

Handout zur *MINT*Terdisziplinären Zusammenarbeit in Com^eMINT

Com^eMINT-Netzwerk



Ein Projektverbund von
lernen: digital
Kompetenzzentrum
MINT



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU



Gefördert vom:

Bundesministerium
für Bildung, Familie, Senioren,
Frauen und Jugend

Impressum

© 2025 Com^eMINT-Netzwerk

Herausgeber:innen:

Prof. Dr. Johanna Heitzer

RWTH Aachen

Schwerpunkte: MINT-fächerübergreifende Erkenntnisse und Austausch, BNE als Querschnittsthema

johanna.heitzer@matha.rwth-aachen.de

Prof. Dr. Sebastian Becker-Genschow

Universität zu Köln

Schwerpunkte: Digitalisierung und fächerübergreifende Beforschung zu Gelingensbedingungen

sebastian.becker-genschow@uni-koeln.de

Prof. Dr. Mathias Ropohl

Universität Duisburg-Essen

Schwerpunkt: Inklusion als Querschnittsthema

mathias.ropohl@uni-due.de

Unter Mitarbeit von:

Melanie Ansteeg (RWTH Aachen), **Marie Giesen** (RWTH Aachen), **Dr. Nadine Honke** (Universität zu Köln), **Nathalie Beck** (Universität Duisburg-Essen)

Beteiligte Institutionen

Bundesministerium für Bildung, Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMBFSFJ, ehemals BMFTR und BMBF), Kompetenzzentrum MINT des Kompetenzverbunds lernen:digital, Europäische Union - NextGenerationEU

PH Ludwigsburg, PH Weingarten, RWTH Aachen, Ruhr Universität Bochum, TU Dortmund, Universität Bielefeld, Universität Bremen, Universität Duisburg-Essen, Universität zu Köln, Universität Oldenburg, Universität Paderborn, Universität Tübingen, Universität Wuppertal, Universität Münster

Hinweis:

Finanziert durch die Europäische Union – NextGenerationEU und gefördert durch das Bundesministerium für Bildung, Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMBFSFJ). Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind ausschließlich die des Autors/der Autorin und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der Europäischen Union, Europäischen Kommission oder des Bundesministeriums für Bildung, Familie, Senioren, Frauen und Jugend wider. Weder Europäische Union, Europäische Kommission noch Bundesministerium für Bildung, Familie, Senioren, Frauen und Jugend können für sie verantwortlich gemacht werden.

Haftungsausschluss:

Die Inhalte dieses Handouts wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Trotz aller Bemühungen kann für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität keine Haftung übernommen werden.

Urheberrecht & Lizenzierung :

Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0):

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Sie dürfen das Werk vervielfältigen, verbreiten und bearbeiten, auch für kommerzielle Zwecke, sofern Sie die Urheber*innen und die Quelle nennen.

Bitte zitieren Sie dieses Handout wie folgt:

Heitzer, J., Becker-Genschow, S., Ropohl, M., Ansteeg, M., Giesen, M., Honke, N. & Beck, N. (2025).

Handout zur MINTerdisziplinären Zusammenarbeit in ComeMINT. <https://doi.org/10.18716/omp.41>



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
Teil I Grundlagen seitens der MINT-übergreifenden Koordination und Synthese	3
1. MINT: Ein Überblick	4
2. DiKoLAN (PLUS) und DiKoLAN ^{KI} : Orientierungsrahmen zu digitalisierungs- und KI-bezogenen Kompetenzen im MINT-Bereich.....	11
3. Wirksame MINT-Lehrkräftebildung	13
4. Adaptivität und Digitalität in der MINT-Lehrkräftebildung.....	17
5. MINT-Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)	20
6. Inklusion in der MINT-Lehrkräftebildung.....	26
7. Forschung zu Gelingensbedingungen von MINT-Lehrkräftefortbildungen	30
8. Forschungsdatenmanagement im Verbundprojekt: Planung und Umsetzung	33
Teil II Kurzdarstellungen und (Teil-)Ergebnisse der Com^eNets.....	35
9. Com ^e Net Mathematik.....	36
10. Com ^e Net Informatik	38
11. Com ^e Net Biologie.....	41
12. Com ^e Net Chemie	44
13. Com ^e Net Physik	46
14. Com ^e Net Sachunterricht.....	49
Teil III Interoperables Metaportal	51
15. Interoperables Metaportal zur Dissemination von OER für die MINT-Lehrkräftebildung.....	52
Abbildungsverzeichnis	56
Tabellenverzeichnis	56
Literaturverzeichnis	57

Vorwort

Dieses Handout ist entstanden im Rahmen des *Com^eMINT-Netzwerks*. Com^eMINT ist Teil der BMBFSFJ-Förderlinie „Kompetenzzentrum für digitales und digital gestütztes Unterrichten in Schule und Weiterbildung im MINT-Bereich“ und einer von sechs Projektverbünden des Kompetenzzentrums MINT (Förderkennzeichen 01JA23M06A-N). Das Kompetenzzentrum MINT ist Teil des Kompetenzverbundes lernen:digital¹, der sich aus vier Kompetenzzentren zusammensetzt: MINT, Sprachen/Gesellschaft/Wirtschaft, Musik/Kunst/Sport sowie Schulentwicklung. In diesem Kompetenzverbund fließt die Expertise aus rund 200 länderübergreifenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten zusammen. Ziel ist es, den Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis zu stärken und so die digitale Transformation von Schule und Lehrkräftebildung aktiv mitzugestalten. Alle Projektverbünde des Kompetenzzentrums MINT konzentrieren sich auf die forschungsbasierte Entwicklung von Fort- und Weiterbildungsangeboten, die Lehrkräfte dabei unterstützen, digitalen und digital gestützten Unterricht in den MINT-Fächern erfolgreich zu gestalten.

Den Kern des Com^eMINT-Netzwerks, als einen von sechs Projektverbünden des Kompetenzzentrums MINT, bilden sechs fachbezogene Kooperationsnetzwerke, sogenannte *Com^eNets*. Vertreten sind dabei die Fächer Mathematik, Informatik, Biologie, Chemie, Physik und Sachunterricht.

Ursprünglich entstand dieses Handout als internes Unterstützungsangebot der überfachlichen Koordination und Synthese für das gesamte Projektteam. Zielsetzung war insbesondere das Schaffen einer gemeinsamen Grundlage im Hinblick auf die fächerübergreifenden Aspekte, wie bspw. Inklusion, Bildung für nachhaltige Entwicklung, Adaptivität und Beforschung. Im weiteren Projektverlauf entwickelte sich das Handout zunehmend zu einem Gemeinschaftsprodukt in enger Zusammenarbeit mit Expert:innen aus allen Teilprojekten. Der jetzige Stand zeigt die Grundlage, Entwicklungen und (Teil-)Ergebnisse der projektinternen inhaltlichen Zusammenarbeit auf.

Zu Teil I – Grundlagen seitens der MINT-übergreifenden Koordination und Synthese für MINT^{er}disziplinäre Zusammenarbeit

Neben der allgemeinen Projektkoordination und den Com^eNets wurde besonderer Wert auf Aspekte gelegt, welche fächerübergreifend von Bedeutung sind. Um diese Themen projektweit zu koordinieren, wurde eine eigene Arbeitsgruppe für die MINT übergreifende Koordination und Synthese eingerichtet – auch „mittlerer Ring“ genannt. Im ersten Teil des Handouts liegt der Fokus auf den – zunächst durch den mittleren Ring initiierten und im späteren Verlauf mithilfe eines Großteils der Projektbeteiligten weiterentwickelten – Grundlagen der fächerübergreifenden Aspekte und Anliegen.

Zu Teil II - Kurzzusammenfassungen und (Teil-)Ergebnisse aus den Fächern

Hier stellen die einzelnen Com^eNets in fachspezifischen Abschnitten Ziele, Entwicklungsstände, Ergebnisse und ggf. Besonderheiten ihrer Umsetzungen vor.

¹ lernen:digital mit der Bundestransferstelle an der Universität Potsdam bündelt die Aktivitäten zahlreicher BMBF-geförderter Projektverbünde zu digitalisierungsbezogenen Lehrkräftefortbildungen wie etwa Com^eMINT: <https://lernen.digital>

Dabei wird u.a. nach Standorten differenziert und Rückbezug genommen auf die fächerübergreifenden Aspekte der gemeinsamen Grundlagen aus dem ersten Teil des Handouts. Entstanden ist der zweite Teil durch intensive Zusammenarbeit der Com^eNet-Beteiligten und den Akteur:innen des mittleren Rings.

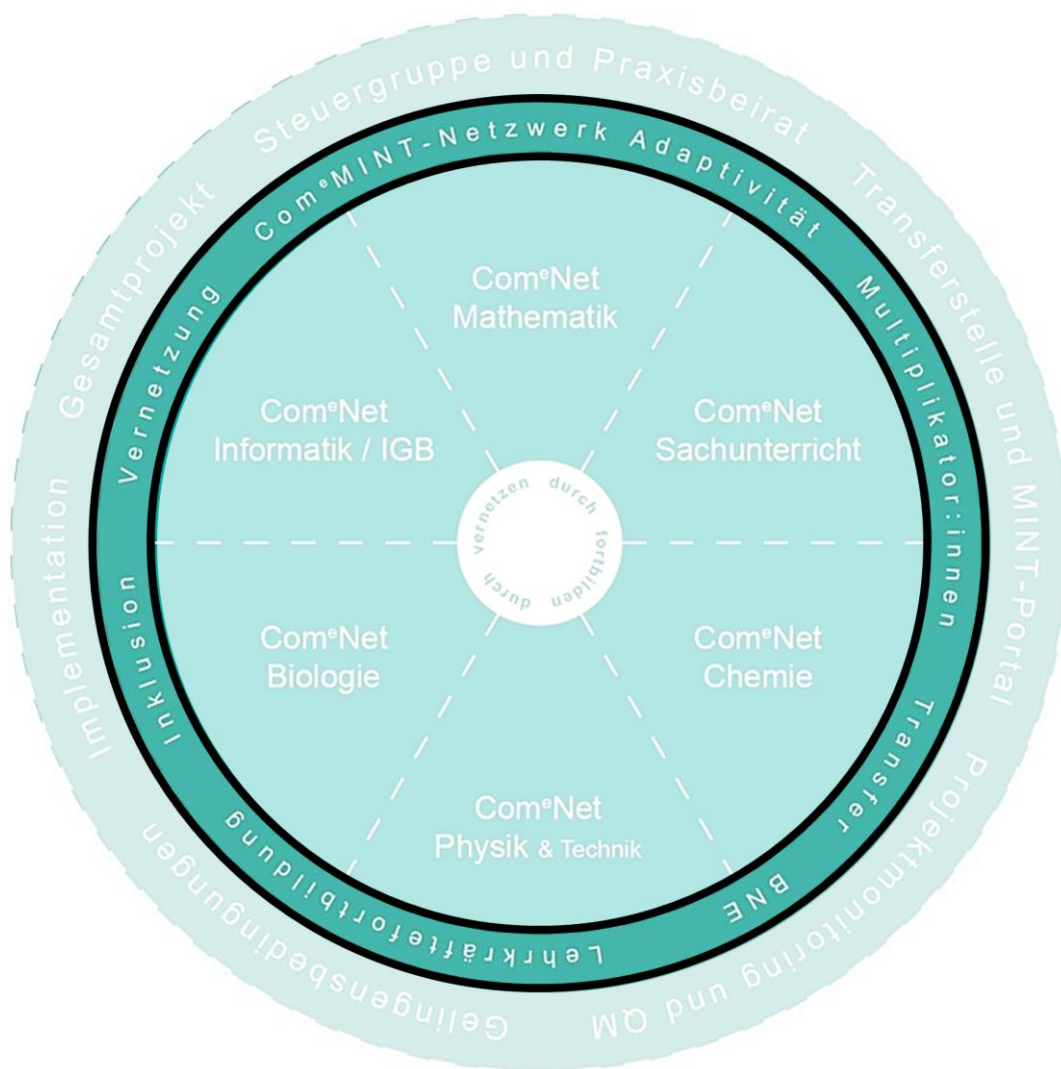
Zu Teil III – Interoperables Metaportal zur Dissemination von OER für die MINT-Lehrkräftebildung

Einen weiteren Beitrag zur Koordination und Entwicklung in Com^eMINT leistet das interoperable Metaportal, vorwiegend im Sinne der Dissemination. Das Metaportal ist als verbundübergreifendes Teilprojekt im äußeren Ring angesiedelt und ist zugleich Teil der Verbünde Com^eSports und Com^eArts. Die drei Com^e-Verbünde sind allesamt Nachfolgeprojekte des NRW-weiten Projekts Com^eIn (Communities of Practice NRW für eine Innovative Lehrerbildung, www.comein.nrw) aus einer vorausgegangenen Förderphase (Förderkennzeichen 01JA2033A-L).

Teil I

Grundlagen seitens der MINT-übergreifenden Koordination und Synthese für *MINT*erdisziplinäre Zusammenarbeit

Com^eMINT-Netzwerk



Ein Projektverbund von
lernen:digital
Kompetenzzentrum
MINT



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU



Gefördert vom:

**Bundesministerium
für Bildung, Familie, Senioren,
Frauen und Jugend**

1. MINT: Ein Überblick

Johanna Heitzer, Melanie Ansteeg, Marie Giesen, Jana May, Phil Merkschien

Das Akronym „MINT“ (s. Abb. 1) steht für die **fächerübergreifende Vereinigung** von Mathematik-, Informatik-, Naturwissenschafts- (typischerweise Biologie, Chemie, Physik, Geographie sowie Sachunterricht in der Primarstufe) und Technikunterricht. Die einzelnen MINT-Fächer werden im Folgenden näher beschrieben.



Abbildung 1: Akronym MINT

<https://dgs-ladenburg.de/leitideen/mint>

Mathematik:

Mathematik ist eine bedeutende

Kulturleistung, die über tausende von Jahren entwickelt wurde, um die Welt zu verstehen. Sie ermöglicht es, komplexe Systeme wie Wirtschaft und Gesellschaft zu erfassen und zu verstehen. Mathematik ist die Sprache der Naturwissenschaften und Technik und leistet einen wesentlichen Beitrag zur Gestaltung unserer modernen Welt. Der Mathematikunterricht hat das Ziel, bei Lernenden eine vertiefte **mathematische Grundbildung** zu erreichen, um sie auf zukünftige gesellschaftliche und individuelle Anforderungen vorzubereiten (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, 2019c, S. 8)

Informatik: Die Informatik ist in allen Bereichen der Gesellschaft präsent und hat einen großen Anteil am Entwicklungsstand unserer digitalisierten Welt. Eine **informatische Grundbildung** ist wichtig, um junge Menschen auf ein selbstbestimmtes Leben in einer digitalisierten Gesellschaft vorzubereiten. Lernende erwerben Fähigkeiten zur kritischen Analyse, Nutzung und Implementierung von Informationssystemen und setzen sich mit der menschengerechten Gestaltung und Sicherheit dieser Systeme auseinander (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, 2021, S. 8)

Naturwissenschaften: Naturwissenschaftliche Fächer tragen zur **vertieften naturwissenschaftlichen Grundbildung** bei. Diese beinhaltet das Verständnis von Phänomenen, die Sprache und Geschichte der Naturwissenschaften, die Kommunikation von Erkenntnissen sowie die Auseinandersetzung mit den Methoden und Grenzen der Erkenntnisgewinnung. Naturwissenschaftliche Bildung ermöglicht eine aktive Teilhabe an gesellschaftlicher Kommunikation und Meinungsbildung und ist ein wesentlicher Bestandteil der Allgemeinbildung (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, 2019a, 2019b, 2019d, S. 8).

Biologie: „Wissenschaft von der belebten Natur und den Gesetzmäßigkeiten im Ablauf des Lebens von Pflanze, Tier und Mensch“ (Dudenredaktion o.J., „Biologie“)

Chemie: „Naturwissenschaft, die die Eigenschaften, die Zusammensetzung und die Umwandlung der Stoffe und ihrer Verbindungen erforscht“ (Dudenredaktion o.J., „Chemie“)

Physik: „Naturwissenschaft, die besonders durch experimentelle Erforschung und messende Erfassung die Erscheinungen und Vorgänge, die Grundgesetze der Natur, die Erscheinungs- und Zustandsformen der unbelebten Materie sowie die Eigenschaften der Strahlungen und der Kraftfelder

untersucht“ (Dudenredaktion o.J., „Physik)

Geographie: „Wissenschaft von der Erde und ihrem Aufbau, von der Verteilung und Verknüpfung der verschiedensten Erscheinungen und Sachverhalte der Erdoberfläche, besonders hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen Erde und Mensch; Erdkunde“ (Dudenredaktion o.J., „Geographie“)

Sachunterricht: Unterrichtsfach der Primarstufe, welches die Bereiche Demokratie und Gesellschaft, Körper und Gesundheit, Natur und Umwelt, Raum und Mobilität, Technik, digitale Technologien und Arbeit sowie Zeit und Wandel umfasst (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, 2012, S. 182-183)

Technik: Technische Bildung ist ein wichtiger Bestandteil der Allgemeinbildung, da technische Errungenschaften und Innovationen unsere Gesellschaft prägen und Teile unserer kulturellen Identität bestimmen. Das Fach Technik hat die Aufgabe, Lernende zu befähigen, technische Herausforderungen selbstständig und zielorientiert zu lösen, Lösungen zu bewerten und diese weiterzuentwickeln. Das Ziel ist **die Vermittlung technischer Verfahren und Systeme**, um die Umwelt im privaten, beruflichen und öffentlichen Leben zu gestalten (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW, 2019e, S. 8).

Die einzelnen Disziplinen müssen (und sollen) mit ihren fächerspezifischen Kompetenzbereichen und Konzepten jedoch nicht nur für sich stehen, sondern lassen sich als eine gemeinsame Disziplin MINT denken. Ein Ansatz dafür wie eine MINT-Didaktik zu verstehen sein könnte, bieten die Überlegungen von Suhr (2022, s. Tabellen 1 und 2). Auf der Grundlage einer selbst durchgeführten qualitativen Analyse von Lehrwerken und Fachzeitschriften stellt er Vergleiche der Kompetenzbereiche sowie inhaltlicher Konzepte der Fächer Mathematik, Informatik, Physik, Chemie, Biologie, Geografie und Technik an. Im Hinblick auf den in Com^eMINT vertretenen Sachunterricht muss hierzu angemerkt werden, dass dieser nicht in der Gegenüberstellung aufzufinden ist. In den Tabellen werden also nicht alle Com^eNets abgebildet, die im Projekt vertreten sind.

In Tabelle 1 werden zunächst die Kompetenzbereiche der betrachteten Fächer gegenübergestellt. Dabei wird versucht, die Ähnlichkeit von Kompetenzen durch die Positionierung in der Tabelle auszuweisen, indem sie in derselben Zeile dargestellt werden und damit quer durch die Fächer zu verorten sind. Dadurch wird ersichtlich, welche Kompetenzbereiche in welchem Fach vertreten sind und welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen ihnen bestehen. So ist beispielsweise festzustellen, dass alle vier genannten Fachbereiche das Kommunizieren als Kompetenzbereich erwähnen. Es muss jedoch festgehalten werden, dass die Übersicht auch mit Einschränkungen behaftet ist. Unter anderem verwundert es, dass das Bewerten im Bereich der Mathematik als einziges nicht aufgenommen ist. Aufgrund des Veröffentlichungsdatums berücksichtigt die Tabelle außerdem nicht die neuen Bildungsstandards im Fach Mathematik (KMK, 2022), die leichte Veränderungen in der Beschreibung der prozessbezogenen Kompetenzen verzeichnen. Darüber hinaus stellt die Tabelle dem Lösen von Problemen aus der Mathematik in der Informatik keine Entsprechung gegenüber, wobei hier gleich mehrere Schritte genannt werden könnten (Formalisierung/Modellbildung, Implementierung, Ergebnisinterpretation, Validierung). Außerdem ist die Gegenüberstellung des Fachwissens aus dem Bereich den Naturwissenschaften mit dem Modellieren und Implementieren aus der Informatik fragwürdig. Das Fachwissen würde in der Informatik eher den in Tabelle 2 aufgeführten Inhaltsbereichen entsprechen.

Tabelle 1: Vergleich der Kompetenzbereiche der MINT-Fächer (Suhr 2022, S. 187)

KOMPETENZBEREICHE	Mathematik	Informatik	Naturwissenschaften	Technik
	Mathematische Darstellungen verwenden	Modellieren und Implementieren	Fachwissen	Technik verstehen
	Mit symbolischen, formalen u. technischen Elementen d. Mathematik umgehen	Strukturieren und Vernetzen		
	Kommunizieren	Kommunizieren und Kooperieren	Kommunikation	Technik kommunizieren
		Darstellen und Interpretieren		
	Mathematisch argumentieren	/	Erkenntnisgewinnung	/
	Mathematisch modellieren			
	/	Begründen und Bewerten	Bewertung	Technik bewerten
	Probleme mathematisch lösen	/	/	Technik konstruieren und herstellen
				Technik nutzen
	/	/	/	/

Weiterführende Literatur zu den Kompetenzbereichen der MINT-Fächer mit gegenseitigem Bezug der Domänen M, N und T:

- https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-63248-3_1
- https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-63248-3_2

Ansprechpartner: Mathias Ropohl

Tabelle 2: Vergleich der grundlegenden Konzepte der MINT-Fächer (Suhr 2022, S. 223)

Konzept-Cluster	Mathematik	Informatik	Naturwissenschaften	Technik
<i>Umwandlung</i>	Funktioneller Zusammenhang	Algorithmen	Stoff- und Energieumwandlung (Ch, Bi) Wechselwirkungen (Ph)	Funktionen, Prozesse, Wirkungen, Bedingungen
<i>Systemkonzept</i>	/	Informatiksysteme	System (Bi, Ph)	Systeme
<i>Struktur & Funktion</i>	Raum und Form, funktioneller Zusammenhang	/	Struktur und Funktion (Bi) Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (Ch)	Funktionen, Prozesse
<i>Energie</i>	/	/	Stoff- und Energieumwandlung (Bi, Ch) Energie (Ph)	Gegenstände
<i>Information</i>	Daten und Zufall, Messen	Information und Daten, Algorithmen	Informationsverarbeitung, Weitergabe und Ausprägung genetischer Information (Bi)	Gegenstände
<i>Aufbau von Materie</i>	/	/	Stoff-Teilchen-Beziehungen (Ch) Materie (Ph)	Gegenstände
<i>Mensch & Gesellschaft</i>	/	Informatik, Mensch und Gesellschaft	/	Wirkungen, Bedingungen
<i>Einzelkonzepte</i>	Zahl	Sprache und Automaten, Informatiksysteme	Entwicklung (Bi) Chemische Reaktionen (Ch)	Zweck, Prinzipien

In Tabelle 2 werden die einbezogenen Fächer auf inhaltsbezogener Ebene miteinander verglichen. Obwohl es zunächst so erscheinen könnte, dass die Fächer sehr

unterschiedliche inhaltliche Kompetenzen bespielen, können trotzdem übergreifende Leitideen wie „Struktur und Funktion“ ausgemacht werden. Suhr bezeichnet diese ähnlichen Inhaltsfelder als *Konzept-Cluster* und differenziert hiervon insgesamt acht, wobei das letzte Cluster als „Einzelkonzepte“ fachbereichsspezifische Inhalte abdeckt. Die Cluster „Umwandlung“ und „Information“ finden sich sogar in allen vier Fachbereichen wieder. Die Gegenüberstellung bleibt jedoch auch hier wieder nicht frei von kritischen Aspekten. Da ein Algorithmus nicht ohne Informationen und Daten arbeiten kann, sollte die Zelle des Clusters „Umwandlung“ bei der Informatik beispielsweise um den Inhaltsbereich „Information und Daten“ ergänzt werden. Darüber hinaus wird nicht ersichtlich, warum im Cluster „Struktur und Funktion“ im Gegensatz zum Fachbereich Informatik bei den Fachbereichen Mathematik und Technik dieselben Kategorien aufgeführt werden wie im Cluster „Umwandlung“. Ggf. müssten für die Informatik hier noch die Inhaltsfelder „Information und Daten“, „Algorithmen“ und „Sprache und Automaten“ hinzugenommen werden.

Auch wenn in den Gegenüberstellungen der Fächer einige Unstimmigkeiten zu verzeichnen sind, so machen sie dennoch deutlich, dass die verschiedenen Fachbereiche sehr wohl einige Überschneidungspunkte haben und diese durchaus zahlreicher sind, als es zunächst erscheinen mag. Insofern eignen sich die Übersichten zur Bewusstmachung der Gemeinsamkeiten der MINT-Fächer, was die Stärke des Zusammenschlusses der verschiedenen Fachbereiche im Projekt Com^eMINT unterstreicht. Denn die Gemeinsamkeiten sind eine Voraussetzung dafür, dass etwa der Austausch von Good-Practice Beispielen, wie er im Projekt vorgesehen ist, einen wesentlichen Beitrag zur Unterstützung der entwickelten Produkte beitragen kann.

MINT ist nicht nur im deutschsprachigen Raum ein bestehender Begriff, sondern ist international als STEM oder sogar STE(A)M bekannt.

STEM – Science, Technology, Engineering, Mathematics

- Das deutschsprachige Akronym MINT stimmt nicht vollständig mit dem englischsprachigen Akronym **STEM** (s. Abb. 2) überein: „**I**“ für **Informatik** kommt im englischen Begriff nicht vor, das deutsche „**T**“ für **Technik** wird (vermeintlich) durch zwei Begriffe abgebildet: „Technology“ und „Engineering“
- **Technology:** entspricht eher dem „engen Technikbegriff“, der „allein die gegenständliche Welt der Maschinen und Apparate meint“ (Ropohl, 2009, S. 30)
- **Engineering:** beschreibt „den Prozess, das menschliche Handeln, Entwerfen, Konstruieren, das Technische Experiment und das Lösen von Problemen“ (Suhr, 2022, S. 276).
- „Technology“ und „Engineering“ beinhalten in diesen Definitionen also weder einzeln noch gemeinsam das mehrperspektivische Verständnis des deutschen Begriffs `Technik`, es fehlen die humanen und sozialen Dimensionen“ (Suhr, 2022, S. 276)
- Bezogen auf das Projekt Com^eMINT werden die Fächer Informatik und Sachunterricht nicht explizit durch das Akronym abgebildet. Nichtsdestotrotz hängt es



Abbildung 2: Akronym STEM

https://de.freepik.com/vektoren-kostenlos/stem-logo-mit-symbolelementen-fuer-bildung-und-lernen_20746921.htm Bild von brgfx auf Freepik

aus unserer Sicht von der Lesart des Begriffs ab, sodass wir keines der im Projekt vertretenen Fächer ausgeschlossen sehen.

STE@M Education

- Bei **STE@M** wird durch das Hinzunehmen von „Arts“ (=Kunst-, Sprach-, Sport-, Kultur- sowie Sozialwissenschaften) zu den STEM-Fächern die fächerübergreifende Vereinigung der Schulfächer vervollständigt und sich einem holistischen, realitätsnahen und lebenslangen Lernen angenähert (Yakman, 2008, S. 18).
- Dabei müssen bei STE@M im Vergleich zum Vorgänger STEM keine neuen Fächer in den Lehrplan aufgenommen werden, sondern die vorhandenen Fächer sollen besser miteinander vernetzt und mithilfe eines integrierenden Ansatzes unterrichtet werden (Iacob & Popescu, 2021, S. 8).
- Im deutschsprachigen „MINT“ findet man die „Arts“ (Sozialwissenschaften, Geschichte) vorwiegend im Sachunterricht des Primarbereichs wieder, welcher zu den Naturwissenschaften gezählt werden kann.
- Auch in Deutschland gibt es einige Initiativen, welche das Ziel verfolgen, die MIN(K)T-Bildung (MINT + **K**ünste) bekannter zu machen. Dazu gehört u.a. das Projekt „**STEAMonEdu**“, welches Entscheidungsträger:innen der Bildungspolitik auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene involviert und die berufliche Qualifizierung von Pädagog:innen unterstützt.
 - Weitere Informationen zu STE@M, MIN(K)T und dem Projekt findet man hier: STEAMonEdu – The Art of STEAM Education (s. Abb. 3)

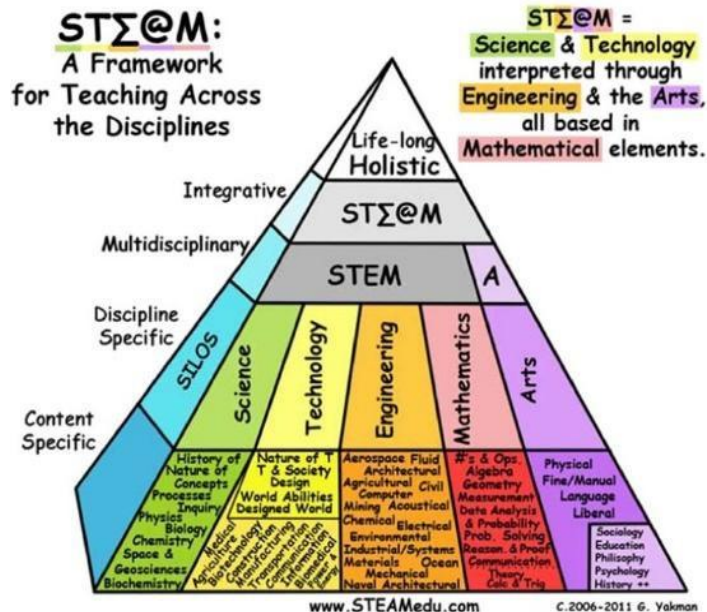


Abbildung 3: Akronym STE@M

<https://arbogasts.wordpress.com/2013/07/08/steam-a-framework-for-teaching-across-the-disciplines/>

STEM und BNE

- Eine Alternative zur Erweiterung durch die Künste bietet die Verbindung von STEM mit dem Leitgedanken einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) (s. Abbildung 4).
- In Abbildung 4 ist pyramidenförmig dargestellt, wie STEM und BNE zusammen aufgefasst werden können. Dabei ist der Leitgedanke BNE in der Spitze abgebildet.
- Um BNE zu realisieren, werden übergreifende Kompetenzen benötigt, wie beispielsweise handwerkliche Kompetenzen, Problemlösekompetenzen oder Kreativität.

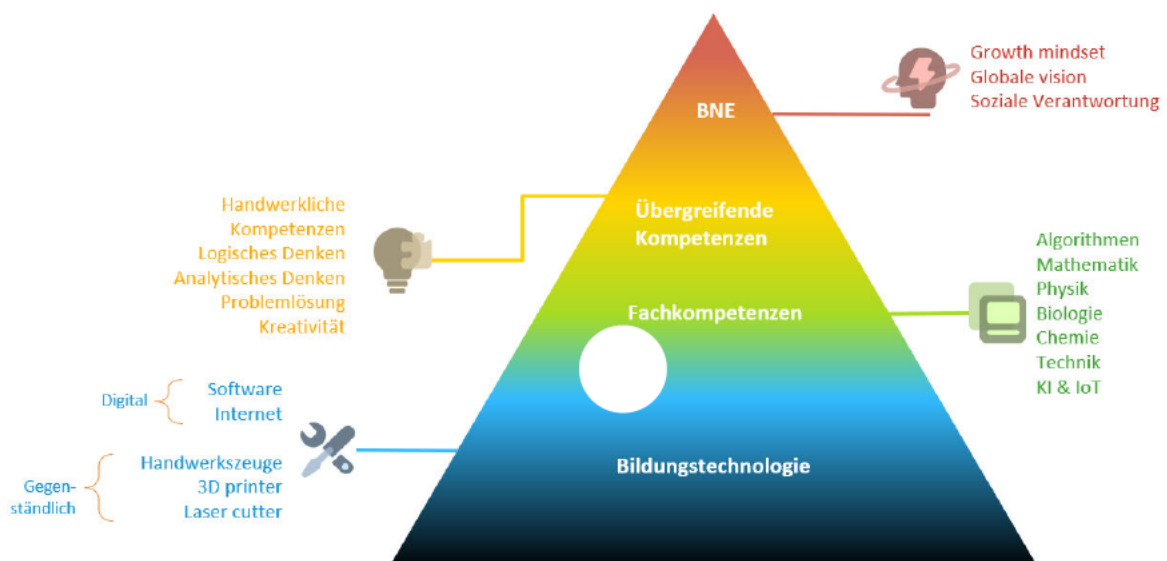


Abbildung 4: STEM und BNE. Ursprünglich erstellt von Yu HU (Firma Makeblock, nicht mehr online verfügbar) in Kooperation mit André Bresges (eigene Darstellung)

- Diese übergreifenden Kompetenzen stehen eng in Verbindung mit den Fachkompetenzen aus den einzelnen Bereichen, wie z. B. Physik oder Informatik.
- Die Basis der Pyramide wird durch die Bildungstechnologie gebildet. Hierbei handelt es sich um Gegenständliches, auf das die Fachkompetenzen angewendet werden können und auf das bei den weiteren Entwicklungen zurückgegriffen werden kann.
- Ein Vorteil der Darstellung in Abbildung 4 ist, dass sie zu den Begriffen innerhalb der Pyramide nur Beispiele benennt. So werden bei den Fachkompetenzen nur beispielhafte Fächer aufgeführt, sodass keine Fachrichtungen ausgeschlossen werden. Im Projekt Com^eMINT befürworten wir diese Lesart, da sonst das breite Spektrum an Fachvertretungen, das in unserem Projekt abgedeckt ist, nicht vertreten ist.

Literatur

Dudenredaktion (o. J.). „Biologie“. *Duden online*. <https://www.duden.de/node/22995/revision/1424628> [Abgerufen am 3. Juli 2023].

Dudenredaktion (o. J.). „Chemie“. *Duden online*. <https://www.duden.de/node/28165/revision/1383095> [Abgerufen am 3. Juli 2023].

Dudenredaktion (o. J.). „Geographie“. *Duden online*. <https://www.duden.de/node/55985/revision/1452467> [Abgerufen am 3. Juli 2023].

Dudenredaktion (o. J.). „Physik“. *Duden online*. <https://www.duden.de/node/111369/revision/1352070> [Abgerufen am 3. Juli 2023].

Iacob, M., & Popescu, C. (2021). *D7.2: STE(A)M education framework*. <https://steamonedu.eu/wp-content/uploads/2022/01/D7.2-STEAM-education-framework.pdf>

Kultusministerkonferenz (KMK). (2022). *Bildungsstandards für das Fach Mathematik. Primarbereich*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 23. Juni 2022. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2012). *Lehrplan für die Primarstufe in Nordrhein-Westfalen – Fach Sachunterricht*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/292/ps_lp_su_einzeldatei_2021_08_02.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019a). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Biologie*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/197/g9_bi_klp_%203413_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019b). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Chemie*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/198/g9_ch_klp_%203415_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019c). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Mathematik*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/195/g9_m_klp_3401_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019d). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Physik*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/208/g9_ph_klp_%203411_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019e). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Wahlpflichtfach Technik*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/214/g9_wptc_klp_%2034221_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2021). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I – Klasse 5 und 6 in Nordrhein-Westfalen – Informatik*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/260/si_kl5u6_if_klp_2021_07_01.pdf

Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. (3. Aufl.) Karlsruhe: Universitätsverlag. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000011529>

Suhr, D. (2022). *Konzepte einer MINT-Didaktik – Fachdidaktische Analyse und Versuch einer Synthese*. Budrich Academic Press GmbH.

Yakman, G. (2008). STΣ@M Education: An overview of creating a model of integrative education. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/327351326_STEAM_Education_an_overview_of_creating_a_model_of_integrative_education

2. DiKoLAN (PLUS) und DiKoLAN^{KI}: Orientierungsrahmen zu digitalisierungs- und KI-bezogenen Kompetenzen im MINT-Bereich

Sebastian Becker-Genschow, Nadine Honke

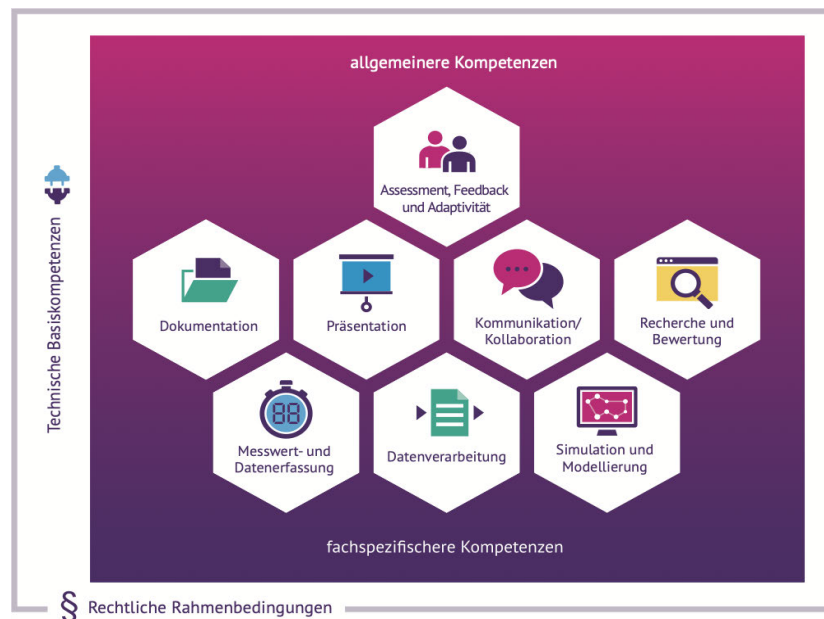


Abbildung 5: Struktur des Orientierungsrahmens DiKoLAN PLUS (entnommen aus Meier et al., 2024)

Im TPACK-Modell wird technologiebezogene professionelle Handlungskompetenz theoretisch durch vier Wissens- und Fähigkeitsbereiche beschrieben (Koehler et al., 2013). Die professionsspezifischen fachlichen (CK), fachdidaktischen (PCK) und pädagogischen (PK) Domänen werden dabei um einen technologiebezogenen Wissens- und Fähigkeitsbereich (TK) ergänzt. Dadurch hat unterrichtliches Handeln sowohl eine fachliche (TCK), eine pädagogische (TPK) als auch eine fachdidaktische Komponente (TPCK, genannt TPACK). Trotz des damit klar gegebenen Fachbezugs wurde das Modell bis dato nicht für die Fächer ausdifferenziert und somit auch keine fachspezifischen Kompetenzerwartungen formuliert. Mit dem von der AG Digitale Basiskompetenzen entwickelten Orientierungsrahmen DiKoLAN (Becker et al., 2020a, 2020b) wird diese Lücke für die naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer Biologie, Chemie und Physik geschlossen. DiKoLAN orientiert sich am TPACK-Modell und überträgt dessen Struktur auf fachspezifische Lehrkräfteprofessionalisierung. In insgesamt sieben Kompetenzbereichen werden sowohl fachdidaktische und -wissenschaftliche als auch bildungswissenschaftliche Kompetenzen aus Sicht der Digitalisierung aufgeführt und mittels dreier Kompetenzstufen (Nennen, Beschreiben und Anwenden) ausdifferenziert. Flankiert werden die Kompetenzbereiche von technischen Basiskompetenzen und Kenntnissen in Bezug auf die zu beachtenden rechtlichen Rahmenbedingungen. Ergänzend zu den sieben 2020 publizierten Kompetenzbereichen (Becker et al., 2020a) umfasst die aktuelle Version DiKoLAN PLUS einen achten Kompetenzbereich „Assessment, Feedback & Adaptivität“ (Meier et al., 2024; vgl. Abbildung 5). Basierend auf DiKoLAN PLUS wurde zudem durch Substitution, Augmentation und Neudefinition bzw. Deletion eine Erweiterung bezüglich KI-bezogener Kompetenzen entwickelt, der „Orientierungsrahmen digitale Kompetenzen für das Lehramt der Naturwissenschaften für

den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz“ (DiKoLAN^{KI}, Huwer et al., 2024).

Basierend auf diesen Strukturen lassen sich Kompetenzerwartungen unmittelbar mit zentralen didaktischen Fragestellungen von Unterrichtsplanungen verbinden, wodurch DiKoLAN (PLUS) für digitalisierungsbezogene Kompetenzen und DiKoLAN^{KI} für KI-bezogene Kompetenzen als strukturgebende Elemente einer kumulativen Kompetenzentwicklung in der naturwissenschaftlichen Lehrkräftebildung sowie zur Assessment-Entwicklung eingesetzt werden können.

Literatur

Becker, S., Meßinger-Koppelt, J., & Thyssen, C. (2020a). *Digitale Basiskompetenzen - Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. Joachim Herz Stiftung.

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C., & von Kotzebue, L. (2020b). 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.

https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redaktion/Projekte/Naturwissenschaften/2020_Nawi_Digitale_Basiskompetenzen_web.pdf

Huwer, J., Becker-Genschow, S., Thyssen, C., Thoms, L.-J., von 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 Huwer, J., Becker-Genschow, S., Thyssen, C., Thoms, L.-J., Finger, A., von Kotzebue, L., Kremser, E., Meier, M., & Bruckermann, T. (Hrsg.), *Kompetenzen für den Unterricht mit und über Künstliche Intelligenz – Perspektiven, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 4–59). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830999317>

Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19.
<https://doi.org/10.1177/002205741319300303>

Meier, M., Thyssen, C., Becker-Genschow, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Thoms, L.-J., & von Kotzebue, L. (2024). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS. In C. Thyssen, M. Meier, S. Becker-Genschow, T. Bruckermann, A. Finger, J. Huwer, E. Kremser, L.-J. Thoms & L. von Kotzebue (Hrsg.), *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS*. Joachim Herz Stiftung.

3. Wirksame MINT-Lehrkräftebildung

Johanna Heitzer, Melanie Ansteeg, Marie Giesen, Phil Merkschien

In Com^eMINT entstehen prototypische, fachlich fundierte und digitalisierungsbezogene Professionalisierungskonzepte für MINT-Lehrkräfte und Multiplikator:innen. Die Entwicklung dieser Konzepte soll dabei evidenzgestützte Kriterien lernwirksamer Fortbildung berücksichtigen, um einen möglichst großen Fortbildungserfolg zu erzielen.

Die Wirksamkeit einer Lehrkräftefortbildung hängt – unabhängig davon, welches Fach sie adressiert – von zahlreichen Faktoren ab. Diese Einflussfaktoren lassen sich in verschiedene Bereiche einteilen, die sich teilweise auch gegenseitig bedingen. Lipowsky und Rzejak (2021b) haben dazu die folgende Übersicht erstellt:

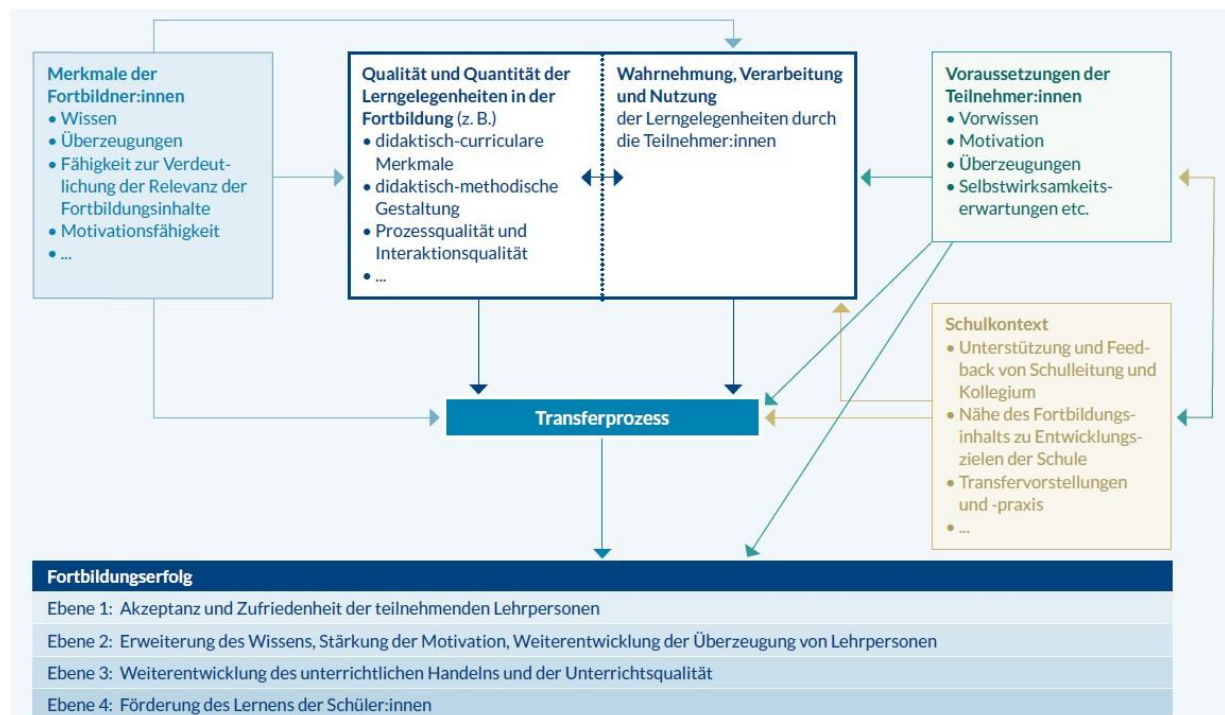


Abbildung 6: Angebots-Nutzungs-Modell zu Einflussfaktoren im Kontext von Lehrkräftefortbildungen inkl. Ebenen zur Bestimmung der Reichweite (Lipowski & Rzejak, 2021b)

Im Mittelpunkt der Übersicht stehen die Transferprozesse, die es den Teilnehmenden einer Fortbildung ermöglichen, das Gelernte in das eigene Handeln zu integrieren. Sie werden zu großen Teilen bedingt durch die Qualität und Quantität der Lerngelegenheiten der Fortbildung selbst, also beispielsweise ihre didaktisch-methodische Gestaltung. Darüber hinaus kommt es auch darauf an, wie die Teilnehmenden diese Lerngelegenheiten wahrnehmen, nutzen und verarbeiten. Dabei spielen die Voraussetzungen der Teilnehmenden eine große Rolle. Hierzu zählen ihre Motivation, ihr Vorwissen oder ihre Überzeugungen. Auf der anderen Seite haben auch die Merkmale der Fortbildenden einen Einfluss, etwa ihre eigenen Fähigkeiten in dem zu schulenden Bereich oder ihre Motivationsfähigkeit.

Und schließlich hängt die Wirksamkeit einer Fortbildung von dem jeweiligen Schulkontext der Teilnehmenden ab. Es ist beispielsweise entscheidend, inwiefern die Teilnehmenden bei ihrem Transfer von der Schulleitung und dem Kollegium unterstützt werden.

Um den Erfolg einer Fortbildung einzuschätzen, unterscheiden Lipowsky und

Rzejak (2021a) vier verschiedene Ebenen (s. Abbildung 6 unten). Die ersten beiden Ebenen rücken die Lehrperson in den Fokus. Hierbei spielen einerseits ihre Akzeptanz und Zufriedenheit in Bezug auf die Fortbildung eine Rolle, andererseits geht es um die Veränderungen in Bezug auf ihr Wissen, ihre Motivation oder ihre Überzeugungen. Die dritte Ebene befasst sich stärker mit dem Transfer des Gelernten in der Praxis, hierbei werden die Einflüsse auf die Unterrichtsqualität in den Blick genommen. Schließlich bildet die vierte Ebene ab, wie sich die Fortbildung auf das Lernen der Schüler:innen auswirkt.

Um Fortbildungen zu entwickeln, die auf den unterschiedlichen Ebenen wirksam sind, empfiehlt sich die Orientierung an evidenzgestützten Kriterien, die den Fortbildungserfolg befördern. Solche Kriterien sind nicht zwingend fachspezifisch, sondern nehmen allgemeine Elemente wirksamer Fortbildungen in den Blick. So führt Lipowsky (2023) die folgenden Punkte als wirksamkeitsfördernde Merkmale von Fortbildungen an:

Elemente wirksamer unterrichtsbezogener Fortbildungen (Lipowsky, 2023):

- Orientierung an Erkenntnissen der Lehr-/Lernforschung. Einbeziehung der **Tiefenmerkmale** von Unterricht (wie z. B. kognitive Aktivierung)
- Behandlung von **Kernpraktiken** von Lehrkräften (wie z. B. verständliches Erklären)
- Enge inhaltliche und fachliche **Fokussierung**
- Verknüpfung von **Input-, Erprobungs- und Reflexionsphasen** (erfordert Fortbildungsreihen anstelle von One-Shot-Fortbildungen)
- Demonstration der erwünschten Praktiken durch die Leitung sowie Einbringen von **Feedback** und **Coaching-Elementen**
- Angemessene **Dauer** der Fortbildung (so lang wie nötig, so kurz wie möglich)
- Sichtbarmachen von **Relevanz** und **Erfolg** der vermittelten Praktiken; konstruktiver Umgang mit Widerstand und Aufbrechen von Routinen
- Stärkung der unterrichtsbezogenen **Kooperation** der Lehrpersonen

Die aufgestellten Gelingensbedingungen bieten eine gute Grundlage, um Gestaltungsprinzipien für Lehrkräftefortbildungen herauszuarbeiten. So kann die Bedingung einer Stärkung der unterrichtsbezogenen Kooperation von Lehrpersonen beispielsweise darin münden, dass in der Fortbildung Kooperationen konsequent angeregt werden. Barzel und Selter (2015) und Rösike et al. (2016) haben auf Grundlage eines umfassenden Reviews sechs Gestaltungsprinzipien für Fortbildungen abgeleitet. Sie sind in Abbildung 7 dargestellt.



Abbildung 7: Gestaltungsprinzipien für Fortbildungen (Barzel & Selter, 2015; Rösike et al., 2016)

Es ist zu beachten, dass weder die Gelingensbedingungen noch die Gestaltungsprinzipien fachspezifisch ausgeschärft sind. Bei der inhaltlichen Gestaltung einer Fortbildung sind also die fachspezifischen Besonderheiten zu berücksichtigen. Auf die Notwendigkeit zur Beforschung der Gelingensbedingungen und der Wirksamkeit von MINT-Lehrkräftefortbildungen wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

Beforschung der Gelingensbedingungen und Wirksamkeit speziell für die MINT-Fächer

Spezielle Merkmale der MINT-Fächer wie die Bedeutung des Experiments als Erkenntnismethode, die Rolle streng-logischen Schließens oder die axiomatische Fundierung prägen auch Lehrkräftebildung und Unterricht im MINT-Bereich und erfordern besondere Berücksichtigung. Zwar bieten Existenz und Arbeit des IPN eine solide Basis hinsichtlich der Naturwissenschaftspädagogik und im Fall Mathematik liegen dank des DZLM umfangreiche Ergebnisse mit dem speziellen Fokus Lehrkräftebildung vor; davon abgesehen jedoch bezieht sich der Erkenntnisstand fast ausschließlich auf die fachunabhängige, allgemeine Ebene. Die systematische Beforschung der MINT-Lehrkräftebildung in diesem Projekt (vgl. Abschnitt 6) stellt somit ein Desiderat dar, welches an den hier dargestellten Forschungsstand auf überfachlicher Ebene anknüpft und Vorarbeiten u.a. aus der Mathematik (DZLM) oder der CoPMINT des Projekts Com^eIn berücksichtigt.

Literatur

Barzel, B., & Selter, C. (2015): Die DZLM-Gestaltungsprinzipien für Fortbildungen. *JMD: Special Issue. Lehrerfortbildung/Multiplikatoren Mathematik – Konzepte und Wirkungsforschung*, 36(2), <https://doi.org/10.1007/s13138-015-0076-y>

Lipowsky, F. (2023). Die acht Punkte guter Lehrerfortbildung. *Table Media*. <https://table.media/bildung/standpunkt/die-acht-punkte-guter-lehrerfortbildung/> [Abgerufen am 13. April 2023].

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021b). *Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten: Ein praxis-orientierter und forschungsgestützter Leitfaden*. Bertelsmann Stiftung. <https://doi.org/10.11586/2020080>, https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/user_upload/Fortbildungen_fuer_Lehrpersonen_wirksam_gestalten.pdf

Rösike, K.-A., Prediger, S., & Barzel, B. (2016). *DZLM-Gestaltungsprinzipien für Fortbildungen von Lehrpersonen. Eine Handreichung zur Konkretisierung der Prinzipien*. Deutsches Zentrum für Lehrerbildung Mathematik. https://dzlm.de/files/uploads/DZLM-Gestaltungsprinzipien-Konkretisierung_161201_0.pdf

Weitere Literaturempfehlungen

Cramer, C., Johannmeyer, K., & Drahten, M. (Hrsg.). (2019). *Fortbildungen von Lehrerinnen und Lehrern in Baden-Württemberg*. GO Druck Media. <https://doi.org/10.25656/01:16567>

Groot-Wilken, B., & Koerber, R. (Hrsg.). (2019). *Nachhaltige Professionalisierung für Lehrerinnen und Lehrer. Ideen, Entwicklungen, Konzepte. Beiträge zur Schulentwicklung*. QUA-LIS NRW. <https://doi.org/10.3278/6004746w>

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021a). Welche Art von Fortbildung wirkt? In B. Jungkamp, & M. Pfafferott (Hrsg.), *Was Lehrkräfte lernen müssen. Bedarfe der Lehrkräftebildung in Deutschland*. Friedrich Ebert Stiftung. <https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/18117.pdf>

4. Adaptivität und Digitalität in der MINT-Lehrkräftebildung

Johanna Heitzer, Melanie Ansteeg, Marie Giesen, Phil Merkschien

Adaptive Lehrkompetenz (Rey et al., 2018)

Während Lernende gehalten sind, sich an verschiedene Unterrichtsformen anzupassen, sollten Lehrpersonen im Gegenzug den Unterricht ebenfalls in seinen Inhalten und Formen an die Bedürfnisse der Lernenden anpassen. Mit adaptiver Lehrkompetenz ist damit die Fähigkeit einer Lehrperson bezeichnet, ihren Unterricht so auf die individuellen Voraussetzungen der Lerngruppe auszurichten und während des Unterrichts laufend anzupassen, sodass für möglichst viele Lernende günstige Bedingungen für das Erreichen der Lernziele entstehen.

Diese Fähigkeit wird durch die Dispositionen der Lehrperson, bspw. im affektiv-motivationalen oder aber im fachlichen, fachdidaktischen bzw. pädagogischen Bereich, sowie durch ihre situationsspezifischen Fähigkeiten beeinflusst. Die so entstehende adaptive Lehrkompetenz bedingt den Prozess und Output des Lehrens und Lernens, wie in Abbildung 8 schematisch dargestellt wird.

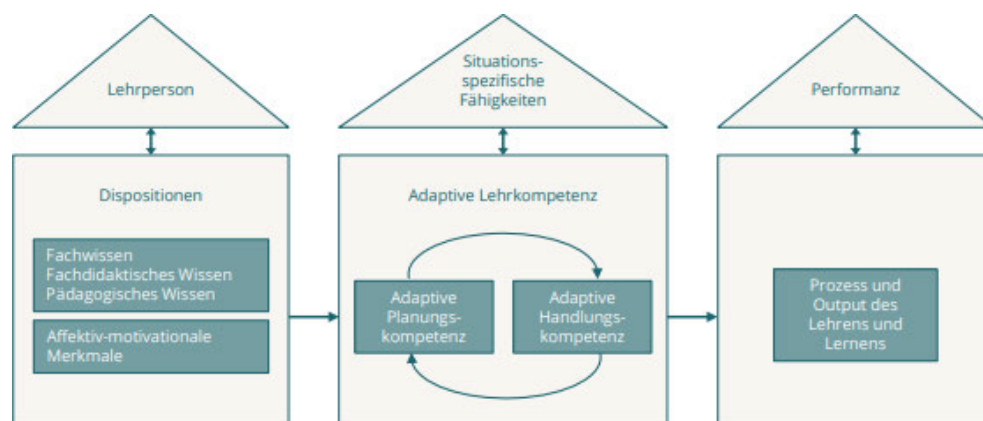


Abbildung 8: Schematisches Kompetenzmodell der adaptiven Lehrkompetenz im Umgang mit Heterogenität (Rey et al. 2018, aufbauend auf Blömeke, Gustafsson und Shavelson, 2015)

Adaptivität in der Lehrkräftefortbildung (Lipowsky & Rzejak, 2021b)

Die Dauer einer Fortbildung sollte stets vor dem Hintergrund des Ziels der Fortbildung und der Voraussetzungen der Teilnehmenden bestimmt werden. Ausgehend von den Voraussetzungen der Lehrpersonen könnte der zeitliche Umfang einer Fortbildung variieren. Wenn Lehrpersonen bereits umfangreiches Vorwissen und viele Erfahrungen zu einem Thema mitbringen, kann die Fortbildung ggf. kürzer ausfallen als bei Lehrpersonen mit geringen Vorkenntnissen und -erfahrungen. Digital gestützte Fortbildungen mit asynchronen Phasen können hier eine geeignete Option sein, da die Lehrkräfte dabei die Möglichkeit haben, die Fortbildungsinhalte in ihrem eigenen Tempo zu bearbeiten. Ein adaptiv auf die Bedürfnisse der Lehrpersonen zugeschnittenes Fortbildungsangebot setzt allerdings voraus, dass eine entsprechende Erhebung der Voraussetzungen der interessierten Lehrpersonen im Vorfeld erhoben werden.

Pädagogischer Doppeldecker (Wahl, 2002) als Basis von Adaptivität

"Eine der wirksamsten Formen ist der ‚pädagogische Doppeldecker‘ (Geissler,

1985). Damit ist gemeint, dass die Lernenden genau mit jenen Methoden unterrichtet werden, die sie später als Lehrende einsetzen sollen. Der ‚pädagogische Doppeldecker‘ hat die Funktion, die Subjektiven Theorien zum didaktisch-metho- dischen Handeln bewusst zu machen.“ Wenn es zum Beispiel ein Ziel ist, Informa- tionen zu einem digitalen Lernmedium zu vermitteln, so arbeiten die Lehrkräfte in der Fortbildung an diesem Medium. Sie erleben die Stärken und Grenzen des Mediums, indem sie diese selbst handelnd erfahren.

Digitalisierung und Lehrkräftefortbildung – Gelingensbedingungen (Arnold, 2020)

Im Rahmen einer von Arnold durchgeführten Studie, unter Einsatz qualitativer sowie quantitativer Methoden, wurden unter anderem folgende zwölf digitalisie- rungsbezogene Gelingensbedingungen für Lehrkräftefortbildungen herauskristalli- siert:

1. Fortbildungen zum Einsatz digitaler Medien erlauben einen niedrighschwelligen Einstieg mit geringen Hürden.
2. Der didaktisch sinnvolle Einsatz digitaler Medien für das Lehren und Lernen wird aufgezeigt.
3. Methoden und Medien für den Unterricht werden selbst ausprobiert und der Einsatz wird geübt.
4. Es werden fertige Unterrichtsentwürfe und Materialien zur Verfügung gestellt, die direkt für den Unterricht genutzt oder angepasst werden können.
5. Die Teilnehmenden erarbeiten umsetzbare Ideen, Entwürfe und Materialien für den eigenen Unterricht.
6. Die Materialien der Fortbildung werden digital zur Verfügung gestellt (z.B. Fo- lien, Handouts).
7. Geräte und Programme, die in der Fortbildung genutzt werden, sind auch an der Schule verfügbar.
8. Digitale Werkzeuge (z.B. Programme) müssen unkompliziert und kostenfrei für Lehrer:innen und Schüler:innen verfügbar sein.
9. Digitale Werkzeuge sind zentral und online verfügbar (z.B. Programme, digitale Bücher).
10. Nach einer Fortbildung steht den Lehrkräften ein schulnaher technischer Sup- port zur Verfügung.
11. Teilnehmende vernetzen sich für thematischen Austausch und Zusammenarbeit auch nach der Veranstaltung (über eine staatliche Online-Plattform).
12. Es stehen Ressourcen zur Verfügung, Fortbildungsinhalte in der Schule zu er- proben und umzusetzen (Zeit, Material usw.).

In seiner Studie hat Arnold außerdem untersucht, welche Faktoren zu einer hohen Zufriedenheit von Lehrkräften in Bezug auf Lehrkräftefortbildungen führen, und hat diese durch neun „Anforderungen an die Lehrkräftefortbildungen“ (Abbildung 9) beschrieben. Zum Teil ist zwischen den zwölf Gelingensbedingungen und den neun Anforderungen sowohl Deckungsgleichheit als auch gegenseitige Ergänzung der Begrifflichkeiten zu erkennen.

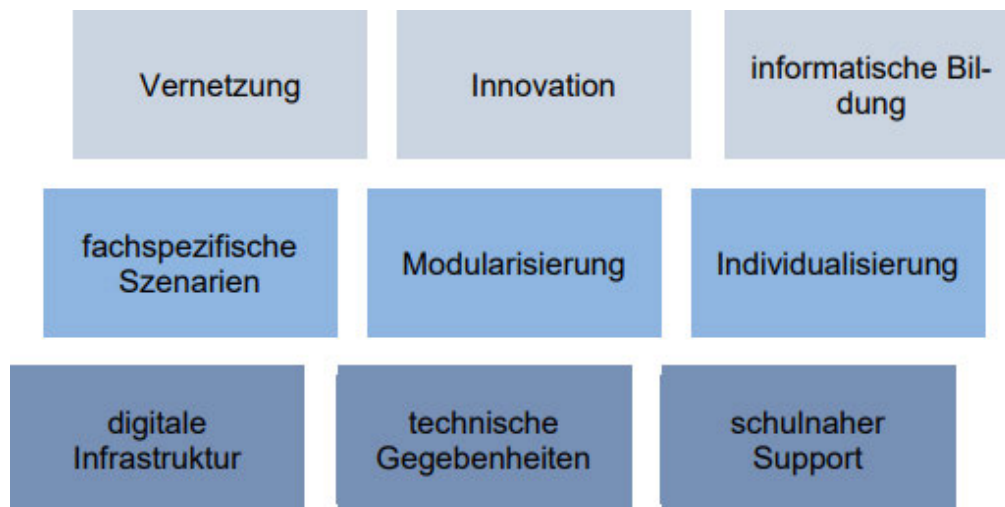


Abbildung 9: Übersicht der Anforderungen an die Lehrkräftefortbildung (Arnold, 2020)

Adaptivität und Digitalisierung speziell für die MINT-Fächer und das Projektziel

Adaptivität ist ein im Kontext des programmierten Lernens geprägter Begriff und bezeichnet die automatische Modifikation des Programmverhaltens im Hinblick auf die individuellen Nutzerbedürfnisse. Wie bei der Digitalisierung existieren enge Bezüge zur Informatik sowie besondere Relevanz und Nähe zu den MNT-Fächern. Im Projekt wird es neben der adaptiven Kompetenz aller Beteiligten um die Adaptierbarkeit der Bildungskonzepte für Multiplikator:innen gehen. Dafür bildet der verzweigte Ansatz programmierten Lernens nach Crowder (zitiert nach Lockee, 2004) einen guten Hintergrund, Voraussetzungsanalyse und Modularisierung wichtiger Merkmale.

Literatur

Arnold, P. (2020). *Digitalisierung und Lehrkräftefortbildung: Gelingensbedingungen und Strukturen von Fortbildungen zum Einsatz digitaler und interaktiver Medien in der Schule*. Logos.

Blömeke, S., Gustafsson, J.-E., & Shavelson, R. J. (2015). Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift für Psychologie*, 223(1), 3–13. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194>

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021b). *Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten: Ein praxisorientierter und forschungsgestützter Leitfaden*. Bertelsmann Stiftung. <https://doi.org/10.11586/2020080>, https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/user_upload/Fortbildungen_fuer_Lehrpersonen_wirksam_gestalten.pdf

Lockee, B., Moore D., & Burton, J. (2004). Foundations of Programmed Instruction. In D.H. Jonassen (Hrsg.), *Handbook of Research on Educational Communication and Technology* (2. Aufl., S. 545 - 569). Lawrence Erlbaum Associates.

Rey, T., Lohse-Bossenz, H., Wacker, A., & Heyl, V. (2018). Adaptive Planungskompetenz bei angehenden Lehrkräften in der zweiten Phase der Lehrerbildung. Befunde einer Pilotierungsstudie aus Baden-Württemberg. *heiEDUCATION Journal* 1/2, 127–150. <https://doi.org/10.17885/heiup.heied.2018.1-2.23829>

Wahl, D. (2002). Mit Training vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln? *Zeitschrift für Pädagogik*, 48(2), 227–241. <https://doi.org/10.25656/01:3831>

5. MINT-Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)

Johanna Heitzer, Marie Giesen, Jana May

Nach Vare und Scott (2007) und Getzin und Singer-Brodowski (2016) gibt es zwei verschiedene Herangehensweisen an BNE. Der *instrumentelle* Ansatz setzt den Fokus auf das Fördern von Handeln entlang normativer Nachhaltigkeitsziele (wie bspw. den SDGs, s. Abbildung 10). Laut Vare und Scott bedarf es jedoch zusätzlich eines sogenannten *emanzipatorischen* Ansatzes von BNE, bei welchem nachhaltige Entwicklung als sich ständig ändernder Prozess betrachtet wird und sowohl eine Diskussion über Widersprüche nachhaltiger Lebensweisen als auch ein kritisches Denken zu Expertenmeinungen initiiert werden.

Getzin und Singer-Brodowski unterscheiden demnach eine Bildung *für* (instrumentell) und eine Bildung *als* (emanzipatorisch) nachhaltige Entwicklung, welche sich einerseits gegenüberstehen, andererseits aber auch gegenseitig ergänzen und gemeinsam eine erfolgreiche BNE ermöglichen.

Was ist BNE? (BMBF, 2023)

„BNE“ ist die Abkürzung von Bildung für nachhaltige Entwicklung. Gemeint ist eine Bildung, die Menschen zu zukunftsfähigem Denken und Handeln befähigt. Sie ermöglicht jedem Einzelnen, die Auswirkungen des eigenen Handelns auf die Welt zu verstehen. Dabei stehen verschiedene Fragen im Vordergrund. Etwa: Wie beeinflussen meine Entscheidungen Menschen nachfolgender Generationen in meiner Kommune oder in anderen Erdteilen? Welche Auswirkungen hat es beispielsweise, wie ich konsumiere, welche Fortbewegungsmittel ich nutze oder welche und wie viel Energie ich verbrauche? Welche globalen Mechanismen führen zu Konflikten, Terror und Flucht? Oder was können wir gegen Armut tun?“

BNE bildet den Wertekern vom Bildungsziel 4 der 17 Nachhaltigkeitsziele der UN und kann einen wichtigen Beitrag zur Erreichung aller 17 Ziele leisten.



Abbildung 10: Die 17 Nachhaltigkeitsziele (UN, 2015)

Vor welche Aufgaben und Herausforderungen stellt das die MINT-Fächer? (BNE NRW, 2023)

- Unterstützung des Verständnisses für BNE spezifische Herausforderungen durch Erkenntnisse aus den MINT-Wissenschaften
- Fakten- und datenbasierte Bewertung von Handlungsoptionen und Instrumenten im privaten und gesellschaftlichen Bereich zur Bewältigung BNE spezifischer Herausforderungen durch Erkenntnisse der MINT-Wissenschaften
- Vorbereitung auf öffentliche Diskussion
- Beitrag zur Vermittlung von BNE-Kompetenzen für Multiplikator:innen, Lehrende und Lernende

Um diesen Herausforderungen zu begegnen und die Verfolgung der Nachhaltigkeitsziele zu befördern, werden gewisse Fähigkeiten bzw. Kompetenzen benötigt. Ein emanzipatorisch einzuordnender Ansatz dazu bietet das seit 2023 laufende internationale Projekt „Inner Development Goals“ (IDGs). Die IDGs intendieren eine Ergänzung zu den SDGs in der Form, dass Fähigkeiten entwickelt werden, welche es ermöglichen mit den immer komplexer werdenden Zusammenhängen nachhaltiger Entwicklung umzugehen. Die Ziele sind in fünf Bereiche unterteilt, wie Abbildung 11 darstellt.



Abbildung 11: Inner Development Goals (<https://innerdevelopmentgoals.org/about/resources/>)

Weitere, bereits stärker etablierte BNE-bezogene Kompetenzkataloge werden bspw. durch die zwölf Teilkompetenzen der *Gestaltungskompetenz* nach de Haan (2008), den Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung (Schreiber & Siege, 2016), das Projekt *A Rounder Sense of Purpose* (<https://aroundersenseofpurpose.eu/>) oder auch durch länderspezifische bildungspolitische Papiere wie die Leitlinie BNE NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019f) angeboten.

Um BNE-bezogene Kompetenzen bei Lernenden zu fördern, müssen Lehrende bereits über diese verfügen und außerdem erweiterte Kompetenzen darüber hinaus besitzen. Anselm et al. (2022) haben bspw. die von de Haan (2008) formulierte

Gestaltungskompetenz um Kompetenzen für Lehrende im Rahmen eines Projekts erweitert. Zusätzlich zu den drei von de Haan eingeführten Kompetenzbereichen *Sachkompetenz*, *Sozialkompetenz* und *Selbstkompetenz* sind nach Anselm für Lehrende das *Diskursethische Bewusstsein*, die *Vermittlungskompetenz* und *Fachlichkeit* sowie *Persönlichkeit* und *Kongruenz* zur adäquaten Förderung einer BNE notwendig (s. Abbildung 12). Ein ähnliches Verständnis der Verzahnung von BNE-bezogenen Lernenden- und Lehrenden-Kompetenzen wird im Projekt *A Rounder Sense of Purpose* zugrunde gelegt.

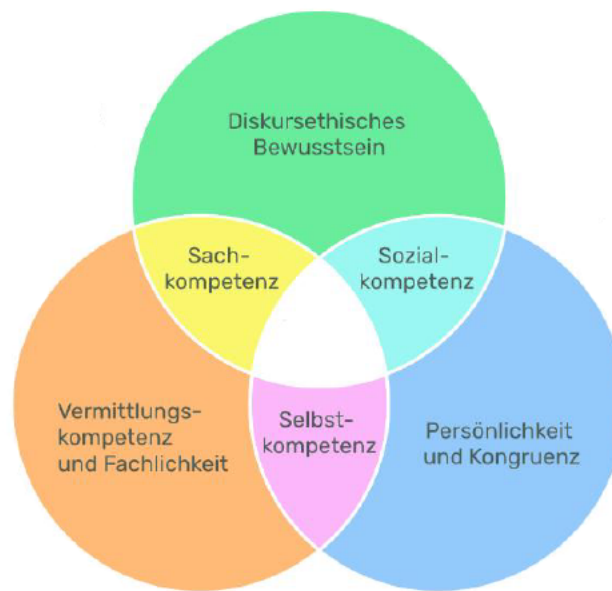


Abbildung 12: BNE-Kompetenzen für Lernende und Lehrende (Anselm et al., 2022)
<https://www.bne-box.lehrerbildung-at-lmu.mzl.lmu.de/wp-content/uploads/2022/07/BNE-Kompetenzen.pdf>

Während des Projektverlaufs entstand ein sogenanntes *Verortungsinstrument zur BNE-Berücksichtigung in Com^eMINT*, in welchem die oben beschriebenen Konzepte rund um das Thema BNE aufgeführt sind (Übersicht, s. Abbildung 13). Es wurde unter anderem aus dem Anliegen heraus entwickelt, die Kommunikation zum Thema BNE innerhalb des Projekts zu vereinheitlichen, und ist zunächst für die interne Nutzung konzipiert. Neben dem reinen Erkunden der Konzepte dient es auch dazu, eigene Aktivitäten in übergeordneten Konzepten zu verorten. Auch bei der Formulierung von BNE-spezifischen Lernzielen für Fortbildungsmodule können insbesondere die Kompetenzkataloge eine Grundlage sein.

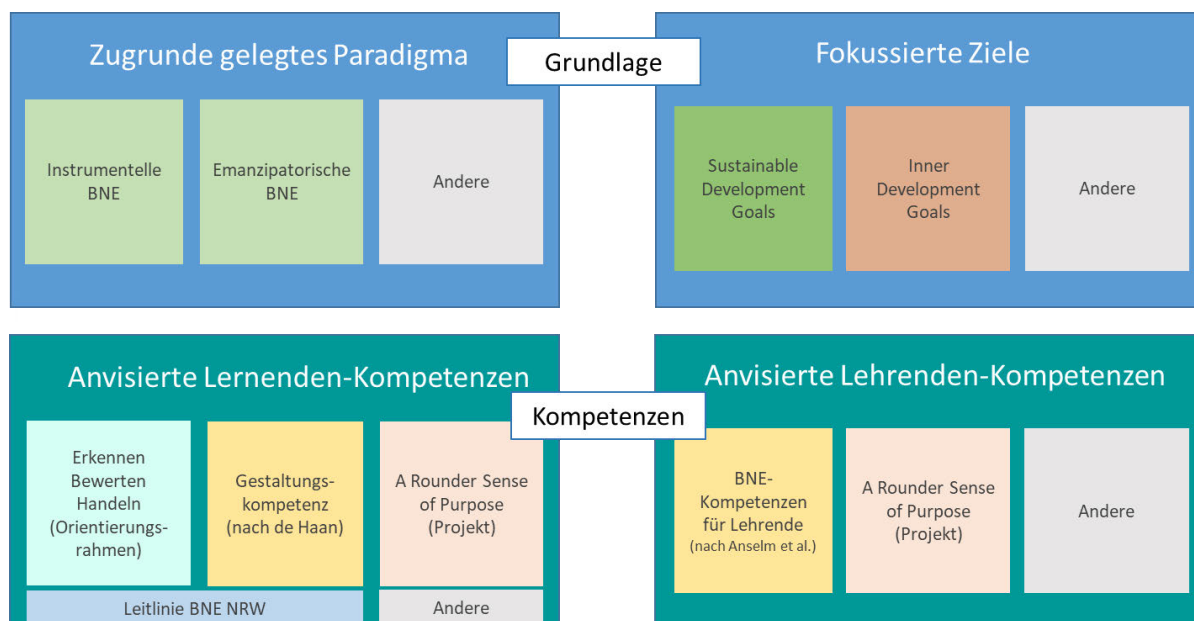


Abbildung 13: Übersicht des im Projekt entstandenen Verortungsinstruments

Eine weitere Funktion des Verortungsinstruments ist das Ausweisen von BNE-bezogenen Aspekten in den Fortbildungsmodulen anhand einer kurzen und möglichst übersichtlichen Darstellung, welche als eine Art „Label“ z.B. auf dem Deckblatt des jeweiligen Nutzungskonzepts platziert werden könnte. Ein Beispiel für ein solches Label ist in Abbildung 14 dargestellt.

Titel der Lehrkräftefortbildung				
BNE-Berücksichtigung in dieser Lehrkräftefortbildung [ggf. Alternativen vom Begriff]				<input type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> + <input checked="" type="checkbox"/> +
Grundsätzliches Paradigma / Herangehensweise				
	o	+	++	Erläuterungen (optional)
Instrumentelle BNE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	starke Fokussierung auf SDGs
Emanzipatorische BNE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Förderung kritischen Denkens
Berücksichtigte DGs (die drei schwerpunktmäßigen)				
Sustainable Development Goals	Gesundheit_und_Wohlergehen	Anstieg der Adipositasrate von Jugendlichen und Erwachsenen dauerhaft stoppen		
	Nachhaltiger_Konsum_und_nachhaltige_Produktion	Die Nahrungsmittelverschwendung soll verringert werden.		
	Hochwertige_Bildung	Bildung für nachhaltige Entwicklung vorantreiben Kinder-, behinderten- und geschlechtergerechte		
Inner Development Goals	Denken	Kritisches Denken		
Geförderte BNE-bezogene Kompetenzen bei den Lernenden				
Gestaltungsskompetenz nach De Haan (2008)	Selbstkompetenz		Selbstständig planen und handeln können	
Geförderte BNE-bezogene Kompetenzen bei den Lehrenden				
Lehrendenkompetenzen nach Anselm (2022)	Persönlichkeit_und_Kongruenz		Den eigenen Standpunkt verorten und reflektieren sowie eigene Grenzen mit Blick auf BNE kennen	

Abbildung 14: Beispiel für ein Label als Resultat der Anwendung des Verortungsinstruments

In welcher Form eine Bildung für nachhaltige Entwicklung in den einzelnen Com^eNets berücksichtigt wurde, ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Umsetzung einer Bildung für nachhaltige Entwicklung in den einzelnen Com^eNets

Com ^e Net	Umsetzung von BNE
Mathematik	BNE wird als impliziter Bestandteil in allen Bausteinen des Fortbildungskonzeptes umgesetzt. Das Konzept berücksichtigt die IDGs <i>Denken</i> und <i>Zusammenarbeit</i> und fokussiert die Kompetenzen Sozialkompetenz, diskursethisches Bewusstsein und Persönlichkeit & Kongruenz bei den Lehrenden sowie Sozialkompetenz und Erkennen bei den Lernenden.
Informatik	Die Abschnitte »Schutz der eigenen Gesundheit« und »Schutz der eigenen Umwelt« des Fortbildungsmoduls »Digitale Selbstverteidigung« sprechen SDG 3 (insb. 3.4), SDG 12 (insb. 12.2, 12.4, 12.5) und SDG 13 (insb. 13.3) an.
Biologie	Fortbildungsmodule mit Hauptbezug zum SDG 3 & 4 und Fokus auf Gestaltungskompetenz nach de Haan (Stichworte: iMooX, gestufte Lernhilfen, Diklusion).
Chemie	Sowohl instrumentelle als auch emanzipatorische BNE, SDGs 2,4,6,7,11,13,14; IDGs Denken, Zusammenarbeit, Handeln; Leitlinie BNE (Klimawandel, Gewässerverschmutzung, mobile Energiewandler); Lehrkräftekompetenzen nach Anselm et al. (2022) (Sachkompetenz und Sozialkompetenz).
Physik	Emanzipatorische BNE; SDGs 4, 5 und 10; Sachkompetenz, die Sozialkompetenz und die Selbstkompetenz nach Anselm et al. (2022)
Sachunterricht	SDGs 3 & 4; Förderung von Gestaltungskompetenz, der Problemlösekompetenz sowie der Kompetenz zum vernetzenden und kritischen Denken (Standort Oldenburg).

Literatur

A Rounder Sense of Purpose. (n.d.). *A Rounder Sense of Purpose*. <https://aroundersenseofpurpose.eu/> [Abgerufen am 14.08.2024].

Anselm, S., Breit, M., & Hammer-Bernhard, E. (2022). *BNE-Kompetenzen für Lehrende und Lernende*. <https://www.bne-box.lehrerbildung-at-lmu.mzl.lmu.de/bne-kompetenzen/> [Abgerufen am 19. November 2024].

BNE NRW (2023). *BNE trifft MINT. Die Initiative*. [online]. <https://www.bne.nrw/agentur/mint/initiative/> [Abgerufen am 19. November 2024].

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2023). *Was ist BNE?* <https://www.bne-portal.de/bne/de/einstieg/was-ist-bne/was-ist-bne.html>. [Abgerufen am 19. November 2024].

De Haan, G. (2008). Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In I. Bormann, & G. De Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde*, (S. 23-43). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Getzin, S., & Singer-Brodowski, M. (2016). Transformatives Lernen in einer Degrowth-Gesellschaft. *SOCIENCE – Journal of Science-Society Interfaces*, 1(1), 33–46. <https://doi.org/10.5167/uzh-135963>

Inner Development Goals. (o.J.). *Resources*. <https://innerdevelopmentgoals.org/> [Abgerufen am 12.05.2025].

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (2019f). *Leitlinie für Bildung nachhaltige Entwicklung*. Schule in NRW Nr. 9052. https://www.schulministerium.nrw/sites/default/files/documents/Leitlinie_BNE.pdf

Schreiber, J. R., & Siege, H. (2016). Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung: ein Beitrag zum Weltaktionsprogramm Bildung für nachhaltige Entwicklung: Ergebnis des gemeinsamen Projekts der Kultusministerkonferenz (KMK) und des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)[2. aktualisierte und erweiterte Auflage, 2016]. https://edumedia-de-pot.gei.de/bitstream/handle/11163/4161/89507012X_2016.pdf?sequence=1

United Nations. (2015). *Sustainable Development Goals*. United Nations. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/> [Abgerufen am 19. November 2024].

Vare, P., & Scott, W. (2007). Learning for a Change: Exploring the Relationship Between Education and Sustainable Development. *Journal of Education for Sustainable Development*, 1(2), 191-198. <https://doi.org/10.1177/097340820700100209>

Weitere Literaturempfehlungen

Haider, M., Böhme, R., Gebauer, S., Gößinger, C., Munser-Kiefer, M., & Rank, A. (Hrsg.). (2023). *Nachhaltige Bildung in der Grundschule* [Jahrbuch Grundschulforschung, 27]. Verlag Julius Klinkhardt. <https://doi.org/10.25656/01:27721>; <https://doi.org/10.35468/6035>

6. Inklusion in der MINT-Lehrkräftebildung

Nathalie Beck, Mathias Ropohl

Deutschland hat sich verpflichtet ein inklusives Bildungssystem zu gewährleisten und für Menschen mit Behinderungen angemessene Voraussetzungen zum Lernen fachlicher Inhalte und Erreichen von Bildungsabschlüssen zu schaffen (MSB NRW, 2013). In Schulgesetzen wird diese Verpflichtung aufgegriffen:

"Die Schule fördert die vorurteilsfreie Begegnung von Menschen mit und ohne Behinderung. In der Schule werden sie in der Regel gemeinsam unterrichtet und erzogen (inklusive Bildung). Schülerinnen und Schüler, die auf sonderpädagogische Unterstützung angewiesen sind, werden nach ihrem individuellen Bedarf besonders gefördert, um ihnen ein möglichst hohes Maß an schulischer und beruflicher Eingliederung, gesellschaftlicher Teilhabe und selbstständiger Lebensgestaltung zu ermöglichen" (MSB NRW, 2022, §2 Abs. 5).

Inklusion in diesem Sinne bedeutet, dass alle Kinder und Jugendlichen in der Schule eingeschlossen werden und gemeinsam lernen. Die Strukturen von Schule und Unterricht müssen an die individuellen Bedarfe der Schüler:innen angepasst werden. Ein gemeinsamer Unterricht ist von einem Wechsel aus gemeinsamen und binnendifferenzierten Lerngelegenheiten geprägt und orientiert sich am individuellen Vermögen und individuellen Bedarfen, um den bestmöglichen Bildungserfolg aller Schüler:innen zu ermöglichen. Dieses Ziel wird durch entwicklungsorientierte Lernevaluationen, einer Nutzung förderlicher Ressourcen (bspw. inklusionsdidaktische Netze) sowie der Kooperation von Pädagog:innen und weiteren Fachleuten (bspw. Therapeut:innen, Ärzt:innen) verwirklicht. Diskriminierende Praxen oder Lernbarrieren sind in einem gemeinsamen Unterricht ausgeschlossen bzw. möglichst zu minimieren. Es wird deutlich: Ein Unterricht, der diesen Forderungen und Ansprüchen gerecht wird, ist für Lehrkräfte aufgrund der Anzahl und Komplexität der zu berücksichtigenden Faktoren herausfordernd.

Der Inklusionsbegriff

Inklusion im Kontext von Schule bedeutet eine „gleichberechtigte Partizipation [...] aller Schülerinnen und Schüler an Schule und Unterricht im Sinne einer umfassenden Barrierefreiheit“ (Frohn & Moser, 2018, S. 64).

Ein **enges Verständnis des Inklusionsbegriffs** bezieht sich auf die Inklusion von Menschen mit Behinderungen in Schule und Unterricht. Es wird vorwiegend im Zusammenhang mit sonderpädagogischen Fragen und Kategorien verwendet (Simon, 2019; Wocken, 2017).

Ein **weites Verständnis des Inklusionsbegriffs** umschließt alle Heterogenitätsdimensionen von Schüler:innen, wie bspw. Alter, sozio-ökonomischer Hintergrund, Geschlechtsidentität, Nationalität etc. (Wocken, 2017).

Inklusion in Deutschland – Zahlen und Fakten

Im Schuljahr 2021/22 waren 579.054 Kinder und Jugendliche mit sonderpädagogischem Förderschwerpunkt in Deutschland an einer Schule, davon:

- 44,7 % an allgemeinbildenden Schulen
- 55,3 % an Förderschulen

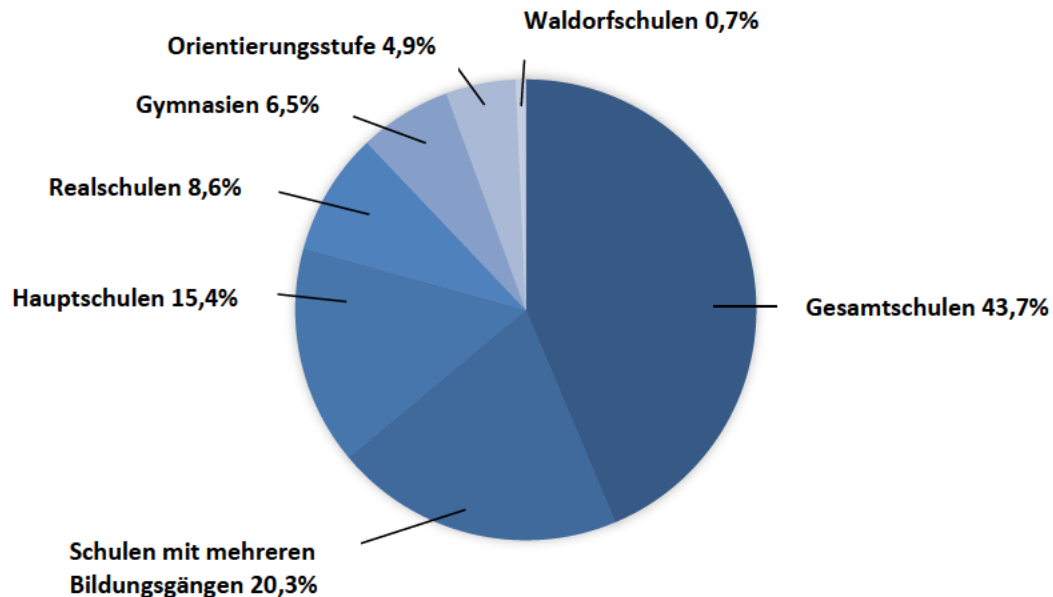


Abbildung 15: Verteilung von Schüler:innen mit sonderpädagogischem Förderschwerpunkt auf allgemeinbildende Schulformen (Klemm et al., 2023)

Tabelle 4: Verteilung der Schüler:innen mit sonderpädagogischem Förderbedarf auf die Förderschwerpunkte (Stand 2022) (Klemm et al., 2023)

Die Zahl der Schüler:innen mit sonderpädagogischem Förderschwerpunkt steigt in Deutschland kontinuierlich. Mögliche Erklärungen dafür sind:

- Eine veränderte Diagnostik
- Eine sich wandelnde Schüler:innenschaft
- Die Verknüpfung von Mittelzuweisungen und sonderpädagogischen Diagnosen
- Steigende schulische Anforderungen

Förderschwerpunkte	Schüler:innen (in Prozent)
Lernen	40,2
Geistige Entwicklung	17,9
Emotionale und soziale Entwicklung	17,9
Sprache	10,2
Körperliche und motorische Entwicklung	6,8
Hören	3,8
Sehen	1,7
Förderschwerpunkt übergreifend	0,9
Ohne Zuordnung	0,6

Seitens der Fachdidaktik wurden fachspezifische Orientierungsrahmen für die Unterrichtsplanung und -reflexion entwickelt. Diese setzen die Anforderungen eines gemeinsamen Unterrichts mit den Zielen des entsprechenden Faches in Beziehung, so zum Beispiel für die Naturwissenschaften (Fühner et al., 2022; Stinken-Rösner et al., 2020). Seitens der Lehrenden gilt bei der Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Kontexten als eine Dimension der Unterrichtsplanung Diversität anzuerkennen, Barrieren zu minimieren und so Partizipation für alle zu ermöglichen. Im Zuge der zunehmenden Digitalisierung und der damit einhergehenden didaktischen Möglichkeiten gilt es, diese Orientierungsrahmen um Aspekte von Digitalisierung für die Unterrichtsplanung für inklusiven naturwissenschaftlichen Unterricht zu erweitern, wie dies beispielsweise Becker et al. (2020c) im Projekt DiKoLAN anhand von Kompetenzbereichen vorschlagen.

Dabei gilt, die Diversität der Schüler:innen bezogen auf den Umgang mit digitalen Medien (bspw. Zugang, Motivation, Kompetenzen) anzuerkennen und mögliche Barrieren digitaler Medien wahrzunehmen. Erst dadurch gelingt eine sachgerechte und lernzielorientierte Nutzung von digitalen Medien, wodurch allen Schüler:innen die Teilnahme am Unterricht ermöglicht werden kann (Abels & Stinken-Rösner, 2022; Hartung et al., 2021).

Dem folgend müssen Lehrkräfte die individuellen Voraussetzungen ihrer Schüler:innen kennen, um in Kombination mit digitalen Kompetenzen (wie sie bspw. das DiKoLAN-Projekt beschreibt) mögliche Barrieren zu erkennen. Die Barrieren können durch den Einsatz eines digitalen Mediums selbst entstehen, bspw. durch dessen Gestaltung, oder mögliche Zugänge zum Medium (Bosse, 2016; Stinken-Rösner et al., 2023; Stinken-Rösner & Abels, 2021; van Dijk, 2017). Eine Berücksichtigung individueller Schüler:innenvoraussetzungen sowie potentieller Barrieren digitaler Medien ermöglicht es, Barrieren bereits während der Unterrichtsplanung proaktiv abzubauen. Wenn eine barrierefreie Nutzung gewährleistet wird, bieten digitale Medien großes Potenzial für die gleichberechtigte Teilhabe von Schüler:innen mit und ohne sonderpädagogischem Förderbedarf am schulischen Leben. Neben dem Einsatz im Sinne assistiver Technologien für Schüler:innen mit Behinderungen (bspw. die Smartphone-App „Greta“ für automatisierte Audiodeskriptionen, Hörverstärkung oder Untertitel) können digitale Medien dazu genutzt werden, fachimmanente und soziale Hürden abzubauen sowie alternative Zugänge zu bieten, wodurch digitale Medien ebenfalls einen Mehrwert für die individuelle Förderung von Schüler:innen bieten (Bosse, 2016; Hartung et al., 2021; Stinken-Rösner et al., 2023). Dies hat bereits zu einer großen Vielfalt an digitalem Lehr-Lernmaterial für den (inklusive) naturwissenschaftlichen Unterricht geführt – etwa in Form digitaler Escape Rooms für den inklusiven Sachunterricht (Quante, 2022) oder digitaler Lernumgebungen für inklusive Schüler:innenlabore (Kieferle, 2023).

Literatur

Abels, S. & Stinken-Rösner, L. (2022). „Diklusion“ im naturwissenschaftlichen Unterricht – Aktuelle Positionen und Routenplanung. In E. Watts & C. Hoffmann (Hrsg.), *Digitale NAWI-gation von Inklusion. Digitale Werkzeuge für einen inklusiven Naturwissenschaftsunterricht* (S. 2-20). Springer VS.

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020c). *DiKoLAN: Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften*. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. <https://dikolan.de/>

Bosse, I. (2016). *Teilhabe in einer digitalen Gesellschaft – Wie Medien Inklusionsprozesse befördern können*. <https://www.bpb.de/themen/medien-journalismus/medienpolitik/172759/teilhabe-in-einer-digitalen-gesellschaft-wie-medien-inklusionsprozesse-befoerdern-koennen/>

Frohn, J., & Moser, V. (2018). Das „Didaktische Modell für inklusives Lehren und Lernen“: Konzeption und Operationalisierung. In Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), *Perspektiven für eine gelingende Inklusion* (S. 61–73). Bertelsmann.

Fühner, L., Ferreira González, L., Weck, H., Pusch, A. & Abels, S. (2022). Das NinU-Raster zur Planung und Reflexion inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts für Lehramtsstudierende. In A. Schröter, M. Kortmann, S. Schulze, K. Kempfer, S. Anderson, G. Sevdiren, J. Bartz & C. Kreutchen (Hrsg.), *Inklusion in der Lehramtsausbildung – Lerngegenstände, Interaktionen und Prozesse* (S. 63–78). Waxmann.

Hartung, J., Zschoch, J. & Wahl, M. (2021). Inklusion und Digitalisierung in der Schule. Gelingensbedingungen aus der Perspektive von Lehrerinnen und Lehrern sowie Schülerinnen und Schülern. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis in der Medienbildung* 41, 55-76.
<https://doi.org/10.21240/mpaed/41/2021.02.04.X>

Kieferle, S., & Markic, S. (2023). Aktive Teilhabe und forschendes Lernen ermöglichen - Inklusive Lernumgebungen im Schülerlabor der Sekundarstufe I. *CHEMKON*, 2023(30), 21-27.

Klemm, K., Hollenbach-Biele, N. & Lepper, C. (2023). Inklusion im deutschen Schulsystem. Schuljahr 2021/2022. Bertelsmann Stiftung.

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013). *Erstes Gesetz zur Umsetzung der UN-Behindertenrechtskonvention in den Schulen* (9. Schulrechtsänderungsgesetz). <https://www.schulministerium.nrw/sites/default/files/documents/NeuntesSchulrechtsaenderungsgesetz.pdf>

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2022). *Schulgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen*. <https://bass.schul-welt.de/6043.htm>

Quante, A. (2022). Förderbedarfe und digitale Möglichkeiten. In Haider, M. & Schmeinck, D. (Hrsg.), *Digitalisierung in der Grundschule. Grundlagen, Gelingensbedingungen und didaktische Konzeptionen am Beispiel des Fachs Sachunterricht* (S. 98-108). Verlag Julius Klinkhardt.

Simon, T. (2019). Celebrate diversity? Einstellungen angehender Lehrkräfte zu Heterogenität im Spannungsfeld von Differenzanerkennung und normierendem Homogenisierungsdenken. In M. Esefeld, K. Müller, P. Hackstein, E. von Stechow & B. Klocke (Hrsg.), *Inklusion im Spannungsfeld von Normalität und Diversität. Band II: Lehren und Lernen* (S. 65). Verlag Julius Klinkhardt.

Stinken-Rösner, L., Rott, L., Hundertmark, S., Baumann, T., Menhe, J., Hoffmann, T., Nehring, A. & Abels, S. (2020). Thinking Inclusive Science Education from two Perspectives: Inclusive Pedagogy and Science Education. *RISTAL*, 3, 30-45.

Stinken-Rösner, L. & Abels, S. (2021). Digitale Medien als Mittler im Spannungsfeld zwischen naturwissenschaftlichem Unterricht und inklusiver Pädagogik. In S. Hundertmark, X. Sun, S. Abels, A. Nehring, R. Schildknecht, V. Seremet & C. Lindmeier (Hrsg.), *Naturwissenschaften und Inklusion, 4. Beiheft Sonderpädagogische Förderung heute*, 161–175

Stinken-Rösner, L., Weidenhiller, P., Nerdel, C., Weck, H., Kastaun, M. & Meier, M. (2023). Inklusives Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht digital unterstützen. In D. Ferencik-Lehmkuhl, I. Huynh, C. Laubmeister, C. Lee, C. Melzer, I. Schwank et al. (Hrsg.), *Inklusion digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung* (S. 152-167). Verlag Julius Klinkhardt.

Van Dijk, J. A. G. M. (2017). Digital Divide: Impact of Access. In P. Rössler, C.A. Hoffner & L. Zoonen (Hrsg.) *The International Encyclopedia of Media Effects*. Wiley Online Library.
<https://doi.org/10.1002/9781118783764.wbieme0043>

Wocken, H. (Hrsg.). (2017). *Beim Haus der inklusiven Schule. Praktiken – Kontroversen – Statistiken*. Hamburg: Feldhaus Verlag. ISBN 978-3-925408-52-6

7. Forschung zu Gelingensbedingungen von MINT-Lehrkräftefortbildungen

Sebastian Becker-Genschow, Nadine Honke

Das Verbundprojekt Com^eMINT vereint Erkenntnisse aus fächerspezifischen Teilprojekten, um ein umfassendes Forschungsbild zur Wirksamkeit digitalisierungsbezogener Fortbildungen im MINT-Bereich zu erstellen. Ziel ist es, fächerübergreifende Erfolgsfaktoren abzuleiten. Die fächerübergreifende Forschung im Bereich der digitalen Bildung untersucht, wie digitale Technologien und digital gestütztes Lehren und Lernen Bildungsprozesse verbessern, erweitern und transformieren können. Dabei werden spezifische Elemente wirksamer unterrichtsbezogener Fortbildungen berücksichtigt. Bis zum Abschluss des Projekts im September 2025 werden Fortbildungsprogramme entwickelt, die den Lehrkräften helfen, ihre digitalen Kompetenzen zu erweitern. Studien zeigen, dass Lehrkräftefortbildungen besonders effektiv sind, wenn sie inhaltsorientiert gestaltet sind, aktives Lernen fördern und kontinuierliche Unterstützung bieten (Darling-Hammond et al., 2017). Gleichzeitig sind digitalisierungsbezogene Kompetenzen von Lehrkräften ein entscheidender Faktor für den erfolgreichen Einsatz digitaler Medien im Unterricht (Diepolder et al., 2021).

Die fächerübergreifende Beforschung im Verbundprojekt adressiert entsprechend folgende Aspekte:

- **Verbesserung des Lernerlebnisses von Lernenden durch Lehrkräftefortbildungen:** Ziel ist es, Lehrkräfte in der Anwendung von Technologien und Methoden zu schulen, die das Lernen effizienter, interessanter und zugänglicher gestalten können. Forschungen haben gezeigt, dass Fortbildungen, die praxisnah gestaltet sind und sich an den spezifischen Bedürfnissen der Lehrkräfte orientieren, eine höhere Wirksamkeit haben (Lipowsky & Rzejak, 2021a).
- **Förderung des Verständnisses über den Einsatz digitaler Technologien im Unterricht:** Lehrkräfte sollen durch die Fortbildungen ein tieferes Verständnis darüber entwickeln, wie digitale Medien das Lernverhalten beeinflussen und wie sie gezielt im Unterricht eingesetzt werden können (Gerick et al., 2024).
- **Personalisierung und Differenzierung des Lernens durch Unterstützung der Lehrkräfte:** Die Fortbildungen sollen Lehrkräfte dazu befähigen, individuelle Lernwege und adaptives Lernen in ihrem Unterricht umzusetzen. Insbesondere im MINT-Bereich zeigt sich, dass eine gezielte Unterstützung der Lehrkräfte in der individuellen Förderung von Schüler:innen positive Effekte hat (Lange-Schubert & Steffensky, 2023).
- **Förderung von digitalisierungsbezogener Kompetenz:** Entwicklung von Strategien und Ressourcen, um Lehrkräfte in der Nutzung digitaler Technologien zu schulen und zu unterstützen. Eine Analyse der Verfügbarkeit digitalisierungsbezogener Lehrkräftefortbildungen zeigt, dass es eine zunehmende Nachfrage nach solchen Angeboten gibt, insbesondere im naturwissenschaftlichen Bereich (Diepolder et al., 2021).

- **Evaluierung und Qualitätssicherung:** Bewertung der Wirksamkeit digitaler Bildungstechnologien und -methoden und Sicherstellung ihrer Qualität. Forschungen zeigen, dass strukturierte Evaluationsprozesse entscheidend sind, um nachhaltige Veränderungen im Unterricht zu ermöglichen (Lipowsky & Rzejak, 2021a).
- **Chancengleichheit und Zugänglichkeit:** Lange-Schubert und Steffensky (2023) betonen, dass Kinder mit geringeren sprachlichen oder fachlichen Lernvoraussetzungen in komplexen, fächerverbindenden MINT-Lernumgebungen gezielte Unterstützung benötigen. Damit das Potenzial integrierter MINT-Angebote ausgeschöpft werden kann, müssen Aspekte der Unterrichtsqualität sowie die professionellen Kompetenzen der Lehrpersonen konsequent berücksichtigt werden.

Um diese Ziele zu erreichen, wurden folgende Ansätze verfolgt:

- **Problemdefinition:** Identifikation der spezifischen Herausforderungen und Bedürfnisse im Bereich der digitalen Bildung.
- **Förderung der Einstellung und Wahrnehmung von Lehrkräften:** Lehrkräfte sollen ein Verständnis für die Relevanz digitaler Technologien entwickeln, um eine positive Haltung gegenüber digitalen Werkzeugen zu fördern und deren Bedeutung für die zukünftige Lebens- und Arbeitswelt ihrer Schüler:innen zu erkennen (Gerick et al., 2024).
- **Integration von Theorien und Methoden:** Kombination von pädagogischen Theorien mit technologischen Innovationen und Forschungsmethoden.
- **Entwicklung und Testen von Prototypen:** Erstellung und Erprobung von digitalen Lernwerkzeugen, Plattformen und Inhalten in realen Bildungsumgebungen.
- **Datenanalyse und -nutzung:** Einsatz von Datenanalyse und -nutzung, um Lernprozesse zu verstehen und zu optimieren.
- **Iterative Verbesserung:** Kontinuierliche Anpassung und Verbesserung von Technologien und Methoden basierend auf Feedback und Forschungsergebnissen (Design-Based Research Ansatz) (Anderson & Shattuck, 2012).
- **Dissemination und Implementierung:** Verbreitung der Forschungsergebnisse und Integration erfolgreicher Ansätze in die Praxis.
- **Ethische und soziale Überlegungen:** Die digitale Transformation von Bildung erfordert eine reflektierte Auseinandersetzung mit ihren ethischen, sozialen und kulturellen Auswirkungen – etwa im Hinblick auf pädagogische Verantwortung, Chancengleichheit und den Wandel der Bildungskultur (Zierer, 2021).

Literatur

Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? *Educational Researcher*, 41(1), 16-25. <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>

Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., & Gardner, M. (2017). Effective Teacher Professional Development. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute. <https://learningpolicyinstitute.org/product/teacher-prof-dev>

Diepolder, C., Weitzel, H., Huwer, J., & Lukas, S. (2021). Verfügbarkeit und Zielsetzungen digitalisierungsbezogener Lehrkräftefortbildungen für naturwissenschaftliche Lehrkräfte in Deutschland. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27(1), 203–214. <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00134-1>

Gerick, J., Annemann, C., Niemann, T., et al. (2024). Digitalisierungsbezogene Lehrkräftefortbildungen – Analysen zu Zusammenhängen mit Lehrpersonen- und Schulmerkmalen sowie zum wahrgenommenen Fortbildungserfolg durch Lehrkräfte in Deutschland. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 27, 661–683. <https://doi.org/10.1007/s11618-024-01225-8>

Lange-Schubert, K., & Steffensky, M. (2023). M, I, N, T- oder MINT-Unterricht in der Grundschule – Status quo und Perspektiven. In Stiftung Haus der kleinen Forscher (Hrsg.), *MINT-Bildung im Primarbereich: Qualität im Unterricht zu MINT-Themen stärken* [Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 16]. Verlag Barbara Budrich. <https://doi.org/10.25656/01:28007>, <https://doi.org/10.3224/84742749>

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021a). Welche Art von Fortbildung wirkt? In Jungkamp B., & Pfafferott M. (Hrsg.), *Was Lehrkräfte lernen müssen. Bedarfe der Lehrkräftebildung in Deutschland*. Friedrich Ebert Stiftung. <https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/18117.pdf>

Zierer, K. (2021). Zwischen Dichtung und Wahrheit: Möglichkeiten und Grenzen von digitalen Medien im Bildungssystem. *Pädagogische Rundschau*, 75(4), 377–392(16).

8. Forschungsdatenmanagement im Verbundprojekt: Planung und Umsetzung

Nadine Honke, Sebastian Becker-Genschow

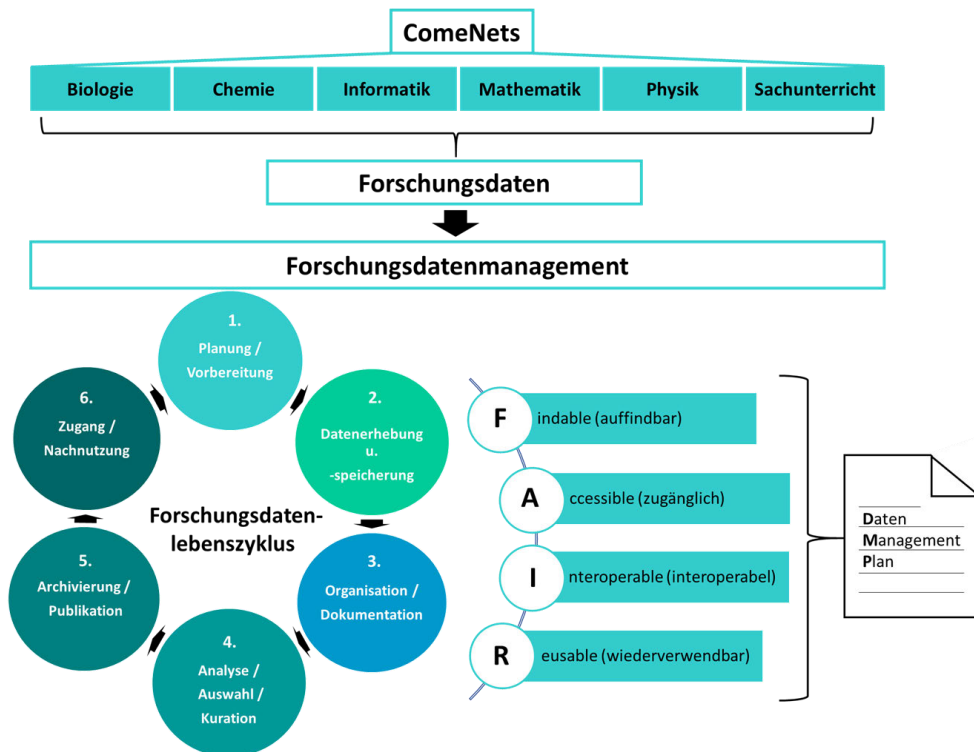


Abbildung 16: Schematische Darstellung des Forschungsdatenmanagements (eigene Darstellung)

Um im Rahmen des Verbundprojekts Com^eMINT fächerübergreifende Gelingensbedingungen zu identifizieren und eine nachhaltige Nutzung zu ermöglichen, wurden die Forschungsdaten aus den einzelnen Teilprojekten digital nach den FAIR-Prinzipien (Abbildung 16; <https://www.go-fair.org/fair-principles/>; Biernacka et al., 2019; Wilkinson et al., 2016) an der Universität zu Köln gesammelt, standardisiert gesichert und einer weitergehenden Analyse zugeführt. Diese Prinzipien stellen sicher, dass die Daten auffindbar (Findable), zugänglich (Accessible), interoperabel (Interoperable) und wiederverwendbar (Reusable) sind, was eine nachhaltige und offene Nutzung der Forschungsdaten fördert.

Ein zentrales Ziel des Projekts war die Integration fächerspezifischer Erkenntnisse der beteiligten MINT-Fächer zu einem ganzheitlichen Forschungsbild. Durch die enge Zusammenarbeit der fächerspezifischen Teilprojekte sollten Synergien geschaffen werden, die eine evidenzbasierte Verbesserung von Lehrkräftefortbildungen ermöglichen. Um dies zu erreichen, war es notwendig, sich bereits frühzeitig auf kohärente Maßnahmen und Verfahren zur Handhabung von Forschungsdaten zwischen den Teilprojekten und der Koordinationsebene abzustimmen.

Für den Transfer der an den beteiligten Universitäten von den Teilprojekten erhobenen Forschungsdaten an die Universität zu Köln sowie deren anschließende Aufbereitung wurde ein Datenmanagementplan entwickelt. Die Strukturierung der Datenmanagementprozesse ist angelehnt an den Stamp-Datenmanagementplan, der speziell für die Bildungsforschung entwickelt wurde (<https://www.forschungsdaten-bildung.de/stamp>). Dieser umfasst folgende Module, welche die effiziente

Handhabung und Verwaltung von Forschungsdaten sicherstellen:

1. **Forschungsethische Grundsätze:** Die Datenverarbeitung folgt den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis und legt besonderen Wert auf Teilnehmendenschutz, Transparenz sowie der Wahrung von Persönlichkeits- und Urheberrechten.
2. **Datenschutz und Verarbeitung personenbezogener Daten:** Die Daten werden DSGVO-konform verarbeitet, anonymisiert und sicher übermittelt.
3. **Urheberrechte an Daten und Materialien:** Die Datenverarbeitung erfolgte rechtskonform nach Urheberrecht. Nutzungsrechte werden klar geregelt, um eine Nachnutzung zu ermöglichen.
4. **Datenorganisation im Projektverlauf:** Forschungsdaten wurden systematisch gespeichert, versioniert und gesichert. Klare Strukturen sowie regelmäßige Backups gewährleisten Konsistenz und Verfügbarkeit.
5. **Nachvollziehbarkeit der Daten:** Alle Verarbeitungsschritte wurden dokumentiert; Metadaten und Codepläne unterstützen die Nachnutzung.
6. **Datenteilen über das Projektende hinaus:** Sofern rechtlich möglich, werden Daten im Repositorium „Verbund Forschungsdaten Bildung“ für eine Nachnutzung bereitgestellt. Eine Anonymisierung minimiert mögliche Einschränkungen.
7. **Langfristsicherung von Daten und Materialien:** Nicht veröffentlichte Daten werden für mindestens zehn Jahre gesichert. Regelmäßige Backups gewährleisten eine langfristige Verfügbarkeit.
8. **Verantwortlichkeiten und Ressourcen:** Zuständigkeiten sind für die gesamte Projektlaufzeit und darüber hinaus definiert.

Die überfachliche Koordination – Teilprojekt Beforschung – unterstützte die Com^eNets bei der Datenverarbeitung und sicherte die nachhaltige Dokumentation sowie Nachnutzbarkeit der erhobenen Forschungsdaten. Die Planung und Umsetzung des Forschungsdatenmanagements im Verbundprojekt wurde vom Cologne Competence Center for Research Data Management (C3RDM; <https://fdm.uni-koeln.de/home>) der Universität zu Köln beratend unterstützt.

Literatur

Biernacka, K., Dolzycka, D., Buchholz, P., & Helbig, K. (2019). *Wie FAIR sind Deine Forschungsdaten?* Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2547339>

C3RDM (2023). *Forschungsdatenmanagement an der UZK*. <https://fdm.uni-koeln.de/home> [Abgerufen am 09. Mai 2025].

Forschungsdaten Bildung. (o. D.). *STAMP – Forschungsdatenmanagement in der Lehrerbildung*. <https://www.forschungsdaten-bildung.de/stamp> [Abgerufen am 09. Mai 2025].

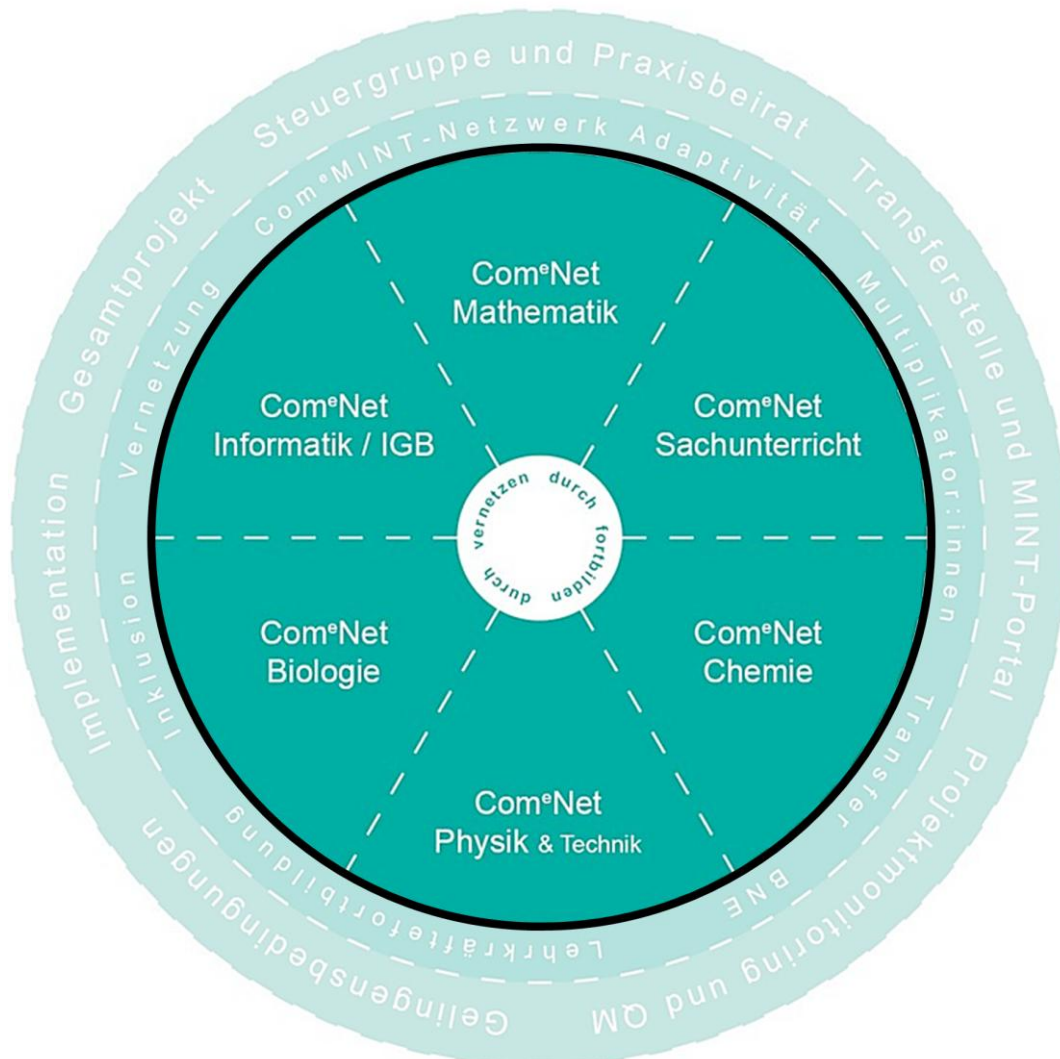
GO FAIR. *FAIR Principles*. <https://www.go-fair.org/fair-principles/> [Abgerufen am 09. Mai 2025]

Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci Data* 3, 160018 <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

Teil II

Kurzdarstellungen und (Teil-)Ergebnisse der Com^eNets

Com^eMINT-Netzwerk



Gefördert vom:



Ein Projektverbund von
lernen:digital
Kompetenzzentrum
MINT



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU



Bundesministerium
für Bildung, Familie, Senioren,
Frauen und Jugend

9. Com^eNet Mathematik

Bärbel Barzel, Patrick Ebers, Stephan Hußmann, Andreas Leinigen, Maike Mentrop, Jessica Müller, Zita Pahlsmeier, Marcus Nührenbörger, Florian Schacht, Daniel Wal-ter

Schwerpunkte in Forschung und Entwicklung

Die drei Basisdimensionen guten Unterrichts – *effiziente Klassenführung*, *konstruktive Unterstützung* und *kognitive Aktivierung* – gelten als Schlüsselfaktoren für erfolgreichen Unterricht (Lipowsky & Rzejak, 2023; Praetorius et al., 2018) und bilden die Grundlage für die Konzeption der Fortbildungen des *Com^eNets Mathematik* im Rahmen des Projektes *Com^eMINT*. Insbesondere die kognitive Aktivierung von Lernenden wird im Rahmen des Fortbildungskonzepts fachspezifisch konkretisiert (Barzel & Ebers, 2020). Den Basisdimensionen von Unterrichtsqualität werden mathematikdidaktisch fundierte Designprinzipien wie Verstehensorientierung, Diversitätssensibilität und Kollaboration an die Seite gestellt (Holzäpfel et al., 2024). Daraus ergibt sich das folgende Dreieck (vgl. Abbildung 17), welches methodisch-didaktische Aspekte verknüpft und grundlegend für die Professionalisierungskonzepte des *Com^eNets Mathematik* ist.



Abbildung 17: Grundlegende methodisch-didaktische Aspekte der Professionalisierungskonzepte (eigene Darstellung)

Ziele und Formate

Das Com^eNet Mathematik konzipiert forschungsbasiert, fachdidaktisch fundierte und digitalisierungsbezogene Professionalisierungskonzepte für Mathematiklehrkräfte der Primar- und der Sekundarstufe.

Das Fortbildungskonzept für Lehrkräfte der Primarstufe (vgl. Abbildung 18) sieht zunächst eine grundständige Auseinandersetzung mit unterrichtsorganisatorischen und fachdidaktischen Potentialen digitaler Medien vor, bevor kognitive Aktivierung und konstruktive Unterstützung in den anschließenden Modulen fokussiert werden. Dabei werden beide Perspektiven, die Lernende als Rezipierende und die als Produzierende von Lernvideos und eBooks, thematisiert. Daraufaufgehend werden die Erkenntnisse auf weitere Inhalte und digitale Werkzeuge transferiert.

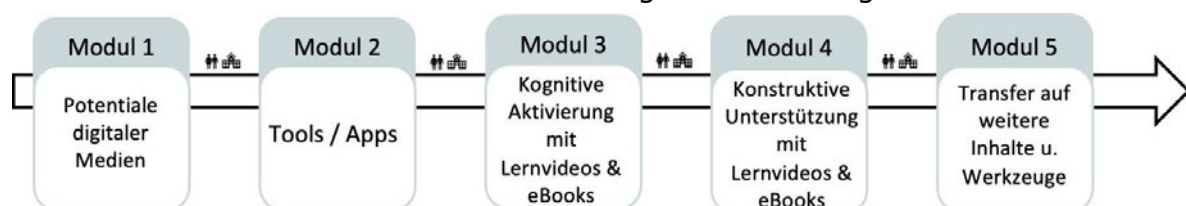


Abbildung 18: Fortbildungskonzept für Mathematiklehrkräfte der Primarstufe (eigene Darstellung)

Die Professionalisierungskonzepte für die Sekundarstufe umfassen insgesamt drei Bausteine mit jeweils zwei Modulen (vgl. Abbildung 19). In den Modulen werden digitalisierungsbezogene Kompetenzen der Lehrkräfte zur Gestaltung anspruchsvoller, fachdidaktisch fundierter Lehr-Lern-Szenarien zu verschiedenen digitalen Medien sowie digitalen Mathematikwerkzeugen fokussiert.

Ziel der Fortbildungsreihe ist es, mit Lehrkräften die mathematikdidaktischen Potenziale dieser digitalen Medien zu erarbeiten. Dazu lernen die Lehrkräfte Aspekte, Kriterien und Einsatzszenarien von digitalen Medien für den Unterricht kennen. Zusätzlich wird der Einsatz digitaler Medien mit passenden Aufgabenformaten für den eigenen Mathematikunterricht geplant, erprobt und reflektiert. Wie auch in der Primarstufe wird hier ebenfalls zwischen Nutzung und Gestaltung von digitalen Medien differenziert.

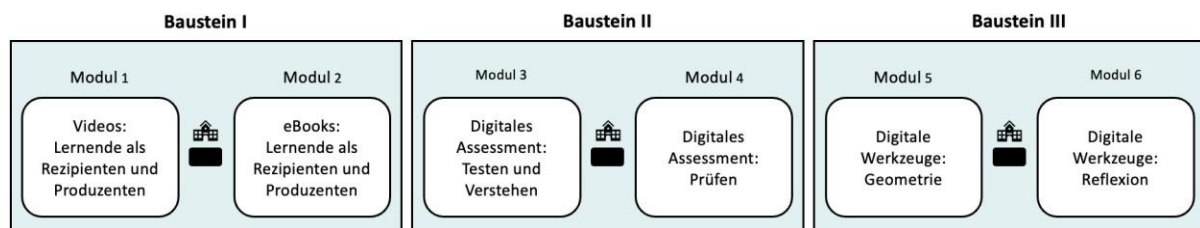


Abbildung 19: Fortbildungskonzept für Mathematiklehrkräfte der Sekundarstufe (eigene Darstellung)

Der modulare Aufbau der Fortbildungskonzepte des Com^eNets Mathematik zeichnet sich insbesondere durch den Wechsel zwischen Erarbeitungs-, Unterrichtsplanungs-, Erprobungs- und Reflexionsphasen aus.

Literatur

Barzel, B. & Ebers, P. (2020). Kognitiv aktivieren - Eine wichtige Dimension fürs fachliche Lernen. *Mathematik lehren*, 223, 27-31.

Holzäpfel, L., Prediger, S., Götze, D., Rösken-Winter, B. & Selter, C. (2024). Qualitätvoll Mathematik unterrichten: Fünf Prinzipien. *Mathematik lehren*, 242, 2-9.

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2023). Wodurch zeichnen sich wirksame unterrichtsbezogene Fortbildungen aus? – Ein Überblick über den Forschungsstand. In O. Köller, P. Daschner, & K. Karpen (Hrsg.), *Einmal ausgebildet – lebenslang qualifiziert? Lehrkräftefortbildung in Deutschland: Sachstand und Perspektiven* (S. 126-145). Beltz Juventa.

Praetorius, A., Klieme, E., Herbert, B. (2018). Generic dimensions of teaching quality: the German framework of Three Basic Dimensions. *ZDM Mathematics Education* 50, 407-426.

10. Com^eNet Informatik

Torsten Brinda, Ira Diethelm, Lena-Sophie Kayser, Matthias Kramer, Denise Schmitz

Schwerpunkte in Forschung und Entwicklung

Die Integration digitaler Technologien in das professionsbezogene Handeln aller Lehrkräfte erfordert grundlegende Informatikkompetenzen, um unterrichtliche Anknüpfungspunkte an die Digitalisierung als Gegenstand aus der eigenen Fachperspektive gestalten zu können und um auch im breiteren professionsbezogenen Umgang mit digitalen Technologien kompetent zu agieren. Im Rahmen der QLb-Projekte Com^eIn (Universität Duisburg-Essen (UDE), Bergische Universität Wuppertal (BUW)) und DiOLL (Carl von Ossietzky Universität Oldenburg (UOL)) entstanden dazu modulare Lehrveranstaltungsmaterialien, die für den Einsatz in Lehrkräftefortbildungen angepasst und dort zur Erforschung von Gelingensbedingungen eingesetzt werden.

Ziele

- Untersuchung des Teilnahmeerfolgs von Fortbildungen u.a. anhand eines entwickelten Selbsteinschätzungsbogens im Prä-Post-Design, der auf den gemeinsam erarbeiteten Empfehlungen der Gesellschaft für Informatik (Arbeitskreis Lehrkräftebildung der GI, 2023) und verschiedenen Modellen zu Lehrkräftekompetenzen (Richter & Richter, 2023a; Nenner & Bergner, 2023) basiert
- Einschätzungen des Fortbildungsmaterials durch Multiplikator:innen aus der Lehrkräftebildung in Projekten sowie nationalen und internationalen Netzwerken der Projektmitarbeitenden
- Überarbeitung der Materialien hinsichtlich Querschnittsthemen wie Inklusion und Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)

Formate / Teilprojekte

Schwerpunktmäßig bilden zwei modulare Konzepte die Materialbasis im Com^eNet Informatik:

- Com^eIn: Die Materialien zielen auf die Förderung von Informatikkompetenzen aller Lehrkräfte ab. Um fächerübergreifende Kompetenzen zu adressieren, wird dabei von Tätigkeiten von Lehrkräften im außerunterrichtlichen Schulalltag ausgegangen, bspw. die kompetente Auswahl eines Messengers für die Kommunikation mit Kolleg:innen oder der sichere Umgang mit möglichen Gefahren im Internet. Weitere Details sind unter <https://udue.de/ib-fal> einsehbar.
- IT2School: Das Fortbildungsmaterial aus dem Projekt IT2School hat zum einen das Ziel der Förderung des Verständnisses von informatischen Grundprinzipien bei Informatiklehrkräften und zum anderen das Ziel der Befähigung zur didaktischen Aufbereitung informatischer Themen z. B. zu der Funktionsweise des Internets oder zu Codierungen im Alltag der Schüler:innen. Weitere Details sind unter <https://www.wissensfabrik.de/it2school/> einsehbar.

Berücksichtigung von Querschnittsthemen

Die Com^eIn-Materialien werden durch verschiedene Aspekte hinsichtlich des **Querschnittsthemas Inklusion** überarbeitet. Dafür wird in einer Forschungsarbeit an

der BUW eine Aufgabe zu Passwörtern für das Veranstaltungsmodul »SPAM von der Schulleitung?« inklusiv gestaltet. Außerdem werden in mehrere Modulen Reflexionsaufgaben ergänzt, inwiefern durch die Verwendung bestimmter Werkzeuge Menschen ein- bzw. ausgeschlossen werden. Das Modul zur Materialerstellung wird um Aspekte der Barrierefreiheit, z. B. hinsichtlich der Lesbarkeit von Texten oder verschiedenen Repräsentationsmodi erweitert. Zum Schluss des Projektes soll für die Veröffentlichung der aktualisierten Materialien die Barrierefreiheit aller Module sichergestellt werden (insb. im Hinblick auf Screen-Reader-Tauglichkeit).

Vor Beginn des Projektes Com^eMINT wurden die IT2School Materialien hinsichtlich inklusiver Aspekte untersucht. Darauf aufbauend wurden einige der Module während der Projektlaufzeit hinsichtlich Sprachsensibilität innerhalb einer Forschungsarbeit an der UOL überarbeitet. Außerdem werden die Module durch eine explizite Adressierung von Inklusion innerhalb der Unterrichtsmaterialien erweitert.

Das **Querschnittsthema BNE** wird bei der Überarbeitung der Com^eIn-Materialien aus zwei Perspektiven betrachtet. Einerseits werden bereits vorhandene Aspekte des Themas im Modul "SPAM von der Schulleitung?" konkret in den Skripten für die Lehrpersonen der Fortbildungen ausgewiesen. Dazu zählen die BNE-Ziele "Gesundheit und Wohlergehen", "Nachhaltiger Konsum" und "Maßnahmen zum Klimaschutz". Im Modul werden dafür Gesundheitsaspekte, wie die ständige Erreichbarkeit und suchtv Verstärkende Eigenschaften von Anwendungen (z.B. nur begrenzt verfügbarem Content) aufgezeigt. Außerdem wird der Rohstoffbedarf und Energieverbrauch von Informatiksystemen (Computern, Smartphones, etc.) sowie die Möglichkeit des Recyclings dieser Systeme diskutiert. Andererseits wird das Modul zur Künstlichen Intelligenz (KI) hinsichtlich einer Diskussion zum Ressourcenverbrauch beim Training und der Nutzung von KI-Modellen erweitert.

Die IT2School Materialien, insb. die Module "Vom Blinzeln zum Verschlüsseln", "Codes im Supermarkt und Unternehmen" und "3D-Druck, Modellierung und Augmented/Virtual Reality", sprechen die Ziele "Industrie, Innovation und Infrastruktur", "Nachhaltige/r Konsum und Produktion" und "Maßnahmen zum Klimaschutz" der BNE-Ziele an. Beispielsweise wird in dem Modul "Codes im Supermarkt und Unternehmen" der Einfluss von Veränderungen in der Informationstechnologie auf die Individuen und die Gesellschaft dargelegt, die Arbeitswelt reflektiert und sich mit der ständig verändernden Struktur der Berufs- und Arbeitswelt auseinandergesetzt. Zudem wird in dem Modul die Beschaffung und Erfassung von Produktdaten sowie der Produktionskennzeichnung, Prüf- und Qualitätssiegel thematisiert.

Entwicklungs- und Erkenntnisstand / lessons learnt

Einerseits werden die Relevanz von Informatikkompetenzen von Beteiligten im Fortbildungssystem gesehen und die Fortbildungen als sinnvoll eingeschätzt. Andererseits treten bei der Umsetzung einige Hindernisse auf. So herrscht oftmals ein fehlerhaftes Bild der Informatik. Dies führt dazu, dass Fortbildungen mit Informatik-Schwerpunkt als irrelevant oder als zusätzliche Belastung wahrgenommen werden. Außerdem fühlen sich einige Teilnehmende von Informatik-Inhalten überfordert. Durchgehend lässt sich festhalten, dass sich Lehrkräfte, insbesondere aufgrund der heterogenen Bildungsbiographien, viel Zeit für praktische Erprobungen anhand konkreter Beispiele für den Schulalltag wünschen. Damit einhergehend bevorzugen Informatik-Lehrkräfte Fortbildungen in Präsenz. Als ausschlaggebende Punkte zur Teilnahme an einer Fortbildung wurden von Multiplikator:innen u. a. die Freiwilligkeit und zeitliche Passung genannt.

Literatur

Arbeitskreis Lehrkräftebildung der GI, Hrsg.: Informatikkompetenzen für alle Lehrkräfte, GI – Gesellschaft für Informatik e. V., 2023, url: https://doi.org/10.18420/rec2023_064

Nenner, C., & Bergner, N. (2023). Informatische Fachkompetenzen von Grundschullehrkräften sichtbar machen: Ein Messinstrument mit Selbsteinschätzungs- und Aufgabenbasierter Komponente. In L. Hellmig & M. Hennecke (Hrsg.), *Informatikunterricht zwischen Aktualität und Zeitlosigkeit. 20. GI-Fachtagung Informatik und Schule (INFOS 2023)* [Lecture Notes in Informatics] (S. 217–226). Gesellschaft für Informatik e. V. <https://dl.gi.de/items/ae43099f-2cdd-4c80-ae15-eb7ec9832298>

Richter, E., & Richter, D. (2023a). *Fortbildungsmonitor: Ein Instrument zur Erfassung der Prozessqualität von Lehrkräftefortbildungen*. <https://doi.org/10.25656/01:27640>

11. Com^eNet Biologie

Margit Offermann, Nadine Großmann, Jörg Großschedl, Lea Gussen, Rebekka Karbstein, Svea Isabel Kleinert, Ricarda Lohrsträter, Steffen Schaal, Pascal Schal-dach, Matthias Wilde

Schwerpunkte in Forschung und Entwicklung

Das Com^eNet Biologie entwickelt und evaluiert eine adaptive Lehrkräftefortbildung, die sich auf den digitalen Einsatz von gestuften Lernhilfen (dgLh) im Biologieunterricht konzentriert. Der Schwerpunkt der Forschung besteht u. a. auf der Untersuchung der Intention von Lehrkräften dgLh im Biologieunterricht einzusetzen, sowie auf der Erhebung der motivationalen Regulation, der intrinsischen Motivation und des digitalisierungsbezogenen Wissens. In der Fortbildung sollen Teilnehmende das Konzept und die Anwendung dgLh kennenlernen. Durch den Einsatz dieser Lernhilfen können Diversitätsdimensionen wie bspw. unterschiedliche Leistungsfähigkeit bei der Gestaltung von zeitgemäßem Biologieunterricht zugunsten aller Schüler:innen berücksichtigt werden.

Um Barrierefreiheit zu berücksichtigen, müssen hohe Standards erfüllt werden. Durch die Verwendung von digitalen, Moodle-basierten H5P-Elementen oder QR-Lernhilfen sollen barrierefreie Zugänge erleichtert werden. So können Elemente wie Audiounterstützung, Glossare, Erklärvideos oder visuelle Unterstützungen in die Lernhilfen eingebunden und alternative Zugänge geschaffen werden.

Die Fortbildung ist modulartig aufgebaut und wird als Online-Selbstlerneinheit angeboten. Das Konzept wurde auf Grundlage evidenzbasierter Kriterien entwickelt (Lipowsky & Rzejak, 2021a). Durch das Selbstlern-Online-Format soll eine nachhaltige Nutzbarkeit gewährleistet und Möglichkeiten für Austausch und Reflexion geschaffen werden, die in der Fortbildung über ein Chat-Forum und Online-Austauschformate verwirklicht werden.

Ziele

Das übergeordnete Ziel der Fortbildung „Digital und Binnendifferenziert: Das Potential digital gestufter Lernhilfen für den Biologieunterricht“ ist es, Lehrkräfte dazu zu befähigen, digital gestufte Lernhilfen in ihren Unterricht zu integrieren. Der Einsatz (digital) gestufter Lernhilfen soll in erster Linie dabei unterstützen, die kognitive Heterogenität der Schüler:innen im Biologieunterricht zu adressieren. Das bedeutet, dass vor allem verschiedene Ausgangslagen des Vorwissens berücksichtigt werden sollen. Ziel ist es, den Unterricht so zu gestalten, dass er sowohl kognitiv herausfordernd als auch inklusiv ist. Zugleich können durch den Einsatz gestufter Lernhilfen auch unterschiedliche Motivationslagen berücksichtigt werden. Zudem soll die Fortbildung anhand einer praktischen Einsatzmöglichkeit zur Entwicklung von digitalen Kompetenzen bei Lehrkräften beitragen und durch evidenzbasierte Inhalte und der Zusammenarbeit mit Landesinstituten den Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis fördern.

Formate / Teilprojekte

In der Entwicklungsphase wurden erste deskriptive Ergebnisse in mehreren Pilotierungen erhoben. Der inhaltliche Fokus auf digitale Lernhilfen wurde positiv bewertet, insbesondere die Anschlussfähigkeit im Biologieunterricht. Kritische Rückmeldungen betrafen hauptsächlich den zeitlichen Ablauf sowie die Menge an Informationen. Das Feedback der Biologielehrkräfte wurde in der Konzeption der

Online-Fortbildung berücksichtigt, die seit September 2024 als Massive Open Online Course (MOOC) auf iMooX.at verfügbar ist und langfristig bestehen bleibt. Link zur Fortbildung: <https://imoox.at/course/DiBi>.

Berücksichtigung von Querschnittsthemen

In der Fortbildung wird Inklusion explizit durch das Thema der dgLh angesprochen. Solche Lernhilfen ermöglichen eine Bearbeitung von komplexen Problemstellungen, trotz des unterschiedlichen (Vor)-Wissens der Lernenden.

Die Sustainable Development Goals (SDGs) setzen sich aus 17 globalen Zielen zusammen, die von den Vereinten Nationen im Jahr 2015 verabschiedet wurden. Die SDGs sind integraler Bestandteil der Agenda 2030, einem globalen Aktionsplan zur Förderung nachhaltiger Entwicklung in ökonomischer, sozialer und ökologischer Hinsicht. Mit der Fortbildung werden explizit die Ziele „Hochwertige Bildung“ sowie „weniger Ungleichheiten“ angesprochen. Das Ziel **„Hochwertige Bildung“**, bezieht sich auf den Zugang zu inklusiver, gerechter und hochwertiger Bildung für alle Menschen und das lebenslange Lernen. In Bezug auf hochwertige Bildung sollen gestufte Lernhilfen dabei helfen, naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung unabhängig des Geschlechts zu fördern und dabei individuelle Anforderungen zu berücksichtigen. Auch das Ziel **„Weniger Ungleichheiten“**, soll durch den inklusiven Ansatz, d. h. die Einbindung digitaler Unterstützungsformate im inklusiven Biologieunterricht gefördert werden. Es zielt darauf ab, Ungleichheiten zu verringern und konzentriert sich auf die Förderung von Inklusion und Gerechtigkeit, unabhängig von Alter, Geschlecht, Herkunft, ethnischer Zugehörigkeit, Religion oder wirtschaftlichem Status. Ziel 10 umfasst Maßnahmen wie die Beseitigung von Diskriminierung, den Abbau sozialer (und wirtschaftlicher) Ungleichheiten und die Förderung von gleichen Chancen für alle Menschen. Der Einsatz gestufter Lernhilfen im Unterricht bedeutet, dass Schüler:innen je nach ihrem individuellen Leistungsniveau und Lern- und Förderbedarf unterschiedliche Unterstützung nutzen können, um den Lernstoff erfolgreich zu verarbeiten. Sie ermöglichen es, dass jede:r Schüler:in entsprechend seiner/ihrer Fähigkeiten lernen kann, was zur Reduzierung von Bildungsungleichheiten beiträgt.

Entwicklungs- und Erkenntnisstand / lessons learnt

Erste qualitative Ergebnisse aus den Pilotierungen mit Biologielehrkräften und Lehramtsstudierenden zeigen, dass die Inhalte und die Struktur der Fortbildung eine gute Passung zu den Anforderungen im Biologieunterricht aufweisen. Das Thema der digital gestuften Lernhilfen wurde als relevant und interessant wahrgenommen. Kritik gab es an der Länge der Inputphase im Verhältnis zu der Arbeitsphase, sodass insbesondere die Zeitstrukturierung überarbeitet werden musste. Die anstehende quantitative und qualitative Beforschung des Fortbildungserfolges in Bezug auf das digitalisierungsbezogene Wissen und die Intention zum Einsatz dgLH im Biologieunterricht soll weiter Aufschluss über die Wirksamkeit der final konzipierten Fortbildung geben. Weiterhin soll qualitativ untersucht werden, ob die kurzen Online-Selbstlerneinheiten als hilfreich wahrgenommen wurden und inwiefern die Möglichkeiten zum Online-Austausch genutzt und als relevant angesehen werden. Insgesamt sollen Gelingensbedingungen von Massive Open Online Courses (MOOCs) als Professionalisierungsangebote für Biologielehrkräfte herausgearbeitet werden und eine Änderung in der Verhaltensintentionen von Lehrkräften vor und nach Teilnahme an der Fortbildung näher beleuchtet werden.

Aktuelle Ergebnisse aus den Pilotierungen geben erste Hinweise darauf, dass die Fortbildung einen positiven Einfluss auf die Weiterentwicklung des TPACK (technical-pedagogical-content-knowledge) haben könnte. Dies könnte ein erster Hinweis auf die Wirksamkeit der Fortbildung in Bezug auf die Weiterentwicklung des digitalisierungsbezogenen Wissens der Teilnehmenden sein (Karbstein et al., 2024). Ziel wäre, durch größere Stichproben sowie möglicherweise Kontrollgruppen diese Tendenzen zu bestätigen. Zugleich ist ein qualitativer Ansatz denkbar, bei dem untersucht wird, welche Elemente der Fortbildung in den erstellten Lernhilfen der Teilnehmenden umgesetzt werden.

Literatur

Karbstein, R., Brändle, M., Großmann, N., Großschedl, J., Gussen, L., Hering, M., Kleinert, S., et al. (2024). Digital gestufte Lernhilfen als Vehikel der digitalitätsbezogenen Lehrkräfte-Professionalisierung im Biologieunterricht . *Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik*, 24, 1-18. <https://doi.org/10.21240/lbzm/24/12>

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021a). Welche Art von Fortbildung wirkt? In Jungkamp B., & Pfafferott M. (Hrsg.), *Was Lehrkräfte lernen müssen. Bedarfe der Lehrkräftebildung in Deutschland*. Friedrich Ebert Stiftung. <https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/18117.pdf>

12. Com^eNet Chemie

Jonas Ponath, Pascal Pollmeier, Sabine Fechner, Rebecca Grandrath, Claudia Bohrmann-Linde, David Weiser, David Ditter, Rebekka Ditter, Karin Siepmann, Soraya Cornelius, Isabel Rubner, Adrian Hoffmann, Katrin Sommer

Im Com^eNet Chemie sind die Standorte Bochum, Paderborn, Weingarten und Wuppertal vertreten. Die jeweiligen Standorte zeichnen sich durch Expertise in verschiedenen Bereichen der Digitalisierung für den Chemieunterricht aus, die in Abbildung 20 zusammengeführt ist.

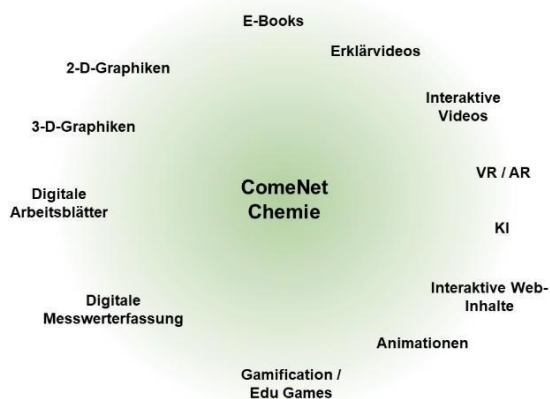


Abbildung 20: Digitalisierungsbezogene Expertise im Com^eNet Chemie (eigene Darstellung)

Schwerpunkte in Forschung und Entwicklung

Insgesamt beschäftigt sich das Com^eNet Chemie mit der zielgerichteten Anreicherung des Chemieunterrichts mithilfe von digitalen Medien in authentischen Kontexten und der Erfassung digitalisierungsbezogener Kompetenzen von Chemielehrkräften. Das umfasst beispielsweise die Erweiterung des herkömmlichen Chemieunterrichts durch z.B. die Erstellung von digitalen Lernumgebungen beziehungsweise die Bereitstellung von digitalen Anreicherungen. Dabei werden auch Potentiale und Grenzen von KI im curricularen Kontext berücksichtigt. Die Kontextualisierungen behandeln authentische und motivierende Beispiele für die Lernenden. Dazu werden beispielsweise Erklärvideos oder Escape Games genutzt, die zum Teil auch in Kombination mit digitaler Messwerterfassung stehen.

Ziele

Das Com^eNet Chemie hat sich zum Ziel gesetzt, adaptive Fortbildungsmodule zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen für den Chemieunterricht zu entwickeln, erproben und iterativ im Design-Based-Research-Ansatz (DBR) weiterzuentwickeln. Dazu verfolgen die Fortbildungsmodule jeweils einen dreiteiligen Verlauf, der in Abbildung 21 skizziert ist.



Abbildung 21: Übergreifende Struktur der Fortbildungen im Com^eNet Chemie (eigene Darstellung)

Zur Beforschung von Gelingensbedingungen der Fortbildungen sowie des Kompetenzzuwachses werden Fragebögen im Prä-Post-Design verwendet.

Berücksichtigung von Querschnittsthemen

In den verschiedenen Fortbildungsmodulen wurden z.T. Schwerpunkte gelegt und die Querschnittsaufgaben Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) sowie Inklusion in jeweils authentischem Umfang aufgegriffen.

Beispielsweise werden am Standort Paderborn kontextualisierte Lernumgebungen im Bereich Ernährung und Nachhaltigkeit in Fortbildungen integriert, in denen mithilfe von digitaler Messtechnik Parameter von gängigen Lebensmitteln untersucht und die Eignung der Lerninhalte im Kontext von BNE kritisch-konstruktiv diskutiert wird. Im Rahmen des Com^eNet Chemie wird BNE als integratives Bildungskonzept betrachtet, das die Befähigung zu zukunftsfähigem Denken und Handeln in den Mittelpunkt stellt (Haan et al., 2008). Dabei berücksichtigt das Com^eNet Chemie Schnittmengenmodelle, um Dimensionen der Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch, politisch, sozial und kulturell) aufzugreifen (Pufé, 2017; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019f). Als etabliertes Fortbildungsangebot sei auf „Wege aus der Klimakrise“ vom Standort Wuppertal verwiesen. Die Fortbildungsformate adressieren zudem jeweils unterschiedliche Sustainable Development Goals (SDGs). Dabei werden die SDGs 2,4,6,7,9,11,13 und 14 berücksichtigt. Eine detailliertere Zuordnung findet sich in der BNE-Handreichung des Com^eMINT-Projektes.

Weiter wird auch der Schwerpunkt Inklusion unter Berücksichtigung des Universal Design for Learning (UDL) differenziert betrachtet (Stinken-Rösner et al., 2020). So ist am Standort Weingarten die Fortbildung „Interaktives und differenziertes Lernen im Chemieunterricht: Möglichkeiten von H5P am Beispiel von Kunststoffen“ entstanden, die in besonderem Maße inklusionssensible Darstellungsformate bedient: Beispiele hierfür sind taktile Modelle und digitale Simulationen, die es Lernenden mit motorischen oder sensorischen Einschränkungen ermöglichen, aktiv an chemischen Experimenten teilzunehmen.

In der Gesamtschau der im Com^eNet Chemie entstandenen Fortbildungen wird dem Anliegen der Querschnittsaufgaben somit entsprochen.

Literatur

Haan, G. de, Kamp, G., Lerch, A., Martignon, L., Müller-Christ, G., & Nutzinger, H.-G. (Hrsg.). (2008). *Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit: Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen* [Ethics of Science and Technology Assessment, 33]. Springer.

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (2019f). *Leitlinie für Bildung nachhaltige Entwicklung*. Schule in NRW Nr. 9052. https://www.schulministerium.nrw/sites/default/files/documents/Leitlinie_BNE.pdf

Pufé, I. (2017). *Nachhaltigkeit* (3. Aufl.). UVK Verlag. [utb, 8705].

Stinken-Rösner, L., Rott, L., Hundertmark, S., Baumann, T., Menthe, J., Hoffmann, T., Nehring, A., & Abels, S. (2020). Thinking inclusive science education from two perspectives: Inclusive pedagogy and science education. *RISTAL*, 3, 30–45.

13. Com^eNet Physik

Rike Große-Heilmann, André Bresges, Jan-Philipp Burde, Kasim Costan, Jannik Henze, Simon Höfting, Christoph Kulgemeyer, Katja Plicht, Josef Riese, Sascha Moritz Therolf, David Weiler

Schwerpunkte und Ziele in Forschung und Entwicklung

Im Rahmen des Com^eNets Physik wird ein adaptives Fortbildungskonzept für Physiklehrkräfte entwickelt, das den fachdidaktisch sinnvollen Einsatz digitaler Medien im Unterricht zum Ziel hat (s. Abb. 22). Die Entwicklung des Fortbildungskonzepts erfolgte dabei orientiert an den Ergebnissen einer Bedürfnisanalyse mit Physiklehrkräften sowie Aspekten wirksamer Fortbildungen (Barzel & Selter, 2015; Lipowsky, 2023). Das Konzept sieht in einer ersten Phase vorbereitende Online-Selbstlernmodule zu digitalen Medien vor, die nach eigenem Bedarf und Interesse oder auf Basis der Ergebnisse einer freiwilligen Eingangsdiagnose ausgewählt werden können (s. unten). In einer zweiten Phase erfolgt die anknüpfende Vertiefung und Anwendung der gelernten Inhalte in Präsenzfortbildungen.

Die Selbstlernmodule sind in einem Online-Kurs (MOOC) zum Einsatz digitaler Medien zur eigenständigen sowie zeit- und ortsunabhängigen Bearbeitung implementiert. Sie bestehen aus kurzen Instruktionsvideos, begleitenden Materialien, Aufgaben zum Ausprobieren, Austauschformaten sowie Quizen zur Selbstüberprüfung. Neben Grundlagenmodulen werden z. T. auch vertiefende Module angeboten, die anwendungsorientierte Aufgaben und Inhalte enthalten.

In anknüpfenden halbtägigen Präsenzfortbildungen zu einzelnen Medien erhalten die Teilnehmenden die Möglichkeit, Erfahrungen zu diskutieren, konkrete Unterrichtssequenzen zu planen und Unterrichtsmaterialien zu entwickeln, um diese in der eigenen Schulpraxis zu erproben. Ein optionales (Online-)Nachtreffen ermöglicht die gemeinsame Reflexion der ersten Umsetzung in der Schule.

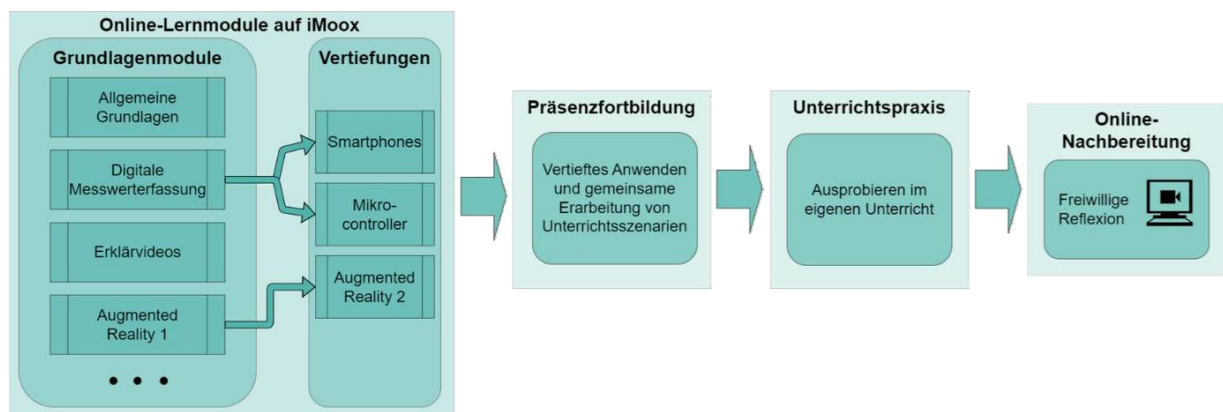


Abbildung 22: Fortbildungskonzept im Com^eNet Physik (eigene Darstellung)

Die Inhalte der Fortbildungsmodule im Com^eNet Physik sind:

- Fachdidaktische Grundlagen zum Einsatz digitaler Medien
- Digitale Messwerterfassung (mit Vertiefungen zu Smartphone-Experimenten und Mikrocontrollern)
- Videoanalyse im Kontext von Physik und Sport
- Simulationen und Animationen
- Erklärvideos
- Interaktive Bildschirmexperimente
- Augmented Reality

- 3D-Druck im (inklusiven) Unterricht
- Künstliche Intelligenz im Klassenzimmer
- Mathematische Modellbildung

Das Fortbildungskonzept wird hinsichtlich Wirksamkeit und Prozess- und Transferqualität (Richter & Richter, 2023b) sowie in Bezug auf die Akzeptanz der vorgestellten Medien begleitend beforcht.

Implementation eines Self-Assessments im Online-Kurs

Mit einer freiwilligen Eingangsdiagnose zu Beginn des Online-Kurses wird den Teilnehmenden ein Self-Assessment aus einem Leistungstest zum Fachdidaktischen Wissen zum Einsatz digitaler Medien angeboten. Dieses sieht eine automatisierte Rückmeldung zur eigenen Leistung und darauf aufbauende Empfehlungen für die Bearbeitung von Grund- oder Vertiefungsmodulen im Kurs vor. Mit diesem adaptiven Ansatz soll die Heterogenität hinsichtlich der Vorerfahrungen von Lehrkräften mit digitalen Medien im Physikunterricht berücksichtigt werden. Unabhängig davon kann die Wahl der Module im Online-Kurs auch nach eigenem Interesse und Bedarf erfolgen, um die Autonomie der Lehrkräfte nicht einzuschränken.

Berücksichtigung von Querschnittsthemen

Die Querschnittsthemen Inklusion und Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) werden im Com^eNet Physik vereinzelt in den entwickelten Fortbildungsmodulen berücksichtigt.

Mit dem Modul „3D-Druck für den (inklusiven) Unterricht“ widmet sich ein Modul explizit dem Querschnittsthema Inklusion (Standort Köln). Das Modul vermittelt den Teilnehmenden den 3D-Drucker als vielseitiges Werkzeug zur Individualisierung des Unterrichts. Lehrkräfte lernen, wie sie kostengünstig und effizient maßgeschneiderte 3D-Lehrmaterialien für ihre Schüler:innen entwickeln und den 3D-Druck aktiv in den inklusiven Unterricht einbinden können.

Zudem wird das Thema Inklusion und Heterogenität im Com^eNet Physik adressiert, indem das Fortbildungsangebot selbst heterogenitätssensibel gestaltet ist und der implementierte Online-Kurs Aspekte der Barrierefreiheit berücksichtigt.

Das Querschnittsthema BNE wird vereinzelt in den entwickelten Fortbildungsmodulen im Sinne einer emanzipatorischen BNE berücksichtigt, beispielsweise durch Bezüge zur Sachkompetenz und Vermittlungskompetenz aus den BNE-Kompetenzen für Lernende und Lehrende sowie zum Ziel 4 „Hochwertige Bildung“ der 17 Nachhaltigkeitsziele (s. Kap. 5).

Entwicklungs- und Erkenntnisstand

Die Bedürfnisanalyse verdeutlichte, dass Physiklehrkräfte Fortbildungen im Format halbtägiger Präsenzveranstaltungen bevorzugen, in denen ihnen vertiefende Übungsgelegenheiten geboten werden. Wenn Online-Selbstlernangebote bearbeitet werden sollen, bevorzugen die Lehrkräfte diese in kompakter Form. Im Hinblick auf die inhaltlichen Präferenzen waren Einbettungsmöglichkeiten von Schüler:innenexperimenten mit digitalen Medien sowie das Ausprobieren von digitalen Medien wie Augmented Reality und Smartphone-Experimenten am beliebtesten (Weiler et al., 2024).

Der **Online-Selbstlernkurs „Einsatz digitaler Medien im Physikunterricht“** ist seit November 2024 auf der Plattform iMooX implementiert und steht kostenfrei zur eigenständigen, zeit- und ortsunabhängigen Bearbeitung für Interessierte zur Verfügung. Erste Nutzungen haben bereits stattgefunden. Link zum Kurs: <https://imoox.at/course/digitalerPhysikunterricht>

Literatur

Barzel, B. & Selter, C. (2015): Die DZLM-Gestaltungsprinzipien für Fortbildungen. JMD: Special Issue. Lehrerfortbildung/Multiplikatoren Mathematik – Konzepte und Wirkungsforschung, 36(2), 259-284. <https://doi.org/10.1007/s13138-015-0076-y>

Lipowsky, F. (2023). *Die acht Punkte guter Lehrerfortbildung*. Table Media. <https://table.media/bildung/standpunkt/die-acht-punkte-guter-lehrerfortbildung/> [Abgerufen am 13. April 2023].

Richter, E., & Richter, D. (2023b). *Measuring the quality of teacher professional development – A large-scale validation study of an 18-items instrument for daily use*. OSF Preprints. <https://doi.org/10.31219/osf.io/qr4t5>

Weiler, D., Burde, J., Costan, K., Große-Heilmann, R., Kulgemeyer, C., Riese, J., & Schubatzky, T. (2024). *Förderung digitaler Kompetenzen von Physik-Lehrkräften im Com^eNet Physik. PhyDid B – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2024 in Greifswald*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1414>

14. Com^eNet Sachunterricht

Maja Brückmann, Nicola Meschede, Marie-Theres Ronnebaum, Marie Schübler, Claudia Tenberge, Anna Windt

Ziele

- Konzeption, Evaluation und Bereitstellung von Fortbildungsangeboten für den lernwirksamen und diversitätssensiblen Einsatz digitaler Medien im naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht zur Weitergabe an Multiplikator:innen
- Förderung fachspezifischer sowie fächerübergreifender digitalisierungsbezogener Kompetenzen von Lehrkräften

Schwerpunkte in Forschung und Entwicklung

Inhaltliche Schwerpunkte bei der Konzeption der Fortbildungsangebote:

- Kognitive Aktivierung & konstruktive Unterstützung (Kunter & Trautwein, 2013) mit digitalen Medien
- **Standortspezifische Schwerpunkte:**
- Standort **Münster**: Digitalgestütztes Unterrichten fächerübergreifend im Mathematik- und Sachunterricht (mit dem Com^eNet Mathematik)
- Standort **Paderborn**: Digitalgestütztes Unterrichten im Übergang von der Primar- zur Sekundarstufe im Kontext Computational Thinking
- Standort **Oldenburg**: Digitalgestütztes Unterrichten im Kontext von BNE anhand von Themen der Gesundheitsbildung
- Konzeption der Fortbildungsangebote unter Berücksichtigung von Merkmalen lernwirksamer Lehrkräftefortbildungen (Lipowsky & Rzejak, 2021a; Kleickmann et al., 2016), s. Abbildung 23
- Konzeption & Evaluation der Fortbildungsangebote im Design-Based-Research-Ansatz mit zwei Zyklen

Berücksichtigung zentraler Kriterien lernwirksamer Fortbildungen

(z.B. Kleickmann, 2015; Kleickmann et al., 2016; Lipowsky & Rzejak, 2021a)

- Inhaltliche Fokussierung: standortspezifische Konkretionen
- Wechsel von Input-, Erprobungs- und Reflexionsphasen: hybride, modular aufgebaute Fortbildungsstruktur
- Adaptives Fortbildungsdesign: Bedarfsabfrage an Lehrkräfte, Feedback & Coaching
- Kollegiale Kooperation & Austausch: Teilnahme in Tandems wünschenswert
- Praxisbezug: Bereitstellung von Unterrichtskonzepten und -material
- Angemessene Fortbildungsdauer: Konzeption einer Fortbildungsreihe



Abbildung 23: Konzeption der Fortbildungsangebote entsprechend Kriterien lernwirksamer Lehrkräftefortbildungen (eigene Darstellung)

Berücksichtigung von Querschnittsthemen

- Berücksichtigung einer **Bildung für nachhaltige Entwicklung**, insbesondere am Standort Oldenburg, durch das Sustainable Development Goal (SDG) 3 „Good Health and Well-Being“ (UN, 2015) im Rahmen der Beschäftigung mit Themen der Gesundheitsbildung. Darüber hinaus Berücksichtigung des SDG 4 „Quality Education“ (ebd.) durch die Konzeption und Bereitstellung fachlich fundierter, evidenzbasierter Professionalisierungsangebote in der Lehrkräftebildung.
- Die Fortbildungsangebote beziehen sich auf einen **diversitätssensiblen, inklusionsorientierten Sachunterricht**, der Vielfalt und Verschiedenheit als Bereicherung sieht und sich unter anderem an den Grundwerten von Giest et al. (2011) und Kaiser und Seitz (2017) orientiert.

Literatur

Giest, H., Kaiser, A., & Schomaker, C. (Hrsg.). (2011). *Sachunterricht – auf dem Weg zur Inklusion*. Verlag Julius Klinkhardt.

Kaiser, A., & Seitz, S. (2017). *Inklusiver Sachunterricht: Theorie und Praxis*. Schneider Verlag Hohengrehren

Kleickmann, T. (2015). Professionelle Kompetenz von Primarschullehrkräften im Bereich des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 8(1), 7–22.

Kleickmann, T., Tröbst, S., Jonen, A., Vehmeyer, J., & Möller, K. (2016). The effects of expert scaffolding in elementary science professional development on teachers' beliefs and motivations, instructional practices, and student achievement. *Journal of Educational Psychology*, 108(1), 21–42. <https://doi.org/10.1037/edu0000041>

Kunter, M., & Trautwein, U. (2013). *Psychologie des Unterrichts* (1. Aufl.). Brill | Schöningh. <https://doi.org/10.36198/9783838538952>

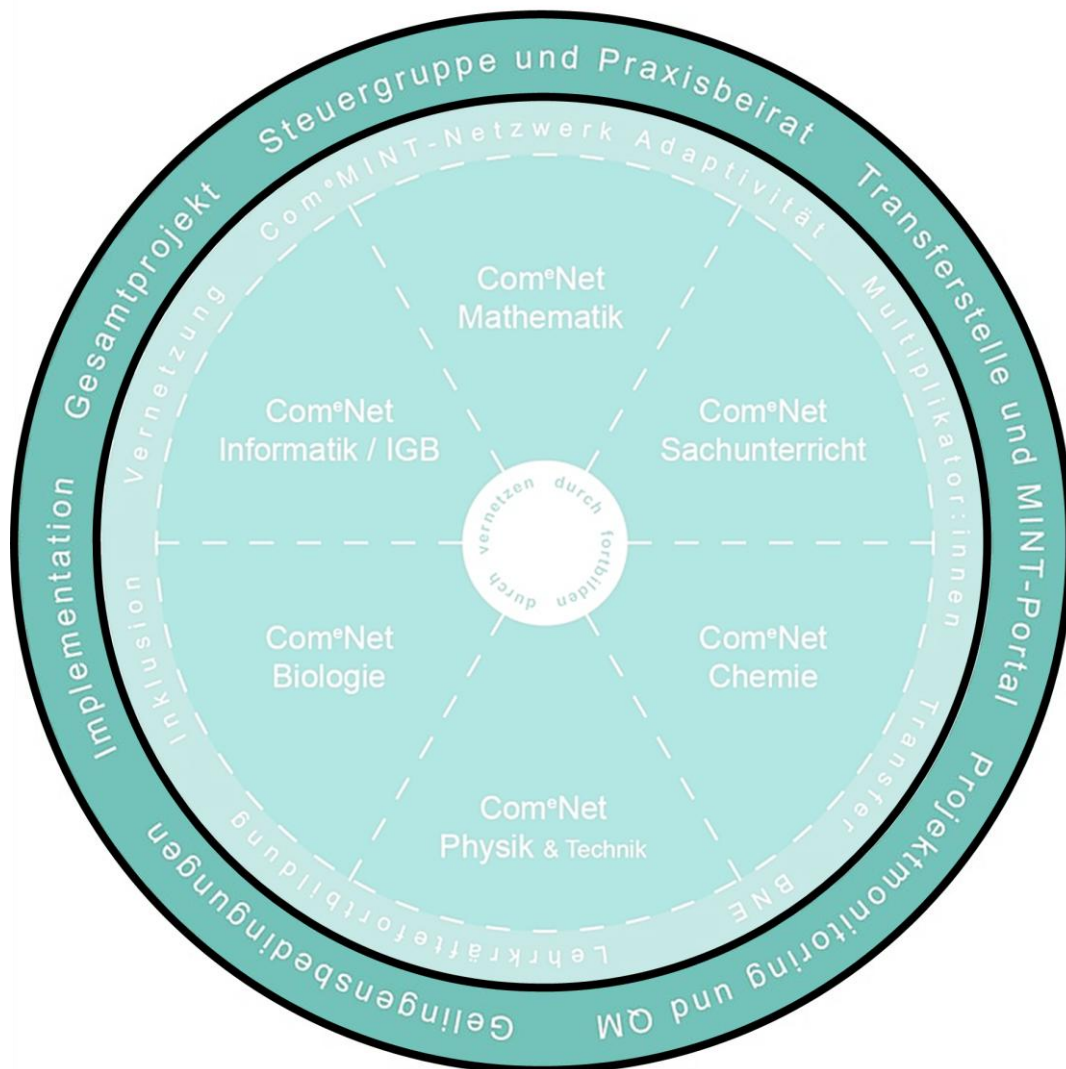
Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021a). Welche Art von Fortbildung wirkt? In Jungkamp B., & Pfafferott M. (Hrsg.), *Was Lehrkräfte lernen müssen. Bedarfe der Lehrkräftebildung in Deutschland*. Friedrich Ebert Stiftung. <https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/18117.pdf>

United Nations. (2015). *Sustainable Development Goals*. United Nations. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/> [Abgerufen am 19. November 2024].

Teil III

Interoperables Metaportal

Com^eMINT-Netzwerk



Ein Projektverbund von
lernen:digital
Kompetenzzentrum
MINT



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert vom:



Bundesministerium
für Bildung, Familie, Senioren,
Frauen und Jugend

15. Interoperables Metaportal zur Dissemination von OER für die MINT-Lehrkräftebildung

Moritz Rüller, Manfred Holodynski

Ein wesentliches Ziel der Kompetenzverbünde von lernen:digital ist nicht nur die Erstellung und Evaluation digitalisierungsbezogener Fortbildungskonzepte und -materialien, sondern auch deren Dokumentation und Bereitstellung für die dritte Phase der Lehrkräftebildung über die Projektlaufzeit hinaus (Dissemination).

Lehrkräftefortbildungen: Strategien und neue Akteure

Eine Disseminationsstrategie hat eine organisationale Seite: Wer in welcher Rolle führt eine Lehrkräftefortbildung (LFB) mit welchen Materialien durch? Und eine akteursbezogene Seite: Wer fragt wo, wie und zu welchen Themen eine LFB nach? LFB werden in den Bundesländern von offizieller Seite durch die Landesinstitute organisiert. Zugleich treten Lehrkräfte (LK) als Multiplikator:innen für ihr Kollegium, etwa organisiert in Netzwerken², oder als Selbstlernende auf. Kritische Bestandsaufnahmen zeigen, dass Angebotsqualität und -quantität sowie die Nutzung bei LFB stark variieren und ein verbindliches Curriculum quasi nicht existiert (Daschner, 2023; Keuffer, 2021).

Zugleich kennt die empirische Bildungsforschung Kriterien wirksamer Fortbildungen (Lipowsky & Rzejak, 2023); und inhaltlich lassen sich neben den fachlichen auch unschwer übergreifende Handlungsfelder wie etwa Inklusion, Bildung für Nachhaltige Entwicklung und Digitalisierung als relevant identifizieren. Bzgl. der empfohlenen Evidenzbasierung werden zunehmend Universitäten auch in der dritten Phase der LFB als zu beteiligende Akteure gesehen (Kultusministerkonferenz, 2020; Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK), 2023).

So möchte auch Com^eMINT diverse Akteure der LFB als Multiplikator:innen adressieren. Während der Projektlaufzeit bedeutet dies die Durchführung, Evaluation und Anpassung der konzipierten Fortbildungsformate. Dem schließt sich die Bereitstellung für das System der LFB an, ohne dass man aber selbst als Anbieter:in einer konkreten Fortbildung auftritt bzw. verfügbar ist.

Die infrastrukturelle Seite der Dissemination: OER Metaportal

Com^eMINT setzt (wie auch Com^eSport und Com^eArts) auf Nachnutzbarkeit erprobter LFB als öffentlich zugängliche Open Educational Resources (OER)^{3,4}. Dabei wird Dissemination hier nicht verstanden als das Anbieten eines Learning Management Systems (LMS, wie etwa Moodle) zur Durchführung einer Fortbildung mit einer bestimmten Gruppe von LK^{5,6}. Es geht vielmehr um eine Infrastruktur zur Suche und Filterung im Sinne eines Portals und um ein dahinter liegendes Repositorium, in dem Konzepte und Materialien möglichst langfristig und unabhängig von

² Siehe beispielsweise das Deutsche Zentrum für Lehrkräftebildung Mathematik: <https://www.dzlm.de/multiplikatorinnen-und-multiplikatoren>

³ Siehe das OER Info-Portal für einen generellen Überblick: <https://open-educational-resources.de/>

⁴ Siehe die OER-Strategie des BMBF: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/DE/3/691288_OER-Strategie.html

⁵ So etwa der MINTCampus (<https://mintcampus.org/>) als BMBF-geförderte Initiative des Stifterverbands zur Bereitstellung von Selbstlernkursen.

⁶ In der Tat stellt auch ein hochschul- bzw. institutionen- bzw. länderübergreifend nutzbares LMS eine Leerstelle dar. Im Rahmen der Com^e-Projekte lassen sich zur Erprobung der Fortbildungsangebote z.T. zwar hochschulgebundene Moodle-Plattformen mittels Gastzugang auch durch Nicht-Hochschul-Angehörige nutzen, allerdings ist dies kein langfristig verfügbarer Operationsmodus. Immerhin gibt es Ansätze wie LOGINEO NRW LMS (<https://logineonrw-lms.de/>) als landesweit administriertes LMS, welches Schulen ohne eigene Lernplattform sowie die Zentren für schulpraktischen Lehrerausbildung (2. Phase der Lehrkräftebildung) nutzen können. Allerdings bleibt dies weiterhin auf ein Bundesland und auf Teilnehmende innerhalb der Institutionen beschränkt.

Projektlaufzeiten und -mitarbeitenden und von einem bestimmten Anbieter für potenzielle Multiplikator:innen vorgehalten werden. Dies ermöglicht die Nachnutzbarkeit in einem akteurs- und bundeslandübergreifenden System. Die Nutzung (und Weiterentwicklung) einschlägiger Metadaten für den Bildungs- bzw. speziell den Fortbildungsbereich (Oellers & Rörtgen, 2024; Tischler et al., 2022) ist dabei ein wichtiger Baustein. Denn wenn man nicht gezielt anhand von Metadaten nach einer Ressource sucht, gehen Bildungsmaterialien trotz performanter, allgemeiner Suchmaschinen häufig in Suchtreffern unter.

OER-Portale für Schule und Hochschule – Leerstelle im Fortbildungsbereich

Obschon OER kein neues Phänomen ist, haben sie im Bereich *Unterrichtsmaterialien* in Deutschland während der Corona-Pandemie einen deutlichen Schub erfahren, weil in kurzer Zeit digital gestützter Distanzunterricht durch LK gestemmt werden musste. In diesem Kontext ist die OER-Plattform WirLernenOnline (WLO) zu nennen, wobei Fördermittel des BMBF auf einen communitybasierten Entwicklungsansatz trafen⁷. Zugleich entstand als gemeinsames Projekt der Bundesländer die Infrastruktur Mundo/Sodix^{8,9}. Auch für den Bereich Hochschule existieren OER-Plattformen, die entsprechend der föderalen Zuständigkeit als hochschulübergreifende, aber länderspezifische Projekte betrieben werden. Einige dieser Plattformen¹⁰ basieren auf der WLO zu Grunde liegenden edusharing-Software. Durch den communitybasiert entwickelten Suchindex OERSI¹¹ werden Metadaten harmonisiert und zwischen diesen Plattformen automatisiert ausgetauscht, was eine föderierte Suche ermöglicht¹². So wird Interoperabilität und das Branding eines Portals entsprechend seiner Provenienz zugleich ermöglicht.

Während dem Hochschulsektor durch Freiheit von Forschung und Lehre eine gewisse Flexibilität bei der Wahl von Inhalten, Methoden und Infrastrukturen eingeschrieben ist und die Pandemie im Schulwesen als akuter Notstand Prozesse in Gang gebracht hat, gibt es für die LFB in Deutschland bislang keine einschlägig bekannten OER-Plattformen im beschriebenen Sinne¹³. Dies mag auch damit zusammenhängen, dass zumindest das offizielle System der LFB bisher nach außen relativ abgeschottet ist. So existiert beispielsweise als länderübergreifende Kooperation die Plattform ComPleTT (Kiesler & Schiffner, 2022), auf der die Landesinstitute gemeinsam an Kursen arbeiten, aber es handelt sich um ein geschlossenes System¹⁴.

⁷ WLO (<https://wirlernenonline.de/>) entstand auf Initiative des Bündnis' Freie Bildung sowie von Wikimedia Deutschland. Die Plattform basiert auf der Software des gleichnamigen, WLO tragenden Vereins edu-sharing-net e.V., mit der auch weiteren länderspezifischer OER-Portale wie Twillo, ZOERR usw. betrieben werden.

⁸ Mundo (<https://mundo.schule>) bzw. Sodix, finanziert durch den DigitalPakt Schule, wurde durch das Medieninstitut der Länder (FWU – Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht gGmbH) entwickelt. Anfangs wurden insbesondere audiovisuelle Medien etwa des Öffentlich-Rechtlichen Rundfunks als Unterrichtsbausteine bereitgestellt, wobei inzwischen auch die Einreichung weiterer Materialien durch Dritte möglich ist.

⁹ Füller (2021) betrachtete für den Tagesspiegel seinerzeit kritisch die parallel vorangetriebenen Entwicklungen.

¹⁰ Siehe etwa Twillo (Niedersachsen, <https://www.twillo.de>), ZOERR (Baden-Württemberg, <https://www.oerbw.de/>), OpenEdu-RLP (Rheinland-Pfalz, <https://www.openedu-rlp.de/>)

¹¹ Der Open Educational Resources Search Index (<https://oersi.org/>) versteht sich als Sucheinstieg für verteilte Repositorien und ermöglicht es, etwa vorgefilterte Suchtreffer auch in Webseiten per WordPress-Plugin einzubinden.

¹² Inhalte etwa von WLO werden etwa auch auf Twillo angezeigt, wobei der Aufruf der Ressource dann zum Repositorium führt.

¹³ Eine Übersicht über OER-Infrastrukturen in verschiedenen Ebenen des Bildungssystems: <https://jointly.info/oer-it-2/>

¹⁴ In diesem Moodle-basierten System werden Kurse erstellt und zum Export für die Landesinstitute bereitgestellt. ComPleTT wurde zwar für die Projektverbünde von lernen:digital geöffnet im Sinne der Einbeziehung von Universitäten bei der Konzeption von Fortbildungsangeboten. Jedoch bleiben anders als bei einem OER-Portal im Sinne eines Content-Hubs, der allgemein zugänglich ist, weitere potenzielle Multiplikator:innen ausgeschlossen. Zudem bleiben Konzepte bzw. Materialien, die kein fertiger Kurs sind, unberücksichtigt. Zwar gibt es in 2025 die Entwicklung, dass ComPleTT mit einem Suchportal für weitere Materialien basierend auf Mundo/Sodix verwoben wird, doch bleibt dies weiterhin ein geschlossenes System.

WLO-basiertes Metaportal als Disseminationsinfrastruktur in den Com^e-Projekten

Anstelle ausschließlich auf ein projektbezogenes Webportal zu setzen, spricht vieles dafür, an bestehende OER-Ansätze, Metadaten und die Interoperabilität existierender Plattformen anzuschließen. Bereits im Projekt Com^eIn¹⁵ wurde dazu WLO nutzbar gemacht, was auch in den Projekten Com^eMINT/Sport/Arts weiterverfolgt wird. Als Redaktionsumgebung steht den Projektmitarbeitenden eine Community mit fachlich sortierter Sammlungsstruktur zur Verfügung. Die Ressourcen tauchen in der allgemeinen WLO-Suche und über OERSI auch in weiteren wie den oben genannten Portalen auf. Zugleich wird der zugrundeliegende Projektkontext durch die Einbettung in die Projektwebseiten als spezifische Portale sichtbar gemacht¹⁶. Eine Suche und Filterung ist für Nachnutzende anhand einschlägiger Metadatenfelder möglich, wozu etwa das Fach, der Ressourcentyp, der Lehr-Lernkontext, aber auch anvisierte Kompetenzen für LK entsprechend des europäischen Rahmens DigCompEdu (Redecker, 2017) gehören.

Hinter einem Suchtreffer bzw. Angebot verbergen sich Sequenzen aus im Repository abgelegten Medien, aber auch verlinkten Webressourcen, wobei einige Dateitypen wie z.B. PDF, Video, aber auch Inhaltspakete wie H5P nicht nur heruntergeladen, sondern direkt im Browser gerendert werden können. Die Möglichkeit der Abbildung komplexerer Ressourcenpakete in WLO ist gerade für ganze Fortbildungsangebote relevant, während die alternative OER-Infrastruktur Mundo/Sodix kleinteiliger nur einzelne Medien, etwa ein Lernvideo, erfasst und als Suchtreffer ausgeben kann. In Com^eMINT werden die Ressourcenpakete stets mit einem Nutzungskonzept ausgeliefert, welches im Sinne einer Regieanweisung die Multiplikator:innen beim Einsatz der vorgefundenen Materialien anleiten soll.

Fazit

Die Nutzung einer interoperablen Infrastruktur, die langfristig besteht, begegnet dem häufigen Problem einer projektbedingten Silobildung und einer durch begrenzte Förderzeiten entstehenden Kurzfristigkeit, während der OER-Gedanke eine Rechtssicherheit für Nachnutzende schafft.

Darüber hinaus stellt sich die Herausforderung, wie die multiplen Sucheinstiege Multiplikator:innen der LFB auch tatsächlich jenseits der Projektphase erreichen. Denn die Fortbildungsressourcen müssen im WLO-Portal erst durch eine informierte Filterauswahl von Unterrichtsmaterialien abgegrenzt werden. Daher wäre eigentlich der Aufbau einer bzw. mehrerer edusharing-Instanzen gezielt für den Bereich LFB wünschenswert. So könnten etwa weiterhin Landes-Repositoryn betrieben (oder eben die existierenden Plattformen für den Hochschulbereich weitergenutzt werden, was eine Verzahnung der Phasen 1-3 der Lehrkräftebildung widerspiegeln würde) und in weitere OER-bezogene Landesaktivitäten eingebettet werden. Zugleich wäre durch die Interoperabilität der beschriebenen Infrastruktur die gegenseitige Verfügbarkeit der Ressourcen über Landes- (und Phasen-) Grenzen hinweg gewährleistet. Ein deutschlandweit einschlägiges Metaportal könnte zusätzliche als Einstieg in eine föderierte Suche fungieren, wie der Suchindex OERSI im Hochschulbereich.

In den Bundesländern müsste der politische Wille bestehen, solch eine Plattform auch für weitere Akteursgruppen neben den offiziellen Vertreter:innen der LFB zu öffnen. Auf Seiten der Landesinstitute braucht es den Mut, auch auf nicht durch sie kontrollierte Infrastrukturen zurückzugreifen. Umgekehrt sind universitäre Akteure gehalten, praxisrelevante Gesichtspunkte für die Umsetzung erforschter

¹⁵ Com^eIn, siehe <https://comein.nrw/>

¹⁶ Siehe die Suche mittels Plugin auf der Projektwebseite von Com^eIn bzw. in 2025 auch auf Com^eMINT (<https://comemint.uni-due.de/>). Denkbar ist die Einbettung und Vorfilterung von Ressourcen in weitere Webseiten von Stakeholdern, während die großen OER-Portale ein vielfältiges Auffinden ermöglichen.

Konzepte zu berücksichtigen und den Nutzen durch eine adäquate Beschreibung in Metadaten und in einem Nutzungskonzept der Ressourcen auszuweisen.

Literatur

Daschner, P. (2023). Auftrag, Praxis und Entwicklungsbedarf – Befunde zur Lehrkräftefortbildung in Deutschland. In P. Daschner, K. Karpen, & O. Köller (Hrsg.), *Einmal ausgebildet – lebenslang qualifiziert? Lehrkräftefortbildung in Deutschland: Sachstand und Perspektiven* (S. 14–29). Beltz Juventa.

Füller, C. (2021, Januar 24). Mundo und WirlernenOnline: Zwei Plattformen sind eine zu viel. *Der Tagesspiegel Online*. <https://www.tagesspiegel.de/wissen/zwei-plattformen-sind-eine-zu-viel-5095870.html>

Keuffer, J. (2021). Zur Lage und Zukunft der Lehrkräftefortbildung. In B. Jungkamp & M. Pfafferoth (Hrsg.), *Was Lehrkräfte lernen müssen. Bedarfe der Lehrkräftefortbildung in Deutschland* (S. 44–51). Friedrich-Ebert-Stiftung.

Kiesler, N., & Schiffner, D. (2022). ComPLeTT – Common Plattform for electronic Teacher Training. *Proceedings of DELFI Workshops 2022*, 191–198. <https://doi.org/10.18420/delfi2022-ws-52>

Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2020). *Ländergemeinsame Eckpunkte zur Fortbildung von Lehrkräften als ein Bestandteil ihrer Professionalisierung in der dritten Phase der Lehrerbildung: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 12.03.2020*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_03_12-Fortbildung-Lehrkraefte.pdf

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2023). Wodurch zeichnen sich wirksame unterrichtsbezogene Fortbildungen aus? – Ein Überblick über den Forschungsstand. In Köller O., Daschner P., & Karpen K. (Hrsg.), *Einmal ausgebildet – lebenslang qualifiziert? Lehrkräftefortbildung in Deutschland: Sachstand und Perspektiven* (S. 126–145). Beltz Juventa.

Oellers, M., & Rörtgen, S. (2024). *Kompendium: Didaktische Metadaten*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.10828758>

Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu* (No. EUR 28775 JRC107466; JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>

Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK) (Hrsg.). (2023). *Lehrkräftegewinnung und Lehrkräftebildung für einen hochwertigen Unterricht: Gutachten der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz*. SWK. <https://doi.org/10.25656/01:28059>

Tischler, F., Heck, T., & Rittberger, M. (2022). Nützlichkeit und Nutzbarkeit von Metadaten bei der Suche und Bereitstellung von offenen Bildungsressourcen. *Information – Wissenschaft & Praxis*, 73(5–6), 253–263. <https://doi.org/10.1515/iwp-2022-2238>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Akronym MINT.....	4
Abbildung 2:	Akronym STEM	7
Abbildung 3:	Akronym STΣ@M	8
Abbildung 4:	STEM und BNE.....	9
Abbildung 5:	Struktur des Orientierungsrahmens DiKoLAN PLUS (entnommen aus Meier et al., 2024)	11
Abbildung 6:	Angebots-Nutzungs-Modell zu Einflussfaktoren im Kontext von Lehrkräftefortbildungen inkl. Ebenen zur Bestimmung der Reichweite (Lipowski & Rzejak 2021b).....	13
Abbildung 7:	Gestaltungsprinzipien für Fortbildungen (Barzel & Selter 2015; Rösike et al. 2016)	15
Abbildung 8:	Schematisches Kompetenzmodell der adaptiven Lehrkompetenz im Umgang mit Heterogenität (Rey et al. 2018, aufbauend auf Blömeke, Gustafsson und Shavelson, 2015)	17
Abbildung 9:	Übersicht der Anforderungen an die Lehrkräftefortbildung (Arnold 2020).....	19
Abbildung 10:	Die 17 Nachhaltigkeitsziele (UN, 2015)	20
Abbildung 11:	Inner Development Goals	21
Abbildung 12:	BNE-Kompetenzen für Lernende und Lehrende (Anselm et al. 2022).....	22
Abbildung 13:	Übersicht des im Projekt entstandenen Verortungsinstrument	23
Abbildung 14:	Beispiel für ein Label als Resultat der Anwendung des Verortungsinstruments	23
Abbildung 15:	Verteilung von Schüler:innen mit sonderpädagogischem Förderschwerpunkt auf allgemeinbildende Schulformen (Klemm et al., 2023)	27
Abbildung 16:	Schematische Darstellung des Forschungsdatenmanagements	33
Abbildung 17:	Grundlegende methodisch-didaktische Aspekte der Professionalisierungskonzepte	36
Abbildung 18:	Fortbildungskonzept für Mathematiklehrkräfte der Primarstufe	36
Abbildung 19:	Fortbildungskonzepte für Mathematiklehrkräfte der Sekundarstufe	37
Abbildung 20:	Digitalisierungsbezogene Expertise im Com ^e Net Chemie.....	44
Abbildung 21:	Übergreifende Struktur der Fortbildungen im Com ^e Net Chemie	44
Abbildung 22:	Fortbildungskonzept im Com ^e Net Physik	46
Abbildung 23:	Konzeption der Fortbildungsangebote entsprechend Kriterien lernwirksamer Lehrkräftefortbildungen	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich der Kompetenzbereiche der MINT-Fächer (Suhr 2022, S. 187)	6
Tabelle 2:	Vergleich der grundlegenden Konzepte der MINT-Fächer (Suhr 2022, S. 223)	6
Tabelle 3:	Umsetzung einer Bildung für nachhaltige Entwicklung in den einzelnen Com ^e Nets	24
Tabelle 4:	Verteilung der Schüler:innen mit sonderpädagogischem Förderbedarf auf die Förderschwerpunkte (Stand 2022) (Klemm et al., 2023)	27

Literaturverzeichnis

Abels, S. & Stinken-Rösner, L. (2022). „Diklusion“ im naturwissenschaftlichen Unterricht – Aktuelle Positionen und Routenplanung. In E. Watts & C. Hoffmann (Hrsg.), *Digitale NAWI-gation von Inklusion. Digitale Werkzeuge für einen inklusiven Naturwissenschaftsunterricht* (S. 2-20). Springer VS.

A Rounder Sense of Purpose. (n.d.). *A Rounder Sense of Purpose*.
<https://arounder-senseofpurpose.eu/> [Abgerufen am 14. August 2024].

Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-Based Research: A Decade of Progress in Education Research? *Educational Researcher*, 41(1), 16-25.
<https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>

Anselm, S., Breit, M., & Hammer-Bernhard, E. (2022). *BNE-Kompetenzen für Lehrende und Lernende*. <https://www.bne-box.lehrerbildung-at-lmu.mzl.lmu.de/bne-kompetenzen/> [Abgerufen am 19. November 2024].

Arbeitskreis Lehrkräftebildung der GI (Hrsg.). (2023). *Informatikkompetenzen für alle Lehrkräfte*. Gesellschaft für Informatik e. V. https://doi.org/10.18420/rec2023_064

Arnold, P. (2020). *Digitalisierung und Lehrkräftefortbildung: Gelingensbedingungen und Strukturen von Fortbildungen zum Einsatz digitaler und interaktiver Medien in der Schule*. Logos.

Barzel, B. & Ebers, P. (2020). Kognitiv aktivieren - Eine wichtige Dimension fürs fachliche Lernen. *Mathematik lehren*, 223, 27-31.

Barzel, B., & Selter, C. (2015). Die DZLM-Gestaltungsprinzipien für Fortbildungen. *JMD: Special Issue. Lehrerfortbildung/Multiplikatoren Mathematik – Konzepte und Wirkungsfor-schung*, 36(2), 259-284. <https://doi.org/10.1007/s13138-015-0076-y>

Becker, S., Meßinger-Koppelt, J., & Thyssen, C. (2020a). *Digitale Basiskompetenzen - Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*. Joachim Herz Stiftung.

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C., & von Kotzebue, L. (2020b). 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). Ham-burg: Joachim Herz Stiftung. https://www.joachim-herz-stiftung.de/fileadmin/Redak-tion/Projekte/Naturwissenschaften/2020_Nawi_Digitale_Basiskompetenzen_web.pdf

Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C. & von Kotzebue, L. (2020c). DiKoLAN: Digitale Kompetenzen für das Lehr-
amt in den Naturwissenschaften. Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. <https://diko-lan.de/>

Biernacka, K., Dolzycka, D., Buchholz, P., & Helbig, K. (2019). *Wie FAIR sind Deine For-schungsdaten* Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2547339>

Blömeke, S., Gustafsson, J.-E., & Shavelson, R. J. (2015). Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift für Psychologie*, 223(1), 3– 13
<https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194> BNE NRW (2023).

BNE trifft MINT. Die Initiative. [online]. <https://www.bne.nrw/agentur/mint/initiative/> [Abgerufen am 19. November 2024].

Bosse, I. (2016). *Teilhabe in einer digitalen Gesellschaft – Wie Medien Inklusionsprozesse befördern können*. <https://www.bpb.de/themen/medien-journalismus/medienpolitik/172759/teilhabe-in-einer-digitalen-gesellschaft-wie-medien-inklusionsprozesse-befoerdern-koennen/>

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (2023). *Was ist BNE?* <https://www.bne-portal.de/bne/de/einstieg/was-ist-bne/was-ist-bne.html> [Abgerufen am 19. November 2024].

C3RDM (2023). *Forschungsdatenmanagement an der UzK*. <https://fdm.uni-koeln.de/home> [Abgerufen am 09. Mai 2025].

Cramer, C., Johannmeyer, K., & Drahten, M. (Hrsg.). (2019). *Fortbildungen von Lehrerinnen und Lehrern in Baden-Württemberg*. GO Druck Media. <https://doi.org/10.25656/01:16567>

Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., & Gardner, M. (2017). *Effective Teacher Professional Development*. Palo Alto, CA: Learning Policy Institute. <https://learningpolicyinstitute.org/product/teacher-prof-dev>

Daschner, P. (2023). Auftrag, Praxis und Entwicklungsbedarf – Befunde zur Lehrkräftefortbildung in Deutschland. In P. Daschner, K. Karpen, & O. Köller (Hrsg.), *Einmal ausgebildet – lebenslang qualifiziert? Lehrkräftefortbildung in Deutschland: Sachstand und Perspektiven* (S. 14–29). Beltz Juventa.

De Haan, G. (2008). Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In I. Bormann, & G. De Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde*, (S. 23–43). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Diepolder, C., Weitzel, H., Huwer, J., & Lukas, S. (2021). Verfügbarkeit und Zielsetzungen digitalisierungsbezogener Lehrkräftefortbildungen für naturwissenschaftliche Lehrkräfte in Deutschland. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27(1), 203–214. <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00134-1>

Dudenredaktion (o. J.). „Biologie“. *Duden online*. <https://www.duden.de/node/22995/revision/1424628> [Abgerufen am 3. Juli 2023].

Dudenredaktion (o. J.). „Chemie“. *Duden online*. <https://www.duden.de/node/28165/revision/1383095> [Abgerufen am 3. Juli 2023].

Dudenredaktion (o. J.). „Geographie“. *Duden online*. <https://www.duden.de/node/55985/revision/1452467> [Abgerufen am 3. Juli 2023].

Dudenredaktion (o. J.). „Physik“. *Duden online*. <https://www.duden.de/node/111369/revision/1352070> [Abgerufen am 3. Juli 2023].

Forschungsdaten Bildung. (o. D.). *STAMP – Forschungsdatenmanagement in der Lehrerbildung*. Forschungsdaten Bildung. <https://www.forschungsdaten-bildung.de/stamp> [Abgerufen am 09. Mai 2025].

Frohn, J., & Moser, V. (2018). Das „Didaktische Modell für inklusives Lehren und Lernen“: Konzeption und Operationalisierung. In Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.), *Perspektiven für eine gelingende Inklusion* (S. 61–73). Bertelsmann.

Fühner, L., Ferreira González, L., Weck, H., Pusch, A., & Abels, S. (2022). Das NinU-Raster zur Planung und Reflexion inklusiven naturwissenschaftlichen Unterrichts für Lehramtsstudierende. In A. Schröter, M. Kortmann, S. Schulze, K. Kempfer, S. Anderson, G. Sevdiren, J. Bartz, & C. Kreutchen (Hrsg.), *Inklusion in der Lehramtsausbildung – Lerngegenstände, Interaktionen und Prozesse* (S. 63–78). Waxmann.

Füller, C. (2021, 24. Januar). Mundo und WirLernenOnline: Zwei Plattformen sind eine zu viel. *Der Tagesspiegel Online*. <https://www.tagesspiegel.de/wissen/zwei-plattformen-sind-eine-zu-viel-5095870.html>

Gerick, J., Annemann, C., Niemann, T., et al. (2024). Digitalisierungsbezogene Lehrkräftefortbildungen – Analysen zu Zusammenhängen mit Lehrpersonen- und Schulmerkmalen sowie zum wahrgenommenen Fortbildungserfolg durch Lehrkräfte in Deutschland. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 27, 661–683. <https://doi.org/10.1007/s11618-024-01225-8>

Getzin, S., & Singer-Brodowski, M. (2016). Transformatives Lernen in einer Degrowth-Gesellschaft. *SOCIENCE – Journal of Science-Society Interfaces*, 1(1), 33–46. <https://doi.org/10.5167/uzh-135963>

Giest, H., Kaiser, A., & Schomaker, C. (Hrsg.). (2011). *Sachunterricht – auf dem Weg zur Inklusion*. Verlag Julius Klinkhardt.

GO FAIR. *FAIR Principles*. <https://www.go-fair.org/fair-principles/> [Abgerufen am 09. Mai 2025]

Groot-Wilken, B., & Koerber, R. (Hrsg.). (2019). *Nachhaltige Professionalisierung für Lehrerinnen und Lehrer. Ideen, Entwicklungen, Konzepte. Beiträge zur Schulentwicklung*. QUA-LiS NRW. <https://doi.org/10.3278/6004746w>

Haan, G. de, Kamp, G., Lerch, A., Martignon, L., Müller-Christ, G., & Nutzinger, H.-G. (Hrsg.). (2008). *Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit: Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen* [Ethics of Science and Technology Assessment, 33]. Springer.

Haider, M., Böhme, R., Gebauer, S., Göbinger, C., Munser-Kiefer, M., & Rank, A. (Hrsg.). (2023). *Nachhaltige Bildung in der Grundschule* [Jahrbuch Grundschulforschung, 27]. Verlag Julius Klinkhardt. <https://doi.org/10.25656/01:27721>; <https://doi.org/10.35468/6035>

Hartung, J., Zschoch, J. & Wahl, M. (2021). Inklusion und Digitalisierung in der Schule. Gelingensbedingungen aus der Perspektive von Lehrerinnen und Lehrern sowie Schülerinnen und Schülern. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis in der Medienbildung* 41, 55-76. <https://doi.org/10.21240/mpaed/41/2021.02.04.X>

Holzäpfel, L., Prediger, S., Götze, D., Rösken-Winter, B. & Selzer, C. (2024). Qualitätsvoll Mathematik unterrichten: Fünf Prinzipien. *Mathematik lehren*, 242, 2-9.

Huwer, J., Becker-Genschow, S., Thyssen, C., Thoms, L.-J., von 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, Orientierungshilfen und Praxisbeispiele für die Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften* (S. 4–59). Waxmann. <https://doi.org/10.31244/9783830999317>

Iacob, M., & Popescu, C. (2021). *D7.2: STE(A)M education framework*. <https://steamonedu.eu/wp-content/uploads/2022/01/D7.2-STEAM-education-framework.pdf>

Inner Development Goals. (o. J.). *Resources*. <https://innerdevelopmentgoals.org/> [Abgerufen am 12. Mai 2025].

Kaiser, A., & Seitz, S. (2017). *Inklusiver Sachunterricht: Theorie und Praxis*. Schneider Verlag Hohengehren

Karbstein, R., Brändle, M., Großmann, N., Großschedl, J., Gussen, L., Hering, M., Kleinert, S., et al. (2024). Digital gestufte Lernhilfen als Vehikel der digitalitätsbezogenen Lehrkräfte-Professionalisierung im Biologieunterricht. *Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik*, 24, 1-18. <https://doi.org/10.21240/lbzm/24/12>

Keuffer, J. (2021). Zur Lage und Zukunft der Lehrkräftefortbildung. In B. Jungkamp & M. Pfafferott (Hrsg.), *Was Lehrkräfte lernen müssen: Bedarfe der Lehrkräftefortbildung in Deutschland* (S. 44–51). Friedrich-Ebert-Stiftung.

Kieferle, S., & Markic, S. (2023). Aktive Teilhabe und forschendes Lernen ermöglichen - Inklusive Lernumgebungen im Schülerlabor der Sekundarstufe I. *CHEMKON*, 2023(30), 21-27.

Kiesler, N., & Schiffner, D. (2022). ComPleTT – Common Plattform for electronic Teacher Training. *Proceedings of DELFI Workshops 2022*, 191–198. <https://doi.org/10.18420/delfi2022-ws-52>

Kleickmann, T. (2015). Professionelle Kompetenz von Primarschullehrkräften im Bereich des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 8(1), 7–22.

Kleickmann, T., Tröbst, S., Jonen, A., Vehmeyer, J., & Möller, K. (2016). The effects of expert scaffolding in elementary science professional development on teachers' beliefs and motivations, instructional practices, and student achievement. *Journal of Educational Psychology*, 108(1), 21–42. <https://doi.org/10.1037/edu0000041>

Klemm, K., Hollenbach-Biele, N. & Lepper, C. (2023). *Inklusion im deutschen Schulsystem. Schuljahr 2021/2022*. Bertelsmann Stiftung.

Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19. <https://doi.org/10.1177/002205741319300303>

Köller, O., Magenheimer, J., Molitor, H., Pfenning, U., & Tippelt, R. (Hrsg.). (2019). *Zieldimensionen für Multiplikatorinnen und Multiplikatoren früher MINT-Bildung*. (Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung "Haus der Kleinen Forscher", Band [online verfügbar]). Stiftung Haus der Kleinen Forscher. <https://pdfs.semanticscholar.org/55c4/731a525b7c8eaf4de07617680fafc2ca6bed.pdf>

Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2020). *Ländergemeinsame Eckpunkte zur Fortbildung von Lehrkräften als ein Bestandteil ihrer Professionalisierung in der dritten Phase der Lehrerbildung: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 12.03.2020*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_03_12-Fortbildung-Lehrkraefte.pdf

Kultusministerkonferenz (KMK). (2022). *Bildungsstandards für das Fach Mathematik. Primarbereich*. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 23. Juni 2022. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.

Kunter, M., & Trautwein, U. (2013). *Psychologie des Unterrichts* (1. Aufl.). Brill | Schöningh. <https://doi.org/10.36198/9783838538952>

Lange-Schubert, K., & Steffensky, M. (2023). M, I, N, T- oder MINT-Unterricht in der Grundschule – Status quo und Perspektiven. In Stiftung Haus der kleinen Forscher (Hrsg.), *MINT-Bildung im Primarbereich: Qualität im Unterricht zu MINT-Themen stärken* [Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“, 16]. Verlag Barbara Budrich. <https://doi.org/10.25656/01:28007>, <https://doi.org/10.3224/84742749>

Lipowsky, F. (2023). *Die acht Punkte guter Lehrerfortbildung*. Table Media. <https://table.media/bildung/standpunkt/die-acht-punkte-guter-lehrerfortbildung/> [Abgerufen im April 2023].

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021a). Welche Art von Fortbildung wirkt? In Jungkamp B., & Pfafferott M (Hrsg.), *Was Lehrkräfte lernen müssen. Bedarfe der Lehrkräftebildung in Deutschland*. Friedrich Ebert Stiftung. <https://library.fes.de/pdf-files/a-p-b/18117.pdf>

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2021b). *Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten: Ein praxisorientierter und forschungsgestützter Leitfaden*. Bertelsmann Stiftung. <https://doi.org/10.11586/2020080>, https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/user_upload/Fortbildungen_fuer_Lehrpersonen_wirksam_gestalten.pdf

Lipowsky, F., & Rzejak, D. (2023). Wodurch zeichnen sich wirksame unterrichtsbezogene Fortbildungen aus? – Ein Überblick über den Forschungsstand. In Köller O., Daschner P., & Karpen K. (Hrsg.), *Einmal ausgebildet – lebenslang qualifiziert? Lehrkräftefortbildung in Deutschland: Sachstand und Perspektiven* (S. 126–145). Beltz Juventa.

Lockee, B., Moore D., & Burton, J. (2004). Foundations of Programmed Instruction. In D. Jonassen (Hrsg.), *Handbook of Research on Educational Communication and Technology* (2. Aufl., S. 545 - 569). Lawrence Erlbaum Associates.

Meier, M., Thyssen, C., Becker-Genschow, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Thoms, L.-J., & von Kotzebue, L. (2024). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS. In C. Thyssen, M. Meier, S. Becker-Genschow, T. Bruckermann, A. Finger, J. Huwer, E. Kremser, L.-J. Thoms & L. von Kotzebue (Hrsg.), *Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN PLUS*. Joachim Herz Stiftung.

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013). *Erstes Gesetz zur Umsetzung der UN-Behindertenrechtskonvention in den Schulen* (9. Schulrechtsänderungsgesetz). <https://www.schulministerium.nrw/sites/default/files/documents/NeuntesSchulrechtsaenderungsgesetz.pdf>

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2022). *Schulgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen*. <https://bass.schul-welt.de/6043.htm>

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2012). *Lehrplan für die Primarstufe in Nordrhein-Westfalen – Fach Sachunterricht*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/292/ps_lp_su_einzeldatei_2021_08_02.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019a). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Biologie*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/197/g9_bi_klp_%203413_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019b). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Chemie*.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/198/g9_ch_klp_%203415_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019c). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Mathematik*.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/195/g9_m_klp_3401_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019d). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Physik*.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/208/g9_ph_klp_%203411_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019e). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen – Wahlpflichtfach Technik*.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/214/g9_wptc_klp_%2034221_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2019f). *Leitlinie für Bildung nachhaltige Entwicklung*. Schule in NRW Nr. 9052.
https://www.schulministerium.nrw/sites/default/files/documents/Leitlinie_BNE.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW. (Hrsg.). (2021). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I – Klasse 5 und 6 in Nordrhein-Westfalen – Informatik*.
https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/260/si_kl5u6_if_klp_2021_07_01.pdf

Nenner, C., & Bergner, N. (2023). Informatische Fachkompetenzen von Grundschullehrkräften sichtbar machen: Ein Messinstrument mit Selbsteinschätzungs- und Aufgabenbasierter Komponente. In L. Hellmig & M. Hennecke (Hrsg.), *Informatikunterricht zwischen Aktualität und Zeitlosigkeit. 20. GI-Fachtagung Informatik und Schule (INFOS 2023)* [Lecture Notes in Informatics] (S. 217–226). Gesellschaft für Informatik e. V.
<https://dl.gi.de/items/ae43099f-2cdd-4c80-ae15-eb7ec9832298>

Oellers, M., & Rörtgen, S. (2024). *Kompendium: Didaktische Metadaten*.
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.10828758>

Praetorius, A., Klieme, E., Herbert, B. (2018). Generic dimensions of teaching quality: the German framework of Three Basic Dimensions. *ZDM Mathematics Education* 50, 407– 426.

Pufé, I. (2017). *Nachhaltigkeit* (3. Aufl.). UVK Verlag. [utb, 8705].

Quante, A. (2022). Förderbedarfe und digitale Möglichkeiten. In Haider, M. & Schmeink, D. (Hrsg.), *Digitalisierung in der Grundschule. Grundlagen, Gelingensbedingungen und didaktische Konzeptionen am Beispiel des Fachs Sachunterricht* (S. 98-108). Verlag Julius Klinkhardt.

Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu* [No. EUR 28775 JRC107466; JRC Science for Policy Report]. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>

Rey, T., Lohse-Bossenz, H., Wacker, A., & Heyl, V. (2018). Adaptive Planungskompetenz bei angehenden Lehrkräften in der zweiten Phase der Lehrerbildung. Befunde einer Pilotierungsstudie aus Baden-Württemberg. *he|EDUCATION Journal* 1/2, 127–150.
<https://doi.org/10.17885/heiup.heied.2018.1-2.23829>

Richter, E., & Richter, D. (2023a). *Fortbildungsmonitor: Ein Instrument zur Erfassung der Prozessqualität von Lehrkräftefortbildungen*. <https://doi.org/10.25656/01:27640>

Richter, E., & Richter, D. (2023b). *Measuring the quality of teacher professional development – A large-scale validation study of an 18-items instrument for daily use*. OSF Preprints. <https://doi.org/10.31219/osf.io/qr4t5>

Rösike, K.-A., Prediger, S., & Barzel, B. (2016). *DZLM-Gestaltungsprinzipien für Fortbildungen von Lehrpersonen. Eine Handreichung zur Konkretisierung der Prinzipien*. Deutsches Zentrum für Lehrerbildung Mathematik. https://dzlm.de/files/uploads/DZLM-Gestaltungsprinzipien-Konkretisierung_161201_0.pdf

Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. (3. Aufl.) Karlsruhe: Universitätsverlag. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000011529>

Schreiber, J. R., & Siege, H. (2016). Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung: ein Beitrag zum Weltaktionsprogramm Bildung für nachhaltige Entwicklung: Ergebnis des gemeinsamen Projekts der Kultusministerkonferenz (KMK) und des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) [2. aktualisierte und erweiterte Auflage]. https://edumedia-depot.gei.de/bitstream/handle/11163/4161/89507012X_2016.pdf?sequence=1

Simon, T. (2019). Celebrate diversity? Einstellungen angehender Lehrkräfte zu Heterogenität im Spannungsfeld von Differenzanerkennung und normierendem Homogenisierungsdenken. In M. Esefeld, K. Müller, P. Hackstein, E. von Stechow & B. Klocke (Hrsg.), *Inklusion im Spannungsfeld von Normalität und Diversität. Band II: Lehren und Lernen* (S. 65). Verlag Julius Klinkhardt.

Ständige Wissenschaftliche Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK) (Hrsg.). (2023). *Lehrkräftegewinnung und Lehrkräftebildung für einen hochwertigen Unterricht: Gutachten der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz*. SWK. <https://doi.org/10.25656/01:28059>

Stinken-Rösner, L., Rott, L., Hundertmark, S., Baumann, T., Menthe, J., Hoffmann, T., Nehring, A., & Abels, S. (2020). Thinking inclusive science education from two perspectives: Inclusive pedagogy and science education. *RISTAL*, 3, 30–45.

Stinken-Rösner, L. & Abels, S. (2021). Digitale Medien als Mittler im Spannungsfeld zwischen naturwissenschaftlichem Unterricht und inklusiver Pädagogik. In S. Hundertmark, X. Sun, S. Abels, A. Nehring, R. Schildknecht, V. Seremet & C. Lindmeier (Hrsg.), *Naturwissenschaften und Inklusion, 4. Beiheft Sonderpädagogische Förderung heute*, 161–175

Stinken-Rösner, L., Weidenhiller, P., Nerdel, C., Weck, H., Kastaun, M. & Meier, M. (2023). Inklusives Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht digital unterstützen. In D. Ferencik-Lehmkuhl, I. Huynh, C. Laubmeister, C. Lee, C. Melzer, I. Schwank et al. (Hrsg.), *Inklusion digital! Chancen und Herausforderungen inklusiver Bildung im Kontext von Digitalisierung* (S. 152–167). Verlag Julius Klinkhardt.

Suhr, D. (2022). *Konzepte einer MINT-Didaktik – Fachdidaktische Analyse und Versuch einer Synthese*. Budrich Academic Press GmbH.

Tischler, F., Heck, T., & Rittberger, M. (2022). Nützlichkeit und Nutzbarkeit von Metadaten bei der Suche und Bereitstellung von offenen Bildungsressourcen. *Information – Wissenschaft & Praxis*, 73(5–6), 253–263. <https://doi.org/10.1515/iwp-2022-2238>

United Nations. (2006). *Convention on the Rights of Persons with Disabilities*. <https://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-e.pdf> [Abgerufen am 9. Mai 2023].

United Nations. (2015). *Sustainable Development Goals*. United Nations. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/news/communications-material/> [Abgerufen am 19. November 2024].

Van Dijk, J. A. G. M. (2017). Digital Divide: Impact of Access. In P. Rössler, C.A. Hoffner & L. Zoonen (Hrsg.) *The International Encyclopedia of Media Effects*. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9781118783764.wbieme0043>

Vare, P., & Scott, W. (2007). Learning for a Change: Exploring the Relationship Between Education and Sustainable Development. *Journal of Education for Sustainable Development*, 1(2), 191-198. <https://doi.org/10.1177/097340820700100209>

Wahl, D. (2002). Mit Training vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln? *Zeitschrift für Pädagogik*, 48(2), 227-241. <https://doi.org/10.25656/01:3831>

Weiler, D., Burde, J., Costan, K., Große-Heilmann, R., Kulgemeyer, C., Riese, J., & Schubatzky, T. (2024). *Förderung digitaler Kompetenzen von Physik-Lehrkräften im Com^eNet Physik. PhyDid B – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2024 in Greifswald*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1414>

Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci Data* 3, 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

Wocken, H. (Hrsg.) (2017). *Beim Haus der inklusiven Schule. Praktiken – Kontroversen – Statistiken*. Hamburg: Feldhaus Verlag. ISBN 978-3-925408-52-6

Yakman, G. (2008). STΣ@M Education: An overview of creating a model of integrative education. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/327351326_STEAM_Education_an_overview_of_creating_a_model_of_integrative_education

Zierer, K. (2021). Zwischen Dichtung und Wahrheit: Möglichkeiten und Grenzen von digitalen Medien im Bildungssystem. *Pädagogische Rundschau*, 75(4), 377-392(16).