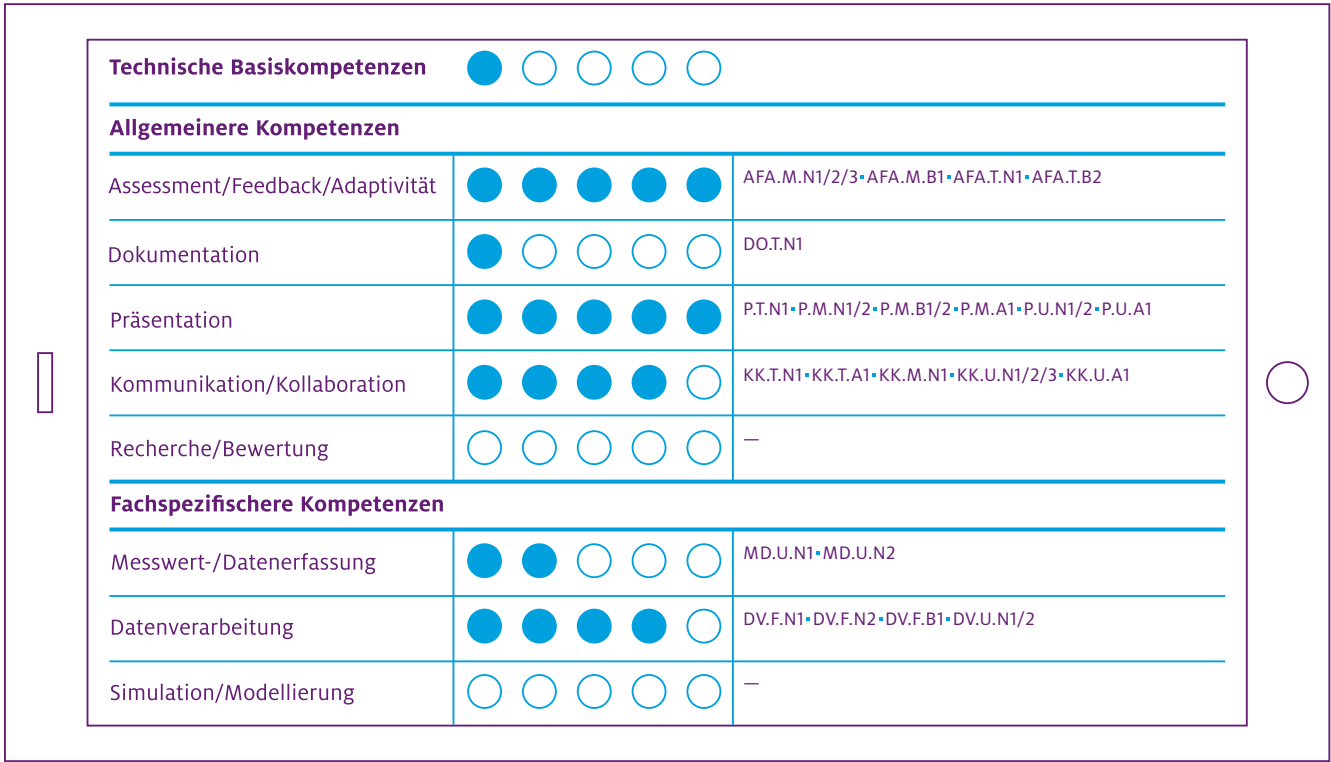
Praktische Tipps zur Durchführung

Falls die beobachtenden Studierenden im Rahmen der Lehrperformance Laptops für andere Aufgaben nutzen müssen, ist es empfehlenswert, das Tagging in den Kategorien zur Live-Rückmeldung per Smartphone durchzuführen. Dadurch wird vermieden, dass in den Arbeitsprozessen wiederholt die Software bzw. das Fenster gewechselt werden muss.

Materialliste:

- ◆ digitale Kamera, im Idealfall an einen Rechner gekoppelt, z. B. USB (oder als Standalone-Lösung)
- ◆ Mikrofon (auch in Kamera integriert)
- ◆ Internetzugang
- ◆ Laptop (Smartphone)

Einordnung des Lehrkonzepts



▲ Abb. 1 Adressierte Kompetenzbereiche

Beschreibung des Lehrkonzepts

Für Studierende stellt die praktische Erprobung eigener Unterrichtskonzepte und der eigenen Performance beim Lehren eine wesentliche Erfahrung dar, um Sicherheit zu gewinnen und sich bzgl. identifizierbarer Optimierungspotenziale auszuprobieren. Hier wirkt klassisches Feedback durch Dozierende zwar unterstützend, ist aber ohne weitere Maßnahmen weniger gut geeignet, um eine Feedbackkultur zu etablieren und Feedback als ein zentrales, strukturgebendes Element von Lernprozessen zu betonen. Eine gezielte Thematisierung von Feedback, geeigneten Kriterien und technischen Möglichkeiten, Feedback ziel führend sowie sinnvoll geben zu können bietet gemeinsam mit einem praktischen Einsatz dafür geeigneter Technologien mehr Möglichkeiten. Ein solcher Ansatz schafft mehr Ansatzpunkte, um a) den Umgang mit und die Bedeutung von Feedback insgesamt zu erfahren sowie b) reflexive Prozesse zu initiieren. Peer-Feedback stellt hierbei eine Herangehensweise dar, multiperspektivische Rückmeldungen und interaktive Prozesse einzubeziehen. Wie in der Schulpraxis ist die Realisierung solcher Settings vor Ort durch zeitliche Rahmenbedingungen der Hochschullehre in der Regel fast nicht möglich. Aus diesem Grund ist eine Auseinandersetzung mit digitalen Systemen, die solches Feedback und adaptive Unterstützung auf alternativen methodischen Wegen erlauben, hilfreich.

Im fachdidaktischen Praktikum wird simulierter Unterricht videographiert und mit zeitaufgelöstem, kategorisiertem Feedback direkt live im Prozess bzw. in der Durchführung für spätere Analysen versehen. Dafür wird das open Source Tool Vidoteach (eine Kombination aus liveFeedback und smallPART; Thyssen & Tolou, 2021) eingesetzt. Studierende im Plenum können damit Situationen als diskussionswürdig (positiv/negativ) markieren, mit Fokus auf vier vorab im System definierten Kategorien. Aus allen digitalen Markierungen ergibt sich ein Stundenverlaufs-Profil für die fokussierten Feedback-Kategorien, die als zeitaufgelöste Säulendiagramme graphisch dargestellt werden können. Mit diesen können direkt im Nachgang der Lehrversuche und noch im Praktikum Hotspots mit Diskussionsbedarf und eher positiv/negative bewertete Phasen im Stundenverlauf identifiziert und diskutiert werden. Aus den Graphen werden in einem ersten Ansatz zwei Kategorien abgeleitet, auf die zur Selbstreflexion und Überarbeitung der Schwerpunkt gelegt werden sollte.

Nach dem Praktikum wird der Prozess durch Peer-Feedback unterstützt. Dieses hinterlassen und diskutieren Mitstudierende als Teil der Praktikumsleistungen webbasiert asynchron im System zu einzelnen Situationen, inklusive möglicher Markierungen im Videobild (z. B. für Tafelbilder).

So annotierte Videos sind ein zentrales Medium für das Training des Gebens und Nehmens von sowohl unmittelbarem als auch nachträglichem, ausführlichem Feedback. Neben dem Training individueller, digitalisierungsbezogener Kompetenzen im Kontext der eigenen Unterrichtsplanungen können so strukturiert Kompetenzen im Bereich AFA adressiert werden.

Lessons learned – Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die strukturierte Integration von Feedback verändert die Lehre und das Lernen im Praktikum. Das Live-Feedback, im Sinne von fast-Feedback, gibt den ca. 20-minütigen Analysen des erlebten simulierten Unterrichts (direkt in dessen Anschluss) im Plenum Struktur und zudem eine erste inhaltliche (quasi empirische) Basis.

Diese Struktur und Basis scheint verglichen mit Erfahrungen aus der Zeit vor der Nutzung entsprechender Feedbacksysteme sehr förderlich für die kritisch reflexive Auseinandersetzung mit den gesehenen Unterrichtsversuchen aus fachdidaktischer Perspektive zu sein.

Rückmeldungen aus einem Semester, in dem Vidoteach aufgrund technischer Probleme in einer Beta-Version nicht durchgehend eingesetzt werden konnte, zeichnen ein ähnliches Bild.

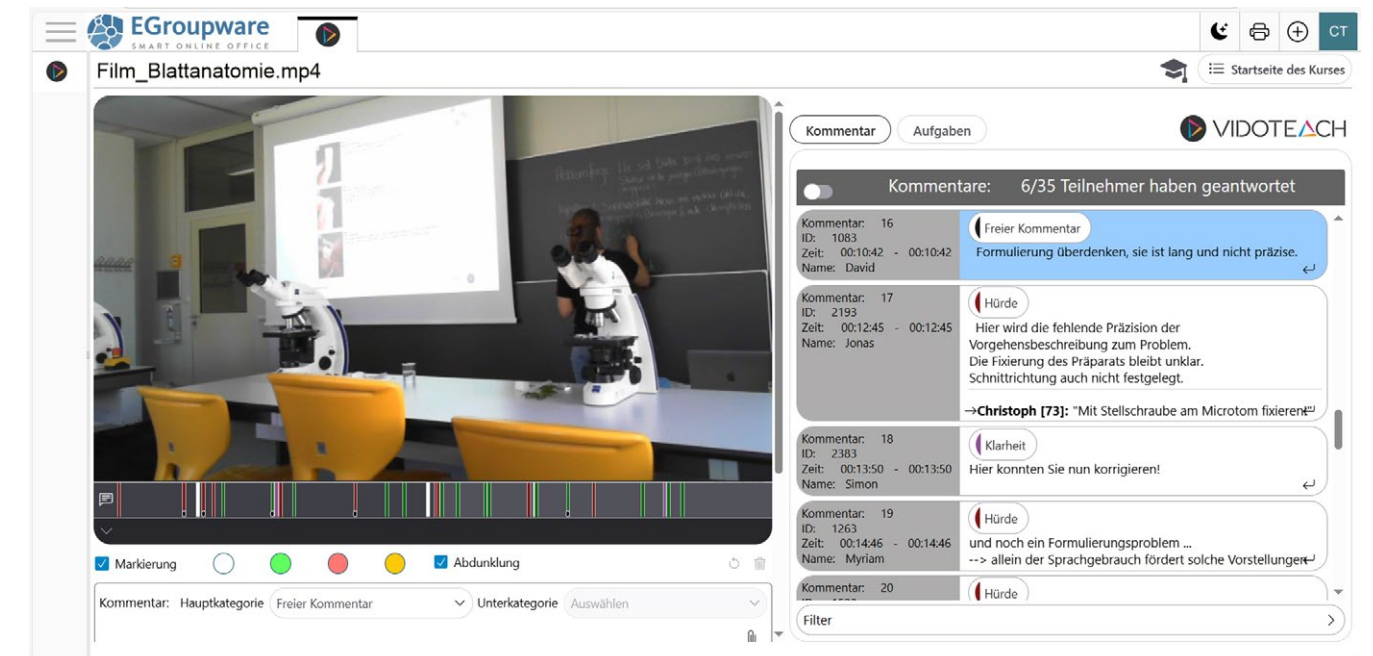
In Kursen ohne digitales Feedback entsprechend des beschriebenen Konzeptes waren sowohl die Feedbackkultur, als auch beobachtbare Zuwächse im Geben von zielgerichtetem, hilfreichen Feedback weit weniger offensichtlich. Feedbackkultur als strukturelles Prinzip in Lehr-Lern-Processen kann demnach mit geeigneten Technologien (auch an Hochschulen) lernförderlich genutzt werden. Studierenden kann das Konzept des formativen Assessments mit

Das Praktikum integriert Feedback auf einer funktionalproduktiven und fachdidaktisch methodischen Ebene. Im Zuge des Konzepts werden Aspekte von Feedback, abseits einer singulär darauf ausgerichteten Lehrveranstaltung fachdidaktisch in der Praxis thematisiert. Auf diese Weise kann ein weniger abstrakter Zugang zu digitalem Feedback erreicht werden. Studierende können erlernen, wie digitale Systeme Feedbackkultur sowie Lernen verändern und in verschiedenen Rollen erfahren, welche Vorteile es hat, detailliertes Feedback ohne Zeitdruck zu geben und zu reflektieren.

dem vorgestellten Konzept nicht nur vorgestellt, sondern direkt erfahrbar gemacht werden. Fehler (und besonders gute Performance) können individuell und für alle als Lernchance genutzt werden.

Die mit dem digitalen Peer-Feedback initiierte und gepflegte Kultur des Gebens und Nehmens von kritisch konstruktivem Feedback liefert über die Lehrveranstaltung hinaus auch einen wesentlichen Beitrag für die Durchführung von Unterrichtsreflexionen im Anschluss an Lehrproben und Unterrichtsbesuche im Referendariat. Erstens lernen Studierende im Idealfall, Feedback als Rückmeldung zu eigenen Lehrversuchen entgegenzunehmen, zu überdenken, ggf. zu kommentieren und zu nutzen, ohne zeitlich direkt darauf reagieren zu müssen. Die mit dem System einhergehende Distanz und zeitliche Entkopplung erleichtert es, sich dabei nicht persönlich getroffen zu fühlen und das Feedback zu verarbeiten. Zweitens ermöglicht das reflektierte und systematisch integrierte Geben von Feedback ohne Zeitdruck ein diesbezügliches Üben als Grundlage für Reflexionsrunden im Referendariat.

Insgesamt können Studierende mit Elementen dieses Konzeptes also unter verschiedenen Aspekten aus der ersten Phase der Lehrkräftebildung heraus auf die zweite und dritte Phase vorbereitet werden.



▲ **Abb. 2** Analyse eines videographierten Stundenverlaufs mit markierten Positionen im Videoverlauf und zugehörigem Peer-Feedback. Die Rückmeldung erfolgte hier in freien oder zu festgelegten Kategorien verfassten Kommentaren und einem Retweet als Reaktion auf Kommentar Nr. 17.

Weiterführende Informationen

Thyssen, C. & Tolou, A. (2021). Videobasierte Kompetenzentwicklungskette in fachdidaktischen Praktika und Seminaren – Von der Videographie mit Live-Feedback zur kollaborativen Videoanalyse, in: Kubsch, M., Sorge, S., Arnold, J., Graulich, N. (Hrsg.), *Lehrkräftebildung neu gedacht. Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken*. Waxmann, Münster, S. 136–144.

Über den Autor

► **Christoph Thyssen** leitet aktuell noch die AG Didaktik der Biologie an der RPTU Kaiserslautern-Landau und wechselt in Kürze an das Institut für Biologie und ihre Didaktik an der PH Freiburg. Seine Forschungsinteressen sind digitale Medien im MINT-Unterricht, digitale Kompetenzen von Studierenden sowie Augmented und Virtual Reality als voll- bzw. halbdigitale Medien. Er ist Alumnus des Kolleg Didaktik:digital der Joachim Herz Stiftung und Mitinitiator der AG Digitale Basiskompetenzen in der Lehrkräftebildung.

2. Kollaborativ geführtes Live-Peer-Feedback

Im zweiten Teil des Demonstrationspraktikums der Lehramtsstudiengänge Physik, den Demonstrationsübungen, erfahren Studierende, wie kollaborativ geführte Dokumente für den Austausch von Feedback zur Präsentation einer Unterrichtsreihe genutzt werden können. Sie lernen die technischen Erfordernisse, die Vorbereitungen für den Einsatz, die Handhabung sowie die Vor- und Nachteile im Vergleich zu einem individuell erstellten Feedback kennen.

Eckpunkte zum Lehrkonzept

- entwickelt an der Technischen Universität Darmstadt, Fachbereich Physik
- Fach: Lehramt an Gymnasien Physik und Master of Education M.Ed. Physik
- Demonstrationspraktikum, Pflichtpraktikum (8. Semester)
- Teilnehmerzahl pro Durchgang: max. 9

Benötigtes Vorwissen der Studierenden

Voraussetzung ist, dass die Studierenden die übergreifenden Fach-Konzepte der Experimentalphysik verstehen und empirisch nachgewiesene Präkonzepte sowie das Lehren und Lernen als konstruktivistischen Prozess verinnerlicht haben. Darüber hinaus sollten sie die Bedeutung des Experiments im Physikunterricht in der Doppelrolle zur Unterstützung von Lernprozessen und als wesentliche Arbeitsweise physikalischer Forschung kennen. Sie müssen die Perspektive der Lernenden berücksichtigen und Themen für die Unterrichtspraxis didaktisch rekonstruieren können. Zusätzlich sollten sie eine reflektierte Haltung über den lernwirksamen Einsatz von Methoden und (auch digitalen) Medien in einem kompetenzorientierten Unterricht

erworben haben. Ziel dieser Lehrveranstaltung ist, den Studierenden die Nutzung kollaborativ geführter Dokumente zu vermitteln. Zudem sollen sie verstehen, wie die Beteiligten beim Austausch von Feedback über diese Dokumente miteinander in Wechselwirkung treten.

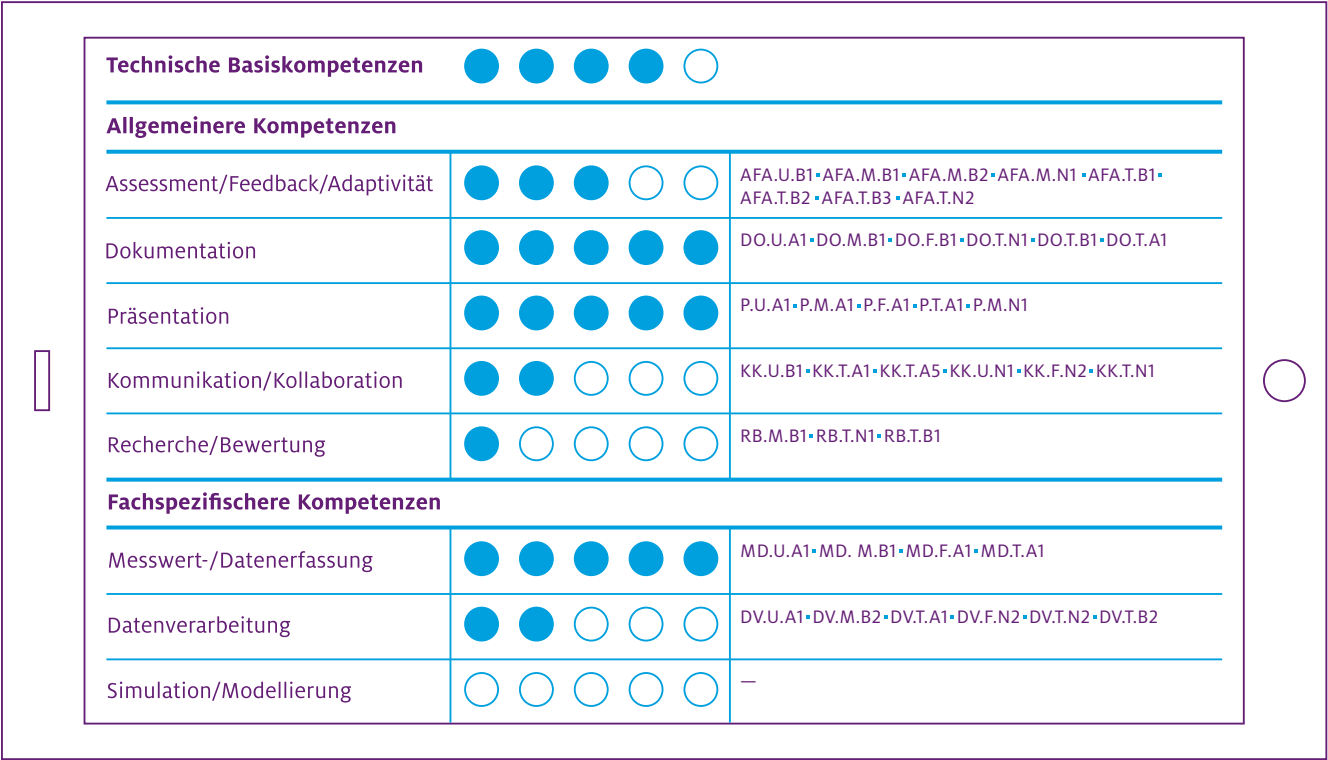
Praktische Tipps zur Durchführung

Vorab sollte ein Test mit der gleichen Anzahl an Nutzen durchgeführt werden. Dieser zeigt die Zuverlässigkeit der Infrastruktur. Außerdem können so im Vorfeld Strategien für möglicherweise auftretende Probleme erarbeitet werden, um einen reibungslosen Einsatz während der Nutzungsphase zu gewährleisten. Ideal ist eine Fallback-Option auf ein digitales Ersatzsystem oder ein papiergestütztes System.

Materialliste:

- digitale Endgeräte mit Internetzugang
- Infrastruktur zum Erstellen und Bearbeiten kollaborativ geführter Dokumente (z. B. HESSENBOX, Google Docs, Synology Drive)
- ein von der Praktikumsleitung vorgegebenes, kollaborativ geführtes Dokument mit Beurteilungskriterien

Einordnung des Lehrkonzepts



▲ Abb. 1 Adressierte Kompetenzbereiche

Beschreibung des Lehrkonzepts

Bei den Demonstrationsübungen entwerfen die Studierenden selbstständig Unterrichtsreihen unter Integration digitaler Technologien und Methoden. Sie bauen sie auf, führen sie vor einer (fiktiven) Klasse durch und werten sie aus. Für jede Unterrichtsreihe bauen die Studierenden in zwei Vorbereitungseinheiten die für die Unterrichtsreihe ausgewählten Versuche auf. Hierbei handelt es sich – abhängig vom Inhalt – um etwa fünf bis acht Versuche. Neben der Einübung der sicheren und fachlich korrekten Handhabung wird auch der Umbau von einem zum nächsten Versuch eingeübt, weil jedem Studierenden nur zwei Versuchstische zur Verfügung stehen. Die Anzahl der Tische lehnt sich an die im Mittel in einer Schule einem Physiklehrer zur Verfügung gestellten Anzahl an.

Die Präsentation findet eine Woche nach der letzten Vorbereitungseinheit statt und wird mit einer (fiktiven) Klasse durchgeführt. Die Unterrichtsreihe wird aus Sicht eines Teilnehmers in der (fiktiven) Klasse gefilmt (Abb. 3). Der Fokus liegt auf der Präsentation und der Auswertung der Versuche. Die Theorieteile werden in der tatsächlichen Aus-/Durchführung ausgespart. Die dabei erarbeiteten Inhalte

und Ergebnisse werden lediglich als didaktische Zielsetzung präsentiert, um den Fortgang der Unterrichtsreihe zu verdeutlichen. Während der Durchführung tragen die übrigen Teilnehmenden des Praktikums, die Assistenten und die Dozierenden ihr Feedback in ein vorstrukturiertes, kollaborativ geführtes Dokument ein (Abb. 2). Im Anschluss hat zunächst die oder der Durchführende die Möglichkeit für eine kurze Selbstreflexion. Danach thematisieren die anderen Teilnehmenden, Assistenten und Dozierenden ausgewählte Inhalte des kollaborativen Feedbacks im Plenum, stellen Fragen und tauschen Tipps und Tricks aus.

Mit dem erstellten Video hat die oder der Durchführende die Möglichkeit, sich im Anschluss selbst ein Bild von der Umsetzung zu verschaffen. In Kombination mit dem technologie-gestützten, kollaborativ geführten Feedback ist er oder sie in der Lage, die unterschiedlichen Betrachtungsweisen und Wahrnehmungen nachzuvollziehen und mit der eigenen Wahrnehmung und den eigenen Empfindungen in Verbindung zu bringen. Eine Erweiterung des Videoeinsatzes kann dem Lehrbeispiel 1 entnommen werden.

Lessons learned – Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Nur sehr wenige Studierende haben bis zur Teilnahme an dieser Lehrveranstaltung kollaborativ geführte Dokumente genutzt. Ein kollaborativ geführtes Feedback hatte seit der Einführung im SoSe 2022 bisher noch kein Studierender kennengelernt (Stand WiSe 2024/25). Daher ist die beobachtete Zurückhaltung der Studierenden bei den ersten Präsentationen das Dokument mit Inhalt zu füllen verständlich. Auch bei dem anschließenden Austausch des Feedbacks verhielten sich die Studierenden zunächst zurückhaltend.

Mit steigender Anzahl der Präsentationen nahmen die Studierenden mehr Eintragungen vor. Die meisten Eintragungen erfolgten nur anhand einer Farbgebung. Eine grüne Farbgebung steht für eine positive Rückmeldung, eine gelbe für eine mit geringem Diskussionsbedarf, eine orange für eine mit höherem Diskussionsbedarf und eine rote Farbgebungen für einen großen Diskussionsbedarf. Texte wurden eher selten in das kollaborativ geführte Dokument eingetragen (Abb. 2). Eine Erläuterung zur Farbgebung erfolgte dann im anschließenden Feedback im Plenum.

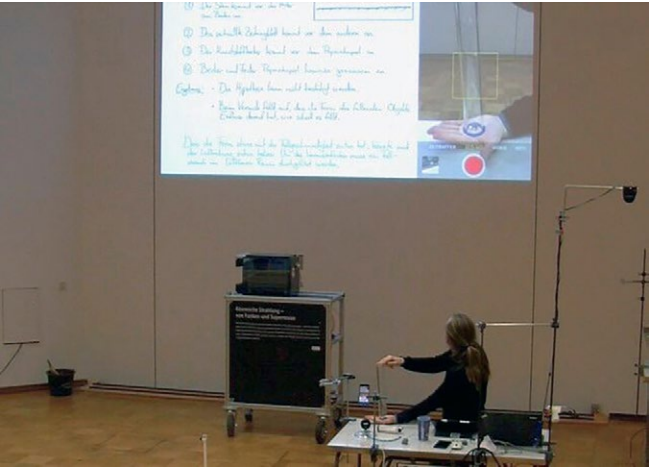
Die Bewertungen wurden aufgrund der eigenen praktischen Erfahrungen im Praktikum und der erlebten Durchführungen zunehmend kritischer.

Für das kollaborativ geführte Feedback wurde aus datenschutzrechtlichen Gründen die HESSENBOX (plattformunabhängiges Sync&Share-System der hessischen Hochschullandschaft) verwendet. Aufgrund zahlreicher Verbindungsprobleme und damit verbundener Datenverluste bevorzugten die Studierenden jedoch Google Docs. Eine vom Datenschutz her sicherere Alternative ist das Führen kollaborativ geführter Dokumente auf einem eigenen Server (z. B. Synology Station). Dies erfordert allerdings einen anfänglichen Organisationsaufwand. Es reicht, den Studierenden einen Link zum jeweiligen Dokument mit einem Shortlink oder QC-Code zur Verfügung zu stellen.

In der abschließenden Evaluation beurteilten die Studierenden das kollaborative Feedback als gewinnbringend für ihre Professionalisierung.

	Beobachter 1	Beobachter 2	Beobachter 3	Beobachter 4	Beobachter 5	Beobachter 6	Beobachter 7
Allgemein							
inhaltliche Richtigkeit							
Schwerpunkt der Unterrichtsreihe passt zum physikalischen Thema klarer Roter Faden							
Überleitungen zwischen den Versuchen							
Umgang mit Fragen und Anmerkungen							
Verwendung der physikalischen Einheiten							
Aufbau der Experimente							
Aufbau physikalisch korrekt							
übersichtlicher Aufbau der Experimente					~min 7: Führung durch den Jouschen Topf gleich zu Beginn des Versuchs wäre schön gewesen. Was ist wo und warum? Wäre schön das vor dem Start des Versuchs zu wissen.		
Experiment verdeckt nicht Projektion/Tafel							
korrekte Verwendung von Warnschildern						Thematisiert?	
Vorstellung der Experimente / des Aufbaus							
Erklärung des Versuchsaufbaus		17: Kamera , was im Joulischen Topf passiert, zu Beginn zeigen			Joulischer Topf - zu spät		
Versuchsskizzen physikalisch korrekt			ggf. vor/während der Inbetriebnahme zeigen (wenn zeitlich bzw. vom Aufbau her möglich)				
Erklärung der Funktion der Gerätschaften					Joulischer Topf - zu spät		
						Reihenfolge interessant: Start der Durchführung, dann Aufbau durchgehen, dann Video, dann Skizze.	
Erklärung des Messprinzips					Erklärung an sich war gut		
Hypothesenbildung / Erwartungshaltung diskutiert							
Durchführung der Experimente							
Sicherheitsbestimmungen eingehalten					Zopf und Motor mit Riemen ist eine potenzielle Gefahr		
Durchführung physikalisch korrekt							
sichere Bedienung und Handhabung							
Bedienung von der Rückseite des Tisches aus							
Tische festgestellt							
Auswertung und Ergebnissicherung							
Auswertung physikalisch korrekt							
Ergebnissicherung		6: keine - Was nehmen die SuS mit?					
graphische Darstellung experimentellen Ergebnisse vom Messunsicherheiten diskutiert		3: Skalierung Temperatur kleiner wählen			Keine alte Messreihe zeigen, wenn sie nicht relevant ist		Achsen Beschriftung
					nicht stattgefunden		
					nicht stattgefunden		

▲ **Abb. 2** Ausschnitt aus einem kollaborativ geführten Dokument zum Feedback zu einer präsentierten Unterrichtreihe. Die Farbskala steht für das Ausmaß des Diskussionsbedarfes: Grün steht für positive Situationen ohne Diskussionsbedarf. Die anderen Farben symbolisieren einen geringen (gelb), höheren (orange) bis hohen Diskussionsbedarf (rot). Die Beurteilungen werden von jedem Beurteilenden in jeweils einer Spalte eingetragen und ggf. mit Angabe der Minute der Unterrichtsstunde zu thematisierende Details vermerkt.



▲ **Abb. 3** Ausschnitt aus einer Präsentation einer Unterrichtsreihe zum Gravitationsgesetz.

Über den Autor

► **Erik Kremser** leitet seit 2007 das Demonstrationspraktikum und die Vorlesungsassistentz am Fachbereich Physik der TU Darmstadt. Seit 2013 forscht er über die Potenziale der Digitalisierung in Lehr-Lern-Prozessen. Momentan befasst er sich mit der Implementation digitaler Kompetenzen in die Lehrveranstaltungen der Lehramtsstudiengänge Physik.

3. Digital gestütztes Feedback gestalten, einsetzen und reflektieren

In einer fachdidaktischen Vertiefung werden angehende Lehrkräfte in ihrer professionellen Handlungskompetenz zum unterrichtsbezogenen (digital gestützten) Gestalten und Geben von Feedback gefördert. Feedback wird dabei sowohl als hochschuldidaktische Lehrmethode als auch als inhaltliche Ausrichtung eingesetzt. Die Studierenden nutzen, erproben und beleuchten Feedback als pädagogisches Unterrichtswerkzeug.

Eckpunkte zum Lehrkonzept

- ◆ entwickelt an der Universität Kassel, Didaktik der Biologie
- ◆ Fach: Biologie/Fachdidaktik
- ◆ Wahlpflichtseminar in der fachdidaktischen Vertiefung (ab 5./6. Semester)
- ◆ Teilnehmerzahl pro Durchgang: 20 bis 24

Benötigtes Vorwissen der Studierenden

Vorausgesetzt werden Vorkenntnisse zum naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess. Werden Feedbackprozesse im Kontext des Forschenden Lernens gewählt, sollte bereits fachmethodisches und fachdidaktisches Wissen zum experimentellen Unterricht vorhanden sein. Zudem sind Grundfertigkeiten im Umgang mit digitalen Werkzeugen, u. a. Tablets, hilfreich.

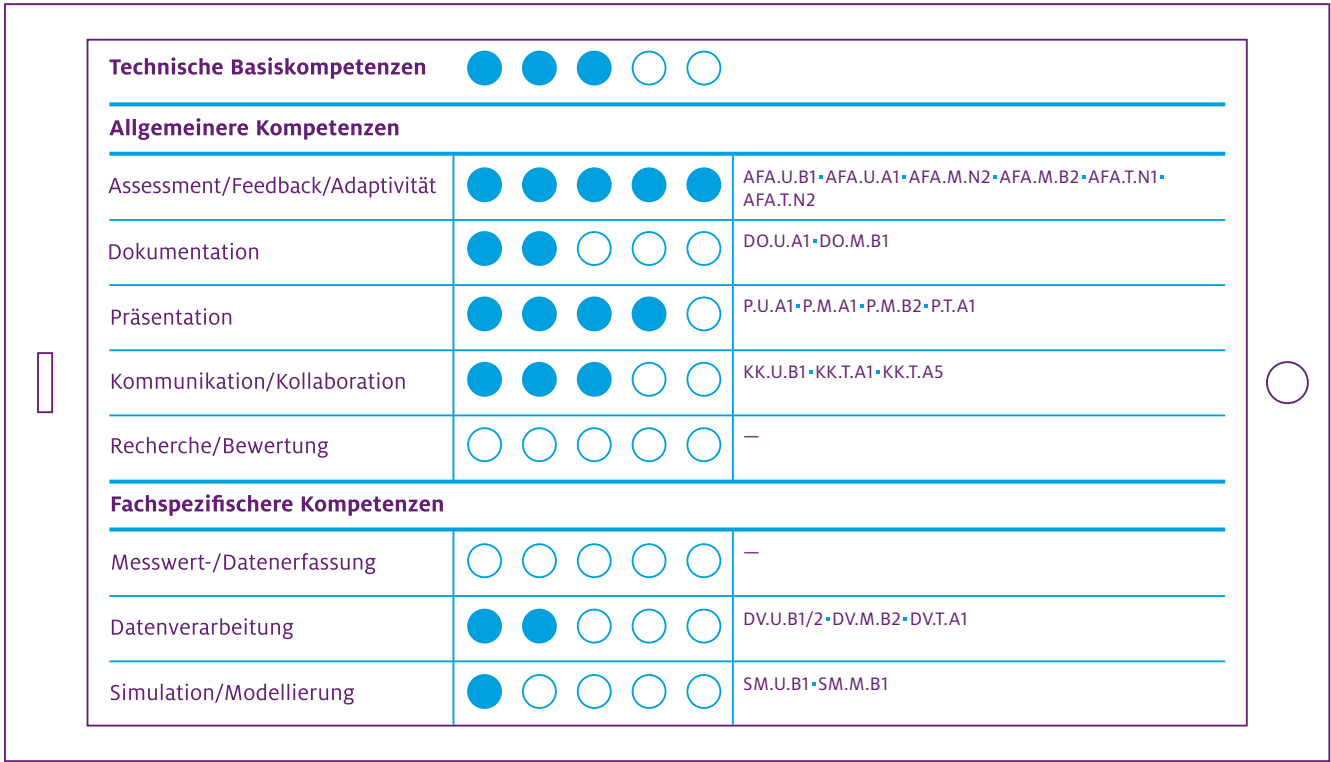
Praktische Tipps zur Durchführung

In der Erprobung des digital gestützten Feedbackmaterials ist es für die Studierenden schwer realisierbar, parallel zu dokumentieren, wie die Lernenden das Material nutzen. Die Durchführung in Tandems wirkt hierbei bereits unterstützend. Durch eine Videoaufnahme des praktischen Einsatzes (DGSVO beachten) ist eine nachträgliche und damit intensivere Reflexion sowie ein weiteres Feedback-Element über Videokomentierung durch Peers und/oder Dozierenden möglich (s. auch Lehrbeispiel 1).

Materialliste:

- ◆ digitale Endgeräte (z. B. Tablets) mit Internetzugang
- ◆ Experimentiermaterial zum Experiment „Ein Pilz im Pizzateig“ (s. weiterführende Informationen)
- ◆ Apps zur Erstellung, Bearbeitung und interaktiven Erweiterung von digitalen Inhalten
- ◆ diverse Bastelmaterialien

Einordnung des Lehrkonzepts



▲ Abb. 1 Adressierte Kompetenzbereiche

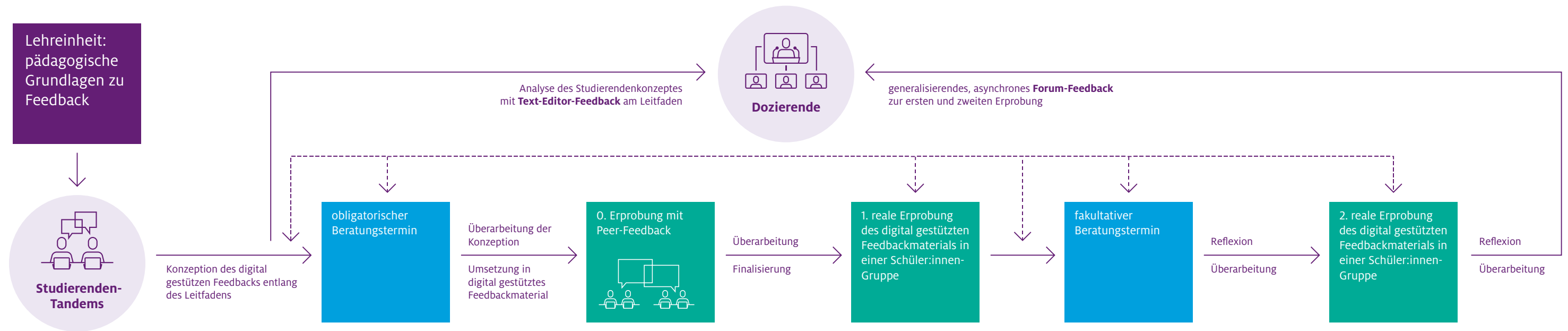
Beschreibung des Lehrkonzepts

Im forschend-angelegtem Unterricht gehen Lernende Phänomenen und/oder Problemen entlang des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses möglichst selbstgesteuert experimentell auf den Grund. Um forschend-angelegten Unterricht zu gestalten und umzusetzen, benötigen Lehrende umfassende Kompetenzen. Dazu zählen die eigenen fachmethodischen Kompetenzen zum Experimentieren, das Wissen zum Fachkontext und fachdidaktische Kompetenzen zum Unterrichten. Daneben nehmen pädagogische Entscheidungen zur Differenzierung und Individualisierung und ihre Konsequenzen für die Unterrichtsgestaltung eine bedeutende Rolle ein. In diesem Lehrkonzept werden Bezüge des Faches, der Fachdidaktik und der Pädagogik zusammengeführt. In sukzessiv aufeinander aufbauenden Lerneinheiten werden Lehramtsstudierende in Tandems darin unterstützt, digital gestütztes Feedbackmaterial zu konzipieren und zu erproben. Dabei stehen die bekannten Hürden von Lernenden in einer ausgewählten Phase des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses, dem Experimentieren, im Mittelpunkt (Kastaun & Meier, 2023).

(Digital gestütztes) Feedback nimmt eine zentrale, multidimensionale Rolle im Lehrkonzept ein (Abb. 2). Mit dieser

Lehrmethode unterstützen Dozierende die Studierenden prozessbegleitend in ihrer Erstellung und Überarbeitung des digital gestützten Feedbackmaterials. Die Dozierenden setzen sowohl synchrones (in Beratungsterminen vermitteltes) als auch asynchrones (textbasiertes, individualisiertes und generalisiertes) Feedback ein. Über eine Peer-Feedback-Phase erhalten die Studierenden die Möglichkeit, ihr eigenes Material erstmalig zu erproben. Sie sammeln Erfahrungen darin, Feedback zu geben, insbesondere unter Rückgriff auf ihre fachdidaktischen und sozialen Kompetenzen. Zeitgleich stellt das digital gestützte Feedback den inhaltlichen Schwerpunkt des Lehrkonzeptes dar.

In einer einführenden Lerneinheit sowie den individuellen Beratungen werden pädagogische Grundlagen zu Feedback vermittelt. Ein schriftbasierter Leitfaden dient als Konstruktionsrahmen. Die Studierenden werden angeleitet, eigenständig sowie praxisbezogen digital gestütztes Feedbackmaterial (hier zum Experimentieren) unter Nutzung selbstgewählter Technologien (z. B. Video, Animationen, Webanwendungen, Bordsysteme) zu konzipieren und zu erstellen sowie zu erproben und reflexiv zu überarbeiten (Abb. 2).



▲ **Abb. 2** Feedback als inhaltlicher Lerngegenstand und Lehrmethode im Rahmen eines hochschuldidaktischen Lehrkonzeptes

Der Leitfaden ist mit den unterrichtsrelevanten Planungsfacetten zur Konstruktion des digital gestützten Feedbackmaterials ein zentrales unterstützendes und strukturierendes Lernwerkzeug:

- ◆ **Lernziel** – Welches Lernziel wird adressiert?
- ◆ **Lerninhalt** – Welche Experimentierphase bzw. Kompetenzfacette wird vermittelt (Fachwissen und/oder Fachmethodik)?
- ◆ **Lernsituation/-angebot** – Welche Handlungen werden vom Lehrenden und Lernenden in der ausgewählten Experimentiersituation/-phase vollzogen?

- ◆ **Funktion des Feedbacks** – Welche Funktion nimmt das Feedback in der Lernsituation ein? (kognitiv, metakognitiv, motivational)?
- ◆ **Inhalt des Feedbacks** – Wie wird die evaluative und informative Komponente des Feedbacks umgesetzt?
- ◆ **Form des Feedbacks** – Wie wird das Feedback digital gestützt gestaltet: Modus, wann (Zeitpunkt) wird es gegeben und inwiefern wird Adaptivität (in Bezug auf welches Merkmal) erzeugt (Zeitpunkt, Modus, Adaptivität)?

Lessons learned – Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Zusammenspiel der unterschiedlichen Wissensfacetten ist für die Studierenden eine große Herausforderung: Die Aufgabe besteht darin, die Feedbackmaterialien zu gestalten – einerseits pädagogisch-fachdidaktisch, andererseits digital gestützt – und in den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess zu integrieren. Die Studierenden setzen an den Hürden der Lernenden zum/beim Experimentieren an, wie z. B. bei der Formulierung von Hypothesen. Sie wenden hierzu ihre Fähigkeiten an, einen ziel- und adressatenbezogenen sowie individualisierten und/oder kooperativen Lernprozess planerisch auszugestalten. Dabei auftauchende Hürden bei den Studierenden liegen weniger

im rein technologischen Bereich. Die größte Schwierigkeit für die Studierenden ist stattdessen: Die digitalen Funktionalitäten und ihre fachdidaktischen Potenziale zusammenzuführen, um individualisiert Feedback zu geben – und das in einem an sich kooperativen Setting des Experimentierens in Kleingruppen. Mittels unterschiedlicher Feedbackmethoden werden die Studierenden-Tandems in ihrem Lern- und Arbeitsprozess intensiv und prozessbegleitend unterstützt. Ziel ist es, das Verständnis von Feedback von überwiegend einfachem, korrigierendem Feedback hin zu einem Feedback zu erweitern, das elaboriert, niveau-differenziert und motivierend ist.

Am eigenen Lernprodukt und den in der Seminargruppe erstellten digital gestützten Feedbackmaterialien sowie deren unterrichtsbezogenen Integration wird die Umsetzung adaptiven Unterrichts erfahrbar. Jedoch werden auch die noch vorliegenden Grenzen ersichtlich. Letztere ergeben sich u. a. durch die Fokussierung auf Feedback mit nur reduzierter Einbindung einer Diagnose in den beteiligten Lernendengruppen (eine gängige Problematik der 1. Phase/im Lehramtsstudium). Außerdem stellen die

mehr oder weniger vorliegenden digitalisierungsbezogenen Kompetenzen der Studierenden Grenzen für den adaptiven Unterricht dar. Das führte dazu, dass sie vorrangig Feedback auf Basis von bzw. über Gestaltung von Präsentationsmedien konstruierten. Eine Ausweitung des digitalen Kompetenzprofils kann nur über eine disziplinübergreifende Integration digitaler Technologien in unterschiedliche unterrichtliche Handlungsfelder realisiert werden.

Weiterführende Informationen

Kastaun, M. & Meier, M. (2023). Experimentierfähigkeiten stärken, Diagnostizieren lernen und digitalgestützt Feedback geben. Konzeption eines Lehr-Lern-Labor-Seminars zur Professionalisierung angehender Biologielehrkräfte. In M. Meier, G. Greefrath, M. Hammann, R. Wodzinski & K. Ziepprecht (Hrsg.) (2023). *Lehr-Lern-Labore und Digitalisierung* (S. 77–90). Edition Fachdidaktiken. Springer VS Fachmedien.

Das diesem Betrag zugrunde liegende Vorhaben wurde im Rahmen des Teilprojektes „Professionalisierung durch intelligente Lehr-Lernsysteme“ des Projekts PRONET-D der Universität Kassel zur gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA2012 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen.

Über die Autorinnen

- **Monique Meier** leitet die Professur für Didaktik der Biologie an der Technischen Universität Dresden mit Schwerpunkten in der Gestaltung eines lebendigen, digital gestützten und praxisorientierten Lehrens und Lernens an Schule und Hochschule. In ihrer Funktion der Leitung des Studiengangs zum Lehramt Biologie legt sie besonderen Wert auf eine vernetzte Lehre von Fach und Fachdidaktik sowie die Einbindung digitaler Feedbackmethoden.
- **Marit Kastaun** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachgebiet Didaktik der Biologie an der Universität Kassel. Ihre Forschungsinteressen liegen im Einsatz digitaler Technologien in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung mit dem Schwerpunkt auf KI, dem Umgang mit Repräsentationen, Feedback und Individualisierung.

Updates & Patches – Auch für Perspektiven auf Digitalität und Digitalisierung im Naturwissenschaftsunterricht?

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

Die weiter fortschreitende digitale Transformation in und von der Gesellschaft muss sich ebenso im Bildungsbereich abbilden. Aktuell bereits beobachtbare und aufgrund von Empfehlungen maßgeblicher Bildungsakteure (wie z. B. bezüglich der Potenziale von Künstlicher Intelligenz, genauer Large-Language Models, Köller et al., 2024) abzusehende Änderungen schulischer Inhalte und Praxis zeigen, dass hier eine fortschreitende Entwicklung zu erwarten ist. Neben gezielt initiierten Ansätzen wird es sich hierbei ebenso um eher aus Eigendynamiken resultierende Prozesse handeln. Um Herausforderungen solcher Dynamiken zu erkennen und zu meistern, muss auch aus der Lehrkräftebildung und der Praxis heraus eine weiterführende Auseinandersetzung mit sich bereits abzeichnenden oder zukünftig zu erwartenden technologischen Potenzialen und Herausforderungen erfolgen. So eröffnen z. B. von der Coronapandemie getriggerte Dynamiken in Bezug auf digitale Distanzlehre und Fortschritte im Bereich von KI-Systemen seit der ersten Publikation von DiKoLAN im Jahr 2020 ganz neue Perspektiven auf ‚Digitales‘ im unterrichtlichen Kontext. Insbesondere mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit von im Unterricht einsetzbaren Softwaresystemen müssen deren Einsatzfelder fachdidaktisch reflektiert werden (Neumann et al., 2024). Es lassen sich zu diesem Zweck durchaus bisherige Aspekte und Kompetenzen nutzen.

Darüber hinaus gibt und gab es Fortschritte, die vergleichsweise stark neue, bisher noch nicht fokussierte Bereiche betreffen. So kann KI z. B. immer besser gezielt als Hilfe in Lernprozessen für Feedback und in adaptiven Lernumgebungen zur Differenzierung / Individualisierung genutzt werden (Zhai & Nehm, 2023). Eng damit verbunden sind Formen des Assessments, das heißt z. B. digitale Lernzielkontrollen, die im Sinne einer automatisierten Bewertung oder Korrektur eng an Feedback und adaptive Lernumgebungen anknüpfen (Learning Analytics/Educational Datamining, Baek & Doleck, 2023). Damit rückt adaptiver, individualisierter Unterricht in den Bereich dessen, was von Lehrkräften tatsächlich in der Praxis geleistet werden kann. Ein sinnvoller Einsatz von Technologie in diesem Bereich setzt aber voraus, dass Lehrkräfte neben den notwendigen Kompetenzen zusätzlich klare Vorstellungen zu Einsatz- bzw. Anwendungsmöglichkeiten bzgl. geeigneter und umsetzbarer Aufgabenformate besitzen. Diese ändern sich jedoch aufgrund des technischen Fortschritts und der Verfügbarkeit für Bildungsakteure stetig.

Das Beispiel von ChatGPT verdeutlicht, dass einsetzbare Aufgabenformate und damit ebenso Möglichkeiten des Assessments direkt von der Leistungsfähigkeit der zur Korrektur bzw. Bewertung eingesetzten KI-Systeme abhängen: ChatGPT3.5 etwa unterstützte nur rein textbasierte Formate, während GPT4 auch mit Bildern arbeiten kann. Neben der Reflexion der Leistungsfähigkeit von KI-Systemen im Hinblick auf die Fähigkeit, Antworten auf Aufgaben zu bewerten, müssen Lehrkräfte zusätzlich die quasi umgekehrte Reflexionsperspektive im

Blick behalten. Im Kontext der Diskussion um Täuschungsversuche ist relevant, inwiefern eine KI vorgegebene Aufgabenstellungen selbst beantworten könnte. Wenn eine KI Aufgaben bearbeiten kann, eignen sich unbeaufsichtigte Aufgabenformate, wie zum Beispiel Hausaufgaben, nur sehr eingeschränkt für die Leistungsfeststellung.

Für Abschätzungen in Bezug auf unterrichtliche Einsatzmöglichkeiten von Softwaresystemen im Rahmen von Feedback oder adaptiven Lernumgebungen ist jedoch nicht nur die entsprechende Leistungsfähigkeit solcher Systeme relevant. Ein wesentlicher Faktor ist außerdem, inwieweit Lehrkräfte selbst solche Systeme anpassen oder gar fundamental gestalten können: Sind nur vorkonfektionierte Konzepte und Aufgabenkomplexe verfügbar, die die Lehrkraft dann abhängig von den jeweiligen Anforderungen einsetzt bzw. eben nicht einsetzt? Oder sind Lehrkräfte selbst in der Lage, eigene für spezifische Lerngruppen sowie einzelne Lernende taugliche Konzepte zu entwickeln? Aktuell stark genutzte Systeme wie z. B. das in der Mathematik etablierte Bettermarks oder Antolin scheinen auf einen Trend hinzuweisen, tendenziell fertige Medien und Trainings-Tools einzusetzen. Insgesamt wird anhand solcher Betrachtungen auch deutlich, dass die digitale Transformation einen erwartbaren (aber z. T. noch zu klärenden) Effekt auf die jeweilige Aufgabenkultur haben könnte, abhängig von den für einzelne Fächer verfügbaren Systemen. Die Notwendigkeit für Updates von Kompetenzen geht also klar über rein technische Aspekte hinaus.

Die Vielzahl (auch in der Presse diskutierter) Beispiele des KI-Einsatzes (Gozalo-Brizuela & Garrido-Merchán, 2023) illustrieren: Aus verschiedensten Perspektiven heraus muss reflektiert werden, welche Veränderungen des Fachunterrichts (auch inhaltlicher Art) und der Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen sowie Prüfungsformaten auftreten könnten oder ganz gezielt adressiert werden sollten. Basierend auf den Ergebnissen solcher Überlegungen könnten dann auch Kompetenz-/Orientierungsrahmen wie z. B. DiKoLAN systematisch bezüglich ihrer Lesart oder kohärenten Ausdeutung analysiert werden. In solchen Analysen kann strukturiert hinterfragt werden, ob und welche Kompetenzen (oder gar Kompetenzbereiche) adaptiert oder ergänzt werden müssen. Gerade diese Perspektive verdeutlicht, welchen Nutzen Orientierungsrahmen wie DiKoLAN, die Kompetenzen strukturieren und konkretisieren, haben: Sie sind auch Orientierungshilfen für notwendige Diskussions- und Gestaltungsprozesse bei der Aushandlung von Bildungsentscheidungen. Sie zeigen die zu berücksichtigenden inhaltlichen Bereiche und Perspektiven auf und strukturieren sie. Aufbauend auf solchen Kategorisierungssystemen können darüber hinaus zukünftige Technologien und Trends systematisch aus der Bildungsperspektive reflektiert werden. In diesem Sinne wird folgend exemplarisch unter Orientierung an Kompetenzbereichen von DiKoLAN ein Blick auf die sich aktuell abzeichnende Integration von KI in die Bildung geworfen. Entsprechend der auf D/TPACK basierenden Struktur werden dabei zum einen mit Lehren und Lernen verbundene Prozesse sowie zum anderen in den Fachwissenschaften bereits etablierte Anwendungsgebiete (die als unterrichtliche Kontexte relevant sein können) berücksichtigt.

KI: Beta-Versionen und Feature Requests im Unterrichtskontext

In der Wissenschaft ist die **Dokumentation** von Phänomenen, Ergebnissen etc. essenziell. Eine Dokumentation mittels Fotos setzt nach wissenschaftlichen Standards eine weitgehend unverfälschte Aufnahme voraus. Mit der zunehmenden Integration von KI in Kameras kann genau dies jedoch ohne entsprechende Transparenz von Herstellern einerseits und technisch digitaler Kompetenz auf der Seite der Lehrkräfte und Forschenden andererseits nicht mehr gewährleistet werden. Zusätzlich zu bisher schon häufig auftretenden Problemfeldern wie z. B. dem automatischen Weißabgleich, der zu Farbverfälschungen und damit ggf. zu Messfehlern führt, kommen zukünftig durch weiterentwickelte KIs verursachte Problemfelder hinzu. Ein für eine objektive Dokumentation mittels Fotos problematisches Phänomen konnte für Samsung Smartphones nachgewiesen werden (Hurtz, 2023): Erkennt die KI der Samsung

Foto-Software einen Vollmond im Aufnahmebereich, so wird dessen Textur mit vordefinierten Schemata überzeichnet. Im Extremfall werden also Aufnahmen runder, hellweißer Objekte vor dunklen Hintergründen durch vordefinierte Texturen in einer Art und Weise abgebildet und verfremdet, die keiner objektiven Dokumentation entspricht.

Insbesondere Distanzunterricht lebt von digitaler **Kommunikation und Kollaboration**. Aus aktuell identifizierten KI-Anwendungsbereichen ergeben sich ein direktes Potenzial und Herausforderungen für digitalgestützte unterrichtliche Prozesse. So bietet KI-basiertes Natural Language Processing (NLP) die Möglichkeit, audiovisuelle Aufzeichnungen in Besprechungsnotizen umzuwandeln und in Schriftform zu transkribieren (z. B. Fathom, AI Notetaker, 2024). In digitalen Meetings geführte Unterrichtsgespräche können so für verschiedene Zwecke (Protokoll, Assessment, Feedback, ...) verfügbar gemacht und durchsucht werden. Lehrkräfte könnten mittels KI-basierten Attention-/Emotiontracking Rückmeldungen zum Aufmerksamkeitsstatus der Gruppe oder einzelnen Lernenden erhalten (Sharma et al., 2022). Gleichermaßen müssten sie sich aber bewusst sein, dass mittels KI in umgekehrter Richtung ein scheinbarer Augenkontakt in Meetings erzeugt werden kann.

Sollten Konzepte wie Google Afterlife, d. h. personalisierte KI-Repräsentationen von Menschen, weiterentwickelt und mit fachlichen KIs zusammengeführt werden, sind hier sogar personalisierte ‚Assistenzen‘ von Lehrkräften denkbar. Diese könnten bei Hausaufgabenbetreuungen o. ä. zum Einsatz kommen und in intelligenten Tutoring-Systemen im Rahmen automatisierter **Assessments** auch **Feedback** geben und Strategien für den weiteren Lernprozess vorschlagen. Mittels KI-Systemen kann zudem die **Präsentation** von Informationen adressatengerecht aufbereitet werden – sei dies durch automatisierte Anpassung des Sprachniveaus oder durch die Erstellung von Präsentationen und Animationen.

Die Beispiele machen einerseits deutlich, dass die mit DiKoLAN eingeführte Strukturierung von Kompetenzen dazu geeignet ist, systematisch auch neue Technologien auf ihre Bedeutung in den zugehörigen unterrichtlichen Handlungsfeldern zu hinterfragen. Andererseits wird ersichtlich, dass der Blick auf DiKoLAN nicht mit einer rosaroten, sondern mit einer KI-Brille klare Hinweise liefern kann, wie diese Technologie Lehren und Lernen verändern kann und welche Kompetenzen Lehrkräfte dafür benötigen.

Ein Update im Sinne der Ergänzung eines Kompetenzbereichs ist demnach nicht ausreichend, vielmehr muss die bisherige Perspektive zusätzlich mittels eines geeigneten Brennglases, Filters oder eben einer ‚spezifischen Brille‘ für solche Technologien erweitert werden. Für KI hat die AG Digitale Basiskompetenzen dieses beispielhaft bereits dokumentiert (Huwer et al., 2024). Akteure der Lehrkräftebildung, Studierende, und Lehrkräfte sind, wie im Falle des eigenen Rechners, letztlich bis zu einem gewissen Grade aber selbst dafür verantwortlich, sich, ihren Unterricht und ihre Lernenden upzudaten. Die digitale Transformation ist, auch im Bildungsbereich, abseits von generalisierbaren Aspekten ohne bedarfsspezifische Updates nicht leistbar.

Für Informationen über die Autoren und die Autorinnen siehe Seite 41 in diesem Band.

Literatur

- Baek, C. & Doleck, T. (2023). Educational Data Mining versus Learning Analytics: A Review of Publications From 2015 TO 2019. *Interactive Learning Environments*, 31(6), 3828–3850. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1943689>
- Fathom (2024). AI Notetaker for Zoom, Teams and Google Meet, *Fathom Inc.* <https://fathom.video/> (abgerufen am 30.06.2024)
- Gozalo-Brizuela, R. & Garrido-Merchán, E. C. (2023, 5. Juni). A survey of Generative AI Applications. <http://arxiv.org/pdf/2306.02781>
- Hurtz, S. (2023). Smartphone-Fotografie:Wie Samsung beim Mond nachbessert. *Süddeutsche Zeitung*. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/samsung-smartphone-mond-fotografie-kuenstliche-intelligenz-1.5767932> [30.06.2024]
- Huwer, J., Becker-Genschow, S., Thyssen, C., Thoms, L.J., v. Kotzebue, L. 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. von Kotzebue, E. Kremser, M. Meier & T. Bruckermann (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz. Perspektiven, Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 4–59). Waxmann.
- Köller, O., Thiel, F., van Ackeren-Mindl, I., Anders, Y., Becker-Mrotzek, M., Cress, U., Diehl, C., Kleickmann, T., Lütje-Klose, B., Prediger, S., Seeber, S., Ziegler, B., Lewalter, D., Maaz, K., Reintjes, C. & Stanat, P. (2024). *Large Language Models und ihre Potenziale im Bildungssystem. Impulspapier der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz. SWK.* <https://doi.org/10.25656/01:28303>
- Neumann, K., Kuhn, J. & Drachslar, H. (2024). Generative Künstliche Intelligenz in Unterricht und Unterrichtsforschung – Chancen und Herausforderungen. *Unterrichtswissenschaft*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/s42010-024-00212-6>
- Popkin, G. (2020, August 12). Global warming could unlock carbon from tropical soil. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2020/08/12/climate/tropical-soils-climate-change.html>
- Sharma, P., Joshi, S., Gautam, S., Maharjan, S., Khanal, S. R., Reis, M. C., Barroso, J. & Jesus Filipe, V. M. de. (2022). Student Engagement Detection Using Emotion Analysis, Eye Tracking and Head Movement with Machine Learning. In A. Reis, J. Barroso, P. Martins, A. Jimoyiannis, R. Y.-M. Huang & R. Henriques (Hrsg.), *Communications in Computer and Information Science: Bd. 1720. Technology and Innovation in Learning, Teaching and Education: Third International Conference, TECH-EDU 2022, Lisbon, Portugal, August 31–September 2, 2022, Revised Selected Papers* (1st ed. 2022, Bd. 1720, S. 52–68). Springer Nature Switzerland; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22918-3_5
- 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>

Die Joachim Herz Stiftung fördert den Mut, neu anzufangen.

Wir setzen uns ein für Innovation und Transfer aus der Spitzenforschung, damit mehr Forschungsergebnisse in die Praxis gelangen und einen gesellschaftlichen Nutzen erzeugen. Wir stärken Gründerökosysteme und unterstützen eine neue Generation von unternehmerischen Talenten, neben radikaler Innovation auch nachhaltige Geschäftsmodelle zu entwickeln. Mit der Förderung von Nachwuchsfachkräften in einer sich durch KI und Digitalisierung wandelnden Berufswelt, tragen wir dazu bei, die berufliche Bildung zu erneuern.

Unser Ziel ist es, wirksame Lösungen für aktuelle Herausforderungen wie Klimaschutz, Ressourcenknappheit oder den Fachkräftemangel zu ermöglichen.

Mit unternehmerischer Verantwortung entwickeln wir unsere Kapitalanlage kontinuierlich und zukunftsorientiert weiter.

Unsere Aktivitäten stützen wir auf den deutsch-amerikanischen Dialog; der Austausch zwischen unseren Kulturen schafft einen neuen Blick für Neuanfänge.