

# Positionspapier zu naturwissenschaftlicher Bildung und Lehrpersonenausbildung

## DiNat - Verband Fachdidaktik Naturwissenschaften Schweiz

Christina A. Colberg<sup>1</sup>, Andreas Müller<sup>2</sup>, Josiane Tardent Kuster<sup>3</sup>, Lars-Jochen Thoms<sup>1,4</sup>, Matthias von Arx<sup>5</sup>

Received: November 2023

### Structured Abstract

**Hintergrund:** Aktuelle Themen und Herausforderungen wie Nachhaltige Entwicklung und Digitalisierung, der Fachkräftemangel in den naturwissenschaftlich, technisch geprägten Berufen und unbefriedigende Resultate in internationalen Schulleistungsstudien haben sowohl international als auch in der Schweiz grosse Auswirkungen auf das Bildungssystem. Dabei treten die Notwendigkeit einer naturwissenschaftlichen Grund- bzw. Allgemeinbildung und die Wichtigkeit eines wirksamen naturwissenschaftlichen Unterrichts und einer entsprechenden Lehrpersonenausbildung in aller Deutlichkeit zu Tage.

**Zweck:** Bereits vor mehr als 10 Jahren hat der Verband Fachdidaktik Naturwissenschaften in einem Positionspapier die schon damals vorherrschende Diskrepanz zwischen den Ansprüchen und der Wirklichkeit in der Schweizerischen Aus- und Weiterbildung von Lehrpersonen in den naturwissenschaftlich-technischen Fächern angemahnt. Mit dem neuen Positionspapier möchte der Verband aktuelle Anforderungen an einen zeitgemässen und lernwirksamen naturwissenschaftlichen Unterricht in der obligatorischen Schule beleuchten, die damit verbundenen Herausforderungen für die Lehrpersonenausbildung umreissen und mit daraus abgeleiteten Empfehlungen Diskurs und Entscheidungsführung auf der gesellschaftlichen und politischen Ebene beeinflussen. Dabei beschreibt, diskutiert und interpretiert das Papier den Stand der Dinge in der Schweiz unter fünf Perspektiven: Naturwissenschaftliche Bildung und naturwissenschaftlicher Unterricht im Wandel – aktuelle Anforderungen und Möglichkeiten; Professionalität und Professionalisierung in der Lehrpersonenausbildung; das Verhältnis von Forschung und Praxis in der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik; aktuelle Themen und Herausforderungen, und schliesslich Anspruch und Wirklichkeit bei der Ausbildung von Lehrpersonen. Auf dieser Grundlage werden Empfehlungen und Forderungen für die weitere Entwicklung von Unterricht und Lehrerbildung im Bereich Naturwissenschaften formuliert.

**Methodik:** Die Grundlage der vorliegenden Überlegungen ist eine wissenschaftlich begründete Analyse mit einer klaren Ausrichtung an dem Prinzip der Evidenzbasierung und aktuellen theoretischen Leitvorstellungen und Rahmenmodellen für die Lehrpersonenausbildung. Dabei erhebt das Papier keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern orientiert sich bewusst an den Themen, die in der aktuellen Entwicklung von besonderer Bedeutung sind. Der Fokus dieser Stellungnahme und der daraus abgeleiteten Forderungen und Desiderate liegt dabei auf dem zeitgemässen naturwissenschaftlichen Unterricht der obligatorischen Schule und der damit verbundenen Ausbildung von Lehrpersonen. Aus Gründen des Umfangs wird auf eine Darstellung der Weiterbildungssituation für Lehrpersonen in diesem Papier verzichtet.

**Schlussfolgerungen:** Die Schlussfolgerungen werden in Form von Empfehlungen und Forderungen zusammengefasst und anhand einer öffentlichen Stellungnahme gesondert publiziert.

**Schlüsselbegriffe:** Naturwissenschaftsdidaktik, Unterrichtsentwicklung, Lehrpersonenausbildung, Evidenzbasierung

---

<sup>1</sup>Pädagogische Hochschule Thurgau, <sup>2</sup>Universität Genf, <sup>3</sup>Pädagogische Hochschule Zürich, <sup>4</sup>Universität Konstanz, <sup>5</sup>Pädagogische Hochschule der Fachhochschule Nordwestschweiz

✉ christina.colberg@phtg.ch

## 1 Einführung

### 1.1 Naturwissenschaftliche Bildung und naturwissenschaftlicher Unterricht im Wandel – Aktuelle Anforderungen und Möglichkeiten

Spürbare Veränderungen in unserer natürlichen Umwelt, die stark zunehmende Technisierung und Digitalisierung unseres Alltags, der Fachkräftemangel in Naturwissenschaften und Technik, aber auch die mittelmässigen Resultate in internationalen Schulleistungsstudien wie PISA und TIMSS, haben die Notwendigkeit einer naturwissenschaftlichen Grund- bzw. Allgemeinbildung (*Scientific Literacy*) im Sinne von Science for all und die Wichtigkeit eines entsprechenden naturwissenschaftlichen Unterrichts in den vergangenen Jahren nochmals verdeutlicht (Labudde & Möller, 2012, S. 12). Dies gilt insbesondere auch für die Schweiz und stellt eine grosse Herausforderung dar. International wie national sind daher für den naturwissenschaftlichen Unterricht neue Bildungsstandards entwickelt worden (CIIP, 2010; EDK, 2011; KMK, 2004, 2005; National Research Council (NRC), 2012a). In diesen Standards wird zum einen die naturwissenschaftliche Bildung als Anwendung und Überprüfung naturwissenschaftlicher Konzepte und Zusammenhänge beschrieben, letzteres insbesondere auch im Hinblick auf deren Relevanz für den persönlichen Alltag und die Gesellschaft. Zum anderen sind darin auch die kritische Reflexion der methodischen Vorgehensweisen sowie der Besonderheiten der Naturwissenschaften eingeschlossen (Bodzin & Beerer, 2003; Bybee, 2002; Millar, 2006; OECD, 2008), was die Auseinandersetzung mit Konzepten wie *Nature of Science* (Natur der Naturwissenschaften), *Scientific Inquiry* (Erkenntnisgewinnung) sowie wissenschaftlichen Arbeitstechniken (*Practical Work*) erfordert (Holbrook & Rannikmae, 2009; Labudde & Möller, 2012; Mayer, 2007). Ausserdem gehören auch Einstellungen wie z. B. Wertvorstellungen zum Leben, zur Natur und zu den Naturwissenschaften, affektive Dimensionen wie Interesse und ein tragfähiges Selbstkonzept (sich in Bezug auf Naturwissenschaften etwas zutrauen) dazu (Khine & Areepattamannil, 2016; Möller & Trautwein, 2015). Die Anforderungen und Ansprüche an die naturwissenschaftsdidaktische Ausbildung für die obligatorischen Schulstufen sind damit weiter gestiegen, insbesondere auch, weil neben den genuinen Aufgaben einer empirisch fundierten naturwissenschaftsdidaktischen Ausbildung viele der Themen in einem gesellschaftlichen Spannungsfeld stehen und fachlich wie fachdidaktisch erarbeitet werden müssen, u. a. auch in Bezug auf die allseits verankerte Forderung nach Nachhaltiger Entwicklung sowie die omnipräsente Digitalisierung.

Für die Gestaltung eines solchen Unterrichts müssen angehende Lehrpersonen das notwendige Professionswissen und die damit verbundene professionelle Handlungskompetenz in ihrer Ausbildung erwerben. Dass sich die Fachdidaktik Naturwissenschaften mittlerweile zu einer empirisch forschenden und evidenzbasierten Wissenschaftsdisziplin entwickelt hat (Schecker et al., 2018) – eine wichtige Voraussetzung für eine gute und wirksame Unterrichtspraxis (swissuniversities, 2021a, b) – widerspiegelt sich auch in der aktuellen Lehrpersonenausbildung. Allerdings haben die neuen Anforderungen an eine moderne naturwissenschaftliche Bildung und die Schaffung der wissenschaftlichen Grundlagen dafür bislang nicht zu einer angemessenen Anpassung der Ausbildungsstrukturen und Unterrichtsgefässe an den jeweiligen Ausbildungsstätten geführt, auch wenn die Ausbildung von Lehrpersonen in der Schweiz in den vergangenen 20 Jahre institutionell, strukturell als auch inhaltlich grossen Veränderungen unterworfen war (Abschnitt 4).

Bereits vor mehr als 10 Jahren hat der Verband Fachdidaktik Naturwissenschaften in einem Positionspapier (Di-Nat.ch, 2012) die schon damals vorherrschende Diskrepanz zwischen den Ansprüchen und der Wirklichkeit in der Schweizerischen Aus- und Weiterbildung von Lehrpersonen in den naturwissenschaftlich-technischen Fächern angemahnt. Mit dem neuen Positionspapier möchte der Verband nun ausgewählte Anforderungen an einen zeitgemässen und lernwirksamen naturwissenschaftlichen Unterricht (Brovelli, 2018; Rehm, 2018; Wilhelm, 2018) beleuchten, die damit verbundenen Herausforderungen für die Lehrpersonen ausbildung umreissen und mit einer daraus abgeleiteten Stellungnahme den Diskurs zur Verbesserung der Qualität der naturwissenschaftlichen Ausbildungen für künftige Lehrpersonen der obligatorischen Schulen an den Pädagogischen Hochschulen bzw. den Universitäten in der Schweiz anstossen. Das wissenschaftlich begründete Positionspapier und die daraus abgeleitete Stellungnahme erheben dabei keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit, sondern orientieren sich bewusst an den Themen, die in den letzten Jahren stärker ins Zentrum gerückt sind. Der Fokus dieser Stellungnahme und der daraus abgeleiteten Forderungen und Desiderate liegt dabei auf dem zeitgemässen naturwissenschaftlichen Unterricht der obligatorischen Schule und der damit verbundenen Ausbildung von Lehrpersonen. Aus Gründen des Umfangs wird auf eine Darstellung der Weiterbildungssituation für Lehrpersonen in diesem Papier verzichtet. Der nächste Abschnitt befasst sich daher zunächst mit der Frage der Professionalität und Professionalisierung angehender Lehrpersonen. Danach wird die Fachdidaktik als angewandte Wissenschaft beleuchtet, um anschliessend anhand zweier aktueller Themen der Naturwissenschaftsdidaktik (Nachhaltige Entwicklung und Digitalisierung) die sich neu stellenden Herausforderungen darzulegen. In einem letzten Abschnitt werden die aktuellen Studiengänge in Bezug auf die Sicherstellung einer ausreichenden und zeitgemässen naturwissenschaftsdidaktischen Ausbildung verglichen.

## 1.2 Professionalität und Professionalisierung in der Lehrpersonenausbildung

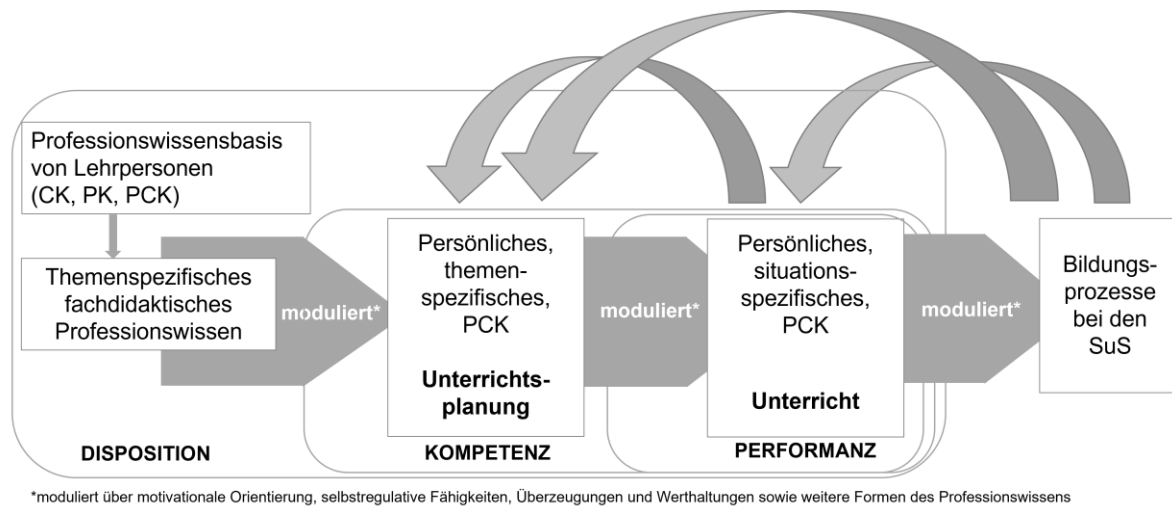
Die Frage, was den Kern erfolgreichen beruflichen Handelns von Lehrpersonen tatsächlich ausmacht, ist in den letzten Jahren eingehend diskutiert worden. Für die Beschreibung von Professionalität im Sinne „gekonnter Beruflichkeit“ (Nittel, 2004, S. 351) existieren im deutschsprachigen Diskurs drei, kontrovers diskutierte Ansätze (strukturtheoretischer, berufsbiografischer und kompetenztheoretischer Ansatz, z. B. (Baumert & Kunter, 2006; Helsper, 2007; Helsper et al., 2008; Rothland et al., 2018)). Die naturwissenschaftsdidaktische Professionsforschung stützt sich überwiegend auf den kompetenztheoretischen Professionalisierungsansatz (Bölsterli et al., 2010). In diesem Ansatz werden die zentralen Komponenten der Professionalität von Lehrpersonen weniger auf Personeneigenschaften und Talente, sondern im Sinne des «Expertenparadigmas» viel eher auf das professionelle Wissen und Können von Lehrpersonen zurückgeführt – neben deren Einstellungen, Überzeugungen, motivationalen Orientierungen und selbstregulativen Fähigkeiten (Gess-Newsome et al., 2017; Stender et al., 2015). Die Kompetenz wird damit als kognitive und affektive Disposition gedeutet, die sich aber erst in der situativen Bewältigung von Anforderungen, d. h. in der „Performanz“ des Handelns manifestiert (Klieme & Hartig, 2008). Die professionelle Handlungskompetenz von Lehrpersonen wird somit als wichtige Voraussetzung für erfolgreichen Unterricht (Alonzo & Kim, 2016; S. Kirschner, Borowski, Fischer, Gess-Newsome, & von Aufschnaiter, 2016) und wesentlichen Einflussfaktor für die Kompetenzentwicklung von Schülerinnen und Schülern angesehen (Kunter et al., 2013).

Mit Blick auf die Ausbildung professioneller Handlungskompetenz von Lehrpersonen wird für die Beschreibung der Struktur des Professionswissens auf internationaler Ebene meist Shulmans‘ Triplet des beruflichen Wissens (Shulman, 1986b, 1987) herangezogen (Guerriero, 2017). Lehrpersonen benötigen sowohl ein solides Fachwissen (*Content Knowledge*, CK) als auch ein umfassendes pädagogisch-psychologisches Wissen (*Pedagogical Knowledge*, PK). An der Schnittstelle dieser beiden Wissensformen steht das Wissen darüber, welche Fachinhalte warum und wie vermittelt werden können. Diese als *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) bezeichnete Wissensform deckt somit die im deutschsprachigen Raum gemeinhin als fachdidaktisches Wissen<sup>1</sup> angesehene spezifische Lehrkompetenz ab. Sowohl beim fachdidaktischen Wissen (PCK), wie auch beim Fachwissen (CK) und pädagogischen Wissen (PK) handelt es sich um empirisch nachgewiesene distinkte Wissensformen, die mit unterschiedlicher Stärke miteinander korrelieren (Grossschedl et al., 2015; S. Kirschner, Borowski, Fischer, Gess-Newsome, & Aufschnaiter, 2016) Sie entsprechen den drei Kernbereichen der Lehrpersonenbildung in Deutschland und in der Schweiz (Blömeke et al., 2008) und werden sowohl im deutsch-, französischsprachigen als auch im angloamerikanischen Raum als wesentliche Elemente professioneller Kompetenz für die Gestaltung eines lernförderlichen Unterrichts angenommen (Abell, 2007; Depaepe et al., 2013; Gess-Newsome, 1999; Grossman, 1990; Jüttner & Neuhaus, 2013; Riese & Reinhold, 2012). Insbesondere das fachdidaktische Wissen (PCK) scheint für einen qualitativ hochwertigen Unterricht und die Leistungen der Schülerinnen und Schüler entscheidend zu sein (Keller et al., 2017).

Mit dem fachdidaktischen Wissen (PCK) identifiziert Shulman eine spezielle Wissensart – eine Kombination und Integration von CK und PK – durch die sich Lehrpersonen von Fachexpert\*innen unterscheiden und über die sie u. a. verfügen sollten, um Fachinhalte gemäss Interessen und Fähigkeiten von Lernenden in fruchtbare Lerngelegenheiten zu übersetzen (Shulman, 1987). Das fachdidaktische Wissen entspricht daher mehr als der Summe seiner einzelnen Wissensdimensionen und ist durch seine enge Verbindung zum Fachwissen spezifisch für ein Fachgebiet oder einen Themenbereich und damit auch für einen entsprechenden Unterricht (Abell, 2008; Smith & Banilower, 2015; cf. van Driel et al., 1998). Shulmans Modell in seiner ursprünglichen Form wurde in der Vergangenheit allerdings aufgrund seines fehlenden theoretischen und empirischen Hintergrunds auch kritisiert (Abell, 2008; Hasse et al., 2014; Oser et al., 2010; Vogelsang & Reinhold, 2013). Shulman selbst wies ebenfalls auf Schwächen seiner Konzeptualisierung von PCK hin und erwähnte, dass das Modell zu statisch ist, die kognitive Dimension überbewertet wird und der Bezug zur Performanz im Klassenzimmer fehlt (Shulman, 2015). Für den Aufbau professioneller Handlungskompetenz und damit verbunden auch themenspezifischen Professionswissens und Könnens reicht es demnach nicht aus, wenn angehende Lehrpersonen hohes Professionswissen im Studium erwerben (Disposition), sie müssen auch in der Lage sein, dieses Professionswissen während des komplexen Unterrichtsgeschehens anzuwenden (Performanz). Vor diesem Hintergrund wurde in den letzten Jahren das konzeptionelle Verständnis zu PCK weiterentwickelt und es entstanden neuere Modelle der Professionalisierung, die zwei wesentlichen Gesichtspunkten besser Rechnung tragen: zum einen der Dynamik unterrichtlichen Geschehens im Sinne der Wirkkette (Frey, 2014), zum anderen dem Prozessgedanken des Erwerbs von Wissen und Kompetenzen in Bezug auf das unterrichtliche Handeln in der Ausbildung von Lehrpersonen (Blömeke et al., 2015; Carlson et al., 2019; Gess-Newsome, 2015; Neumann et al., 2019). Das Unterrichtshandeln wird in diesen Modellen als Zusammenspiel von Planung, Durchführung und Reflexion von Unterricht verstanden. Dabei werden verschiedene Ausprägungen fachdidaktischen Wissens

<sup>1</sup> Das Konzept des fachdidaktischen Wissens als Wissensdimension wird in der Literatur häufig synonym mit dem englischen Begriff *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) verwendet. Die Konzepte, die den Begriffen zugrunde liegen, sind jedoch nicht vollständig deckungsgleich (Fischler, 2011). Das fachdidaktische Wissen schliesst das Bildungsverständnis und die damit verbundenen Anforderungen an den Unterricht mit ein, während der Fokus von PCK stärker auf der Vermittlung curricularer Inhalte liegt und so ein engeres, aber auch forschungsauffineres Konzept im Sinne der Wirkkette schulischer Bildung darstellt (Kansanen, 2009). PCK ist somit Teil des fachdidaktischen Wissens (Gramzow, Riese & Reinhold, 2013). Im Positionspapier werden beide Begriffe der Einfachheit halber synonym verwendet.

unterschieden: das professionsspezifische, das themenspezifische und das persönliche PCK (Carlson et al., 2019; Gess-Newsome, 2015; Tardent Kuster, 2020; Wilhelm et al., 2021).



**Abb. 1.** Modell zentraler Wirkungszusammenhänge der fachdidaktischen Professionskompetenz (basierend auf Gess-Newsome, 2015; Tardent Kuster, 2020; Wilhelm et al., 2021).

In Abb. 1 sind wesentliche Elemente dieser Modelle zur fachdidaktischen Professionskompetenz in einem vereinfachten Modell dargestellt. Dieses Modell soll die Dynamik unterrichtlichen Geschehens sowie den Prozessgedanken des fachdidaktischen Wissens- und Kompetenzerwerbs in Bezug auf das unterrichtliche Handeln und damit die enge Verbindung zwischen Unterrichtsentwicklung und Ausbildung der Lehrpersonen verdeutlichen. Für die weiteren Ausführungen im Positionspapier soll dieses Modell als Orientierungsrahmen dienen. Der nächste Abschnitt widmet sich dem Wechselspiel von fachdidaktischer Praxis und Forschung als wissenschaftliche Grundlage für das Unterrichtshandeln von Lehrpersonen, für die Entwicklung von Unterricht und Unterrichtsmaterialien, für die Sicherstellung einer hohen Unterrichtsqualität (swissuniversities, 2021a,b), und für den hierfür nötigen Kompetenzaufbau in der Ausbildung von Lehrpersonen.

## 2 Praxis und Forschung: Fachdidaktik – eine angewandte Wissenschaft

Das heutige Verständnis von Fachdidaktik wird gut in der folgenden Definition zusammengefasst (swissuniversities, 2021b): Fachdidaktik ist die „Wissenschaft der Aneignung und Vermittlung domänenspezifischen Wissens und Könnens [...]. Die einzelnen Fachdidaktiken fokussieren dabei in ihrer Forschung, Lehre und Entwicklungstätigkeit auf die jeweils spezifische Inhaltsdomäne, bewerten die gesellschaftliche Relevanz ihrer Komponenten, generieren fach- und gegenstandsspezifische Erkenntnisse“ und entwickeln auf dieser Basis und unter Integration entwicklungspsychologischer und lerntheoretischer Befunde fachliche Kompetenz-, Erwerbs- und Unterrichtsmodelle. Dabei sind zwei Leitgedanken von entscheidender Bedeutung, die in den folgenden Abschnitten ausgeführt werden, nämlich die Evidenzbasierung (Abschnitt 2.1) und die Verbindung von Grundlagen- und Anwendungsforschung (Abschnitt 2.2).

### 2.1 Evidenzbasierung für Unterricht und Lehrpersonenbildung – Was sonst?

*No one would think of getting to the Moon or of wiping out a disease without research. Likewise, one cannot expect reform efforts in education to have significant effects without research-based knowledge to guide them.*  
(Shavelson & Towne, 2002)

Naturwissenschaftsdidaktik im Sinne der og. Definition umfasst ein ganzes Spektrum von Forschung und Entwicklung: Forschung behandelt Fragen, wie Lernende denken und Lehrende handeln, was sie motiviert, welche Schwierigkeiten beim Lernen und Unterrichten auftreten können, wie gut ein bestimmter Ansatz seine Ziele erreicht und durch welche Faktoren der Erfolg (oder Misserfolg) beeinflusst werden kann. Entwicklung befasst sich mit der Ausarbeitung und Erprobung neuer und innovativer Lehr- und Lernideen und -materialien zur Verbesserung von Lernen und Motivation oder zur Verfolgung anderer Bildungsziele (z. B. wirksame Ansätze für schwierige Unterrichtsthemen, neue Experimente, Einsatz von digitalen Medien und Technologien (Abschnitt 3.2), usw.), idealerweise in enger Wechselwirkung mit Forschung (Abschnitt 2.2).

Die hier gewählte Perspektive legt den Fokus auf Wirksamkeit, als starkes Argument für eine inhaltliche und auch politische Diskussion zur Entwicklung und Sicherstellung naturwissenschaftlicher Bildung, und damit auf quantitati-

ve Ergebnisse. Es sei aber in aller Klarheit gesagt, dass diese nur mit Hilfe qualitativer und konzeptionell-theoretischer Forschung interpretiert, verständlich, und schliesslich auch wirksam werden können. Im Folgenden wird beispielhaft ein Thema besprochen, das zum einen das Kerngeschäft von Unterrichtspraxis betrifft, und zum anderen teilweise Gegenstand von durchaus ideologischen Diskussionen war, denen die Perspektive der Evidenzbasierung gegenübergestellt werden soll.

### 2.1.1 Ein Beispiel: Entdeckendes, forschendes und problemorientiertes Lernen – Oder warum es sich lohnt, genauer („evidenzbasiert“) hinzuschauen

*Non vitae sed scholae discimus.*  
Seneca (ca. 62 n. Chr.)

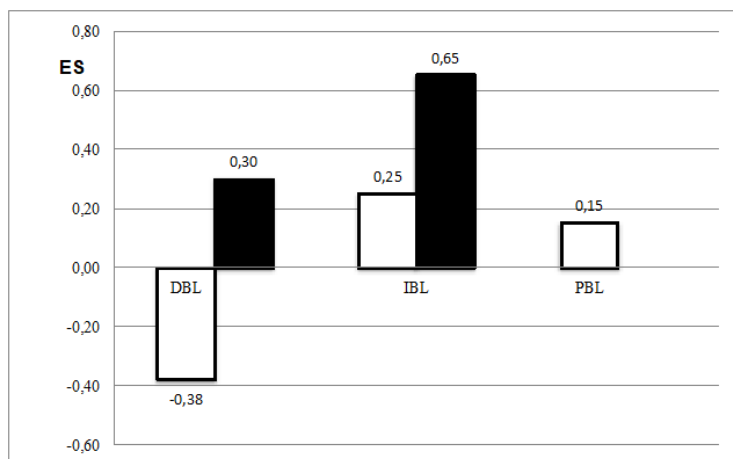
Entdeckendes, forschendes und problemorientiertes Lernen (*discovery, inquiry, and problem-based learning* (DBL/IBL/PBL; wir verwenden im Folgenden die englischen Begriffe) sind drei Lernansätze, die im naturwissenschaftlichen Unterricht besonders stark vertreten sind. Sie weisen bestimmte Gemeinsamkeiten auf und ein gemeinsamer Ausgangspunkt ist insbesondere die Kritik, die Seneca bereits vor fast 2.000 Jahren geäussert hat (Zitat oben<sup>2</sup>): "Nicht für das Leben lernen wir, sondern für die Schule" - und zwar allzu oft auf künstliche, uninteressante und letztlich nutzlose Weise. Um dem entgegenzuwirken, haben DBL, IBL und PBL einige Kernmerkmale gemeinsam, nämlich die Einbindung des Lernens in authentische, komplexe und offene Aufgaben, meist in einem kollaborativen Setting und mit minimaler oder gar keiner Anleitung. Aufgrund ihrer Betonung von authentischen Lernumgebungen, aktivem und kooperativem Lernen und von Lerner\*innenorientierung und –autonomie werden der Familie der hier besprochenen Unterrichtsansätze – häufig mit grosser Überzeugung – positive Wirkungen kognitiver (z. B. Transferfähigkeit) und auch affektiver Art (z. B. Motivation, Neugierde) zugeschrieben (Bruner, 1961; Delisle, 1997; McLoughlin et al., 2012).

Die genauen Definitionen unterscheiden sich bei den drei Ansätzen (und in vielen Fällen auch von Autor zu Autor für denselben Ansatz), wobei der Schwerpunkt für DBL auf den Erkenntnissen/Ergebnissen, für IBL auf dem/den Prozess(en) wissenschaftlichen Forschens, und für PBL auf der Verwendung realer Probleme als Ausgangspunkt liegt (genaue Definitionen finden sich in (Mueller & Brown, 2021)). Mit Blick auf die konzeptionellen Ähnlichkeiten gibt es einen starken, interessanten Befund für einen gemeinsamen und entscheidenden Erfolgsfaktor für alle drei Ansätze: Obwohl IBL seit mehreren Jahrzehnten stark propagiert wird, z. T. auch auf politischer Ebene (European Commission, 2007), gab es nur schwache empirische Belege für seine allgemeine Wirksamkeit ( $d = 0.31$ , Hattie, 2009). Bei näherer Betrachtung lassen sich weitere aufschlussreiche Aussagen über IBL belegen: Eine Metaanalyse zu IBL in den Naturwissenschaften von Furtak et al. (2012) zeigt, dass die instruktionale Führung („guidance“) durch Lehrpersonen ein entscheidender Faktor ist: die Effektstärken sind mit „guidance“ mehr als doppelt so gross wie ohne ( $d = 0.65$  bzw.  $d = 0.25$ ). In ähnlicher Weise wurde DBL im Vergleich zu konventionellem Unterricht in einer Meta-Analyse untersucht (Alfieri et al., 2011). Nicht angeleitetes DBL zeigte eine – negative! – Effektgrösse von  $d = -0.38$ , während lehrpersonenunterstützte DBL-Ansätze bei  $d = 0.30$  lagen (Alfieri et al., 2011). Nicht angeleitetes entdeckendes oder forschendes Lernen, wie DBL und IBL oft verstanden werden, sind also *keine* effektiven Ansätze für naturwissenschaftliches Lernen. Auch für PBL ergeben sich nur kleine Effektstärken.

Ein wichtiger Punkt für die Gruppe der hier beschriebenen Lernansätze ist die Begrenzung der Gedächtnisressourcen, die für das gleichzeitige Lernen neuer Inhalte und die erforderliche Selbststeuerung des Lernprozesses zur Verfügung stehen, bzw. umgekehrt die kognitive (Über-) Belastung, die durch diese gleichzeitige Anforderung entsteht (siehe Mueller & Brown, 2021 für eine weitere Diskussion dieses Faktors).

Insgesamt finden sich für DBL/IBL/PBL Ergebnisse, die keineswegs den manchmal anzutreffenden Grad an Überzeugung für diese Lernformen rechtfertigen können (sAbb. 2 für einen Überblick). Andererseits ist aber auch nicht zu schliessen, dass entdeckendes, forschendes und problemorientiertes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht per se keinen Platz und keine Bedeutung hätten – es kommt dabei jedoch entscheidend auf das *Wie* an (z. B. Grad von Anleitung und Unterstützung), und dafür wiederum in entscheidendem Masse auf Forschung.

<sup>2</sup> Man beachte, dass das Originalzitat, wie es hier wiedergegeben ist, als Kritik an der unbefriedigenden Erziehungspraxis der damaligen römischen Schule gedacht war; die umgekehrte Aussage „non scholae, sed vitae discimus“ wurde erst im 19. Jahrhundert als pädagogisches Motto eingeführt.



**Abb. 2.** Meta-analytische Effektstärken (ES\*) für DBL/IBL/PBL (*discovery, inquiry und problem-based learning*). Von links nach rechts:

**DBL:** nicht angeleitetes DBL vs. direkten/expliciten Unterricht (links); angeleitetes DBL (*feedback, worked examples, scaffolding*) vs. direkten/expliciten Unterricht und nicht angeleitetes DBL (rechts) (Alfieri et al., 2011).

**IBL:** lerner\*innengesteuertes (links) und lehrer\*innengesteuertes IBL (rechts) vs. direkten/expliciten Unterricht (Furtak, 2012).

**PBL** vs. direkten/expliciten Unterricht (Hattie, 2009).

\*Effektstärken (ES) sind Cohen  $d$  (Hattie, 2009) oder  $d'$  (Alfieri et al., 2011; Furtak et al., 2012); gleiche Definition wie  $d$ , aber mit der Standardabweichung der Kontrollgruppe im Nenner

## 2.1.2 Vom Beispiel zum systematischen Zugang

Eine grosse Anzahl von quantitativen Arbeiten der im vorigen Abschnitt genannten Art wird seit etwa zwei Jahrzehnten unter dem Begriff *Evidence based (Science) Education* (EB(S)E) zusammengefasst (Davies, 1999; Finnigan & Daly, 2014; Slavin, 2008). Evidenzbasierte Praxis ist dabei allgemein der Ansatz, Entscheidungen auf der Grundlage der besten verfügbaren Evidenz zu treffen, im Sinne der bestmöglichen - insbesondere systematischen! - Nutzung des vorhandenen Wissens, insbesondere durch Forschung. Das früheste Beispiel in dieser Hinsicht war die evidenzbasierte Medizin (EBM), d. h. “[t]he conscientious, explicit and judicious use of current best evidence in making decisions about the care of individual patients”, wie es einer ihrer Pioniere formuliert hat (Sackett et al., 1996). Die Gemeinsamkeit mit der evidenzbasierten Bildung besteht darin, dass ein wertvolles Gut oder Ziel – wie gute Gesundheit oder gute Bildung – mit begrenzten Mitteln erreicht werden muss. Als bahnbrechend für evidenzbasierte Bildung gelten dabei die Arbeiten von Hattie (2009, 2012; MetaX, 2022), die auf derzeit mehr als 1850 Metaanalysen (mit mehr als 300.000.000 Probanden) basieren. Einige qualitativ hochwertige und sehr nützliche Quellen sind in Tab. 1 zusammengestellt.

**Tab. 1.** “Evidence-based Education” (EBE) – einige empfehlenswerte Ressourcen

Englischsprachige Quellen	
Best Evidence Encyclopedia (Johns Hopkins University, USA)	<a href="http://bestevidence.org">http://bestevidence.org</a>
Visible Learning (J. Hattie, AUS)	<a href="https://www.visiblelearningmetax.com/">https://www.visiblelearningmetax.com/</a>
EPPI-centre (Evidence for Policy and Practice Information Centre, UK)	
– home	<a href="http://eppi.ioe.ac.uk/cms/Default.aspx?tabid=63">http://eppi.ioe.ac.uk/cms/Default.aspx?tabid=63</a>
– purpose of systematic reviews	<a href="http://eppi.ioe.ac.uk/cms/Default.aspx?tabid=67">http://eppi.ioe.ac.uk/cms/Default.aspx?tabid=67</a>
– index of systematic reviews (knowledge library)	<a href="http://eppi.ioe.ac.uk/cms/Default.aspx?tabid=60">http://eppi.ioe.ac.uk/cms/Default.aspx?tabid=60</a>
Deutschsprachige Quellen	
Lernen sichtbar machen (CH)	<a href="http://www.lernensichtbarmachen.ch">www.lernensichtbarmachen.ch</a>
Clearing House Unterricht (TU München)	<a href="http://www.clearinghouse.edu.tum.de">www.clearinghouse.edu.tum.de</a>
Wirksamer Fachunterricht: Perspektiven von Expertinnen und Experten: In dieser Reihe (Reinhardt, Rehm & Wilhelm; 2018-21) liegen für die Naturwissenschaften und Nachbardisziplinen sieben Bände vor (Billion-Kramer, 2021; Brovelli, 2018; Geißel & Gschwendtner, 2018; Rehm, 2018; Rempfler, 2018; Vogel, 2018; Wilhelm, 2018)	

Die Fachdidaktik hat in den letzten Jahren zunehmend effiziente und systematische Zugänge zu dem vorhandenen Fundus an Wissen in Form von Übersichtsartikeln, Handbüchern u. a. m. geschaffen. Einen guten Überblick über zentrale Themen in Forschung und Unterrichtsentwicklung sowie deren Wechselwirkung geben Labudde & Möller (2012). Die Reihe „Wirksamer Fachunterricht: Perspektiven von Expertinnen und Experten“ (Tab. 1) ist hierfür ein weiteres sehr gutes Beispiel, mit mehreren Bänden insbes. zur Naturwissenschaftsdidaktik. Sie bietet zugleich einen Überblick über zentrale Schnittstellenthemen zwischen fachdidaktischer Forschung und Praxis (Tab. 2). Ebenfalls aufschlussreich ist Labudde & Metzger (2019) mit dem dort gewählten Format einer Gegenüberstellung von naturwissenschaftsdidaktischer Theorie und Forschung und unterrichtspraktischen Umsetzungsmöglichkeiten auf einer Doppelseite.

**Tab. 2.** Zentrale Schnittstellenthemen zwischen fachdidaktischer Forschung und Praxis; angelehnt an die Leitfragen von Reinhardt, Rehm & Wilhelm (2018-21); ungefähre Anordnung von spezifischeren zu übergeordneten Themen

1)	Fachspezifische und allgemeine Herausforderungen des Unterrichtshandelns: – kognitive Aspekte: Lernen durch Experimentieren; kognitive Aktivierung; Begriffslernen und Aufbau von Wissensstrukturen; Abstraktion, Modellierung, Mathematisierung – affektive Aspekte: Motivation; „self beliefs“ (Überbegriff); Wertvorstellungen
2)	Traditionelle und neue Medien
3)	Differenzierung/Individualisierung
4)	Nature of Science (NOS, „Wesen der Naturwissenschaften“)
5)	Lehr-/Lernformen: kontext-orientierter Unterricht; Lernen mit multiplen Repräsentationen; Lernen aus Fehlern, kooperatives Lernen, u. a. m.
6)	Aufgabenkultur im naturwissenschaftlichen Unterricht
7)	Lernumgebungen
8)	Qualitätsmerkmale von naturwissenschaftlichem Unterricht
9)	Pedagogical Content Knowledge (PCK)

Mit Blick auf Ausbildung und professionelles Handeln von Lehrpersonen macht die Gesamtheit des oben umrissenen Wissens und Könnens, spezifisch für die jeweilige Unterrichtsdisziplin, den Kern dessen aus, was unter Fachdidaktik zu verstehen ist. Shulman (1986, 2015) beschreibt in seinem PCK-Model des Professionswissens von Lehrpersonen die drei Kompetenzbereiche *Content Knowledge* (CK), *Pedagogical Knowledge* (PK), und *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) an der Schnittstelle dieser Wissensbereiche (Abschnitt 1). Es sei darauf hingewiesen, dass hierzu ein breiter Konsens und intensiver Austausch mit anderen Fachdidaktiken besteht, wie die eingangs von Abschnitt 2 gegebene Definition belegt (swissuniversities, 2021b). Die Weiterentwicklung dieser gemeinsamen Ansätze von verschiedenen Fachdidaktiken wird schweizweit von der Dachgesellschaft Konferenz Fachdidaktiken Schweiz (Kofadis, o. J.) verfolgt, neuere Entwicklungen zum Leitgedanken von PCK in den Naturwissenschaften finden sich in Neumann, Kind und Harms (2019), und der wichtige Aspekt der Inter- und Transdisziplinarität findet sich z. B. in der heute zentralen Herausforderung einer Bildungspraxis im Zusammenhang mit der Leitidee der nachhaltigen Entwicklung (Abschnitt 3.1) wieder.

## 2.2 Forschung, Entwicklung und Praxis

Für die Fachdidaktik der Naturwissenschaften ist neben der Evidenzbasierung eine enge Verbindung und Wechselwirkung zwischen Forschung, Entwicklung und Praxis von zentraler Bedeutung. Beispiele hierfür sind etwa die Programme des Institutes für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) zur Kontextorientierung in den Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, und Physik im Kontext: BiK; Bayrhuber et al., 2007; ChiK: Demuth et al., 2008; Parchmann et al., 2006; PiKo: Duiote & Mikelskis, 2007 Mikelskis & Duit, 2007), in der Schweiz die Entwicklung und Implementation von HARMOS (Konsortium HarmoS Naturwissenschaften+, 2009 / Consortium HarmoS sciences naturelles+, 2009; Ramseier et al., 2011).

Über das einzelne Thema hinaus und ergänzend zu der Vielzahl konkreter Forschungsergebnisse und Forschungsübersichten (Tab. 1 & 2) gibt es wissenschaftsorganisatorische und -theoretische Grundlegungen, die ein Verständnis von Fachdidaktik als angewandter Wissenschaft klären und stärken können. Hierzu ein Überblick im folgenden Abschnitt.

### 2.2.1 Verbindung von Grundlagen- und Anwendungsforschung: Pasteurs Quadrant

*Non, mille fois non, il n'existe pas une catégorie des sciences auxquelles on puisse donner le nom de sciences appliquées.*

*Il y a la science et les applications de la science, liées entre elles comme le fruit à l'arbre qui l'a porté.*

(Pasteur, 1871)

Stokes (2009; 1997) hat eine Kategorisierung von Forschung vorgeschlagen und untersucht, die durch eine zweidimensionale Struktur nach Abb. 3 beschrieben ist. Hierbei ist die eine Dimension durch die Alternative „Grundlagenorientierung ja oder nein“ gegeben, die andere durch die Alternative „Anwendungsorientierung ja oder nein“. Diese Kategorisierung wendet sich gegen zwei verbreitete Sichtweisen auf das Verhältnis von Grundlagen- und Anwendungsforschung (Fischer et al., 2005):

**Eindimensionalität:** Anwendungs- und Grundlagenforschung werden als zwei entgegengesetzte, sich einander ausschliessende Pole einer einzigen Dimension („Grad der Anwendungs- oder Grundlagenorientierung“) betrachtet.

**Unidirektionalität:** Der Ideen- und Innovationsfluss ist ausschliesslich von der Grundlagenforschung zur Anwendung, Einflüsse in die Gegenrichtung werden nicht in Betracht gezogen; zusätzlich findet der Praxistransfer ohne Beteiligung von Grundlagenforscher\*innen statt (und vice versa), die Personenkreise von Grundlagen- und Anwendungsforschung haben keinen oder nur geringen Überlapp.

Beide Sichtweisen sind historisch offensichtlich unzutreffend, und überdies für Forschungsplanung unfruchtbar, was in Stokes' Modell wie folgt widerspiegelt wird:

<b>Grundlagen-orientierung</b>	Ja	Reine Grundlagenforschung ( <i>Bohr</i> ) <i>Bsp</i> : Kognitionspsychologische Grundlagen von Fehlkzepten	Verbindung von Grundlagen- und Anwendungsforschung ( <i>Pasteur</i> ) <i>Bsp</i> : Wie Lernende verschiedene Molekül-Darstellungen miteinander verbinden
	Nein	--	Reine Anwendungsforschung ( <i>Edison</i> ) <i>Bsp</i> : Wirksamkeit digitaler Lernspiele
<b>Anwendungs-orientierung</b>		Nein	Ja

**Abb. 3.** Bohrs, Pasteurs, und Edisons Quadrant in der Wissenschaftstypisierung nach Stokes, 1997. Die Doppelpfeile stehen für die Bidirektionalität der Beeinflussung zwischen den Forschungstypen. Unten im jeweiligen Quadranten ein Beispiel mit Bezug zur Naturwissenschaftsdidaktik (National Research Council (NRC), 2012b).

„Bohrs Quadrant“ steht für reine Grundlagenorientierung, verknüpft mit N. Bohr, der seine Pionierarbeiten zur Atomphysik in der Tat ursprünglich aus einem grundlegenden Erkenntnisinteresse heraus unternommen hatte; heute aber wäre es absurd zu behaupten, dass Atomphysik keine Anwendungen hätte, oder in dem Gebiet Anwendungs- und Grundlagenforschung voneinander getrennt seien.

„Edisons Quadrant“ steht für reine Anwendungsorientierung, zurecht verknüpft mit T. A. Edison und dessen in der Tat auf Verwertung und Vermarktung ausgerichtete Forschung; als Gegenbeispiel für die Unidirektionalität sei aber etwa die Begründung der Quantenphysik durch M. Planck zu nennen, die von dem Ziel ausging, den höchst praktischen Fall von Strahlungsnormen für Eichmessungen physikalisch zu verstehen.

„Pasteurs Quadrant“ schliesslich ist der Quadrant oben rechts („ja“ für beide Kriterien), bezeichnet nach Louis Pasteur, dessen Forschung und Forschungsmotivation als paradigmatisch für die Verbindung von Grundlagen- und Anwendungsorientierung steht (Forschung über mikrobiologische und chemische Grundlagen, und Anwendung z. B. auf Impfung und Pasteurisierung). Pasteurs eigene Positionierung wird sehr gut deutlich durch das Zitat am Anfang dieses Abschnittes. (Mit dem verbleibenden Quadranten möchte aus naheliegenden Gründen niemand namentlich identifiziert werden).

In Stokes Modell erfolgt die Typisierung von Forschung also *zweidimensional* (Grundlagen- und Anwendungsorientierung), und die Einflüsse zwischen den verschiedenen Forschungstypen (Bohr, Pasteur, Edison) sind *bidirektional*.

Beispiele für Forschung in den verschiedenen Quadranten mit Bezug zum *Lernen* in den Naturwissenschaften finden sich in: kognitionspsychologische Grundlagen von Fehlkzepten („Bohr“); wie Lernende verschiedene Moleküldarstellungen miteinander verbinden („Pasteur“); Lernwirksamkeit von Animationen („Edison“).<sup>3</sup> Weitere Beispiele aus Pasteurs Quadrant betreffend *Motivation und Interesse* in den Naturwissenschaften wären Untersuchungen zu Unterrichtsansätzen, die sich auf die Motivationstheorie von Deci & Ryan beziehen, oder auf die Person-Objekt-Theorie von Interesse und Interessensentwicklung (Krapp & Prenzel, 2011; Menthe & Parchmann, 2015; Renninger et al., 2015, S. 11 Kap. 5). Für die Schweiz stellt eine reichhaltige Quelle grundlagenorientierter naturwissenschaftsdidaktischer Forschung das Schweizer Forum Fachdidaktiken Naturwissenschaften („DiNat-Forum“) dar, eine vertiefte Diskussion ausgewählter Beispiele findet sich in Wilhelm (2019).

In den Bildungswissenschaften wird „Pasteurs Quadrant“ seit rund 20 Jahren als sinnvolle und wirksame Form bildungswissenschaftlicher Forschung prominent diskutiert, z. T. in enger Verbindung mit dem Gedanken der Evidenzbasierung, siehe Abschnitt 2.1 (Berliner, 2004; Burkhardt & Schoenfeld, 2003; Stark & Mandl, 2007), im deutschsprachigen Raum unter Leitbegriffen wie „anwendungsorientierte Grundlagenforschung“ (Brüggemann & Bromme, 2006). Ähnliche Begriffsbildungen sind „grundlagenorientierte Anwendungsforschung“ (Einsiedler, 2010) oder „erkenntnisorientierte Entwicklungsforschung“ (Wilhelm, 2019), die die gleiche Verbindung, aber mit unterschiedlicher Zielorientierung meinen. Für die Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik haben z. B. Leuders (2015) und Wilhelm (2019, 2016) diese Entwicklung aufgegriffen und weiterentwickelt.

Grundgedanke dabei ist immer, Lehren und Lernen zu untersuchen, um es zu verbessern, *und* zugleich die Prozesse dahinter zu verstehen. Auf der Ebene der Wissenschaftsorganisation hat der Schweizer Nationalfonds seit 2011 die Kategorie „Anwendungsorientierte Grundlagenforschung“ eingeführt, der in einer Evaluation grundsätzlich ein gutes Zeugnis ausgestellt und die insbesondere von vielen Stakeholdern positiv bewertet wurde (Kissling-Näf & Pignat, 2017; Kolarz et al., 2017).

<sup>3</sup> Man beachte, dass auch hier die Bidirektionalität zwischen den verschiedenen Forschungstypen gilt, z. B. können Befunde aus einer rein anwendungsorientierten Studie neue grundlagenorientierte Fragen aufwerfen.



Zusammenfassend haben anwendungsorientierte Grundlagenforschung (und ihr Komplement erkenntnisorientierte Entwicklungsforschung) in der Naturwissenschaftsdidaktik ein breites konzeptuelles und wissenschaftspolitisches Fundament, und Wilhelm (2019) konstatiert, dass sie erfolgreich Transfer zwischen Grundlagen und Anwendung (in beide Richtungen!) leisten können. Die genannten Beispiele, die in Tab. 2 als Themenübersicht dargestellt sind, belegen überzeugend, dass eine ertragreiche Verbindung von Anwendungs- und Grundlagenorientierung in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung möglich ist – für den alltäglichen Unterricht, für die Ausbildung von Lehrpersonen, und für den systemischen Kontext (Wilhelm, 2019).

## 2.2.2 Verbindung von Forschung und Praxis : Umsetzung als Kernproblem

*Failed implementation is the bane of all change aspirations*  
(Fullan & Scott, 2009)

„Gescheiterte Umsetzung ist der Fluch aller Änderungsbestrebungen“, so die pointierte und prominente Formulierung eines zentralen Problems zwischen Forschung und Praxis im Bildungsbereich (Übersetzung des og. Zitats von Fullan & Scott, 2009, s.a. Fischer et al., 2005). Dieses Problem kann auch für erfolgreiche und relevante Forschung in Pasteurs Quadrant bestehen: eine gelungene Verbindung von Grundlagen- und Anwendungsforschung im Sinne des vorigen Abschnittes bedeutet nicht automatisch, dass auch die Umsetzung in der Praxis schon gelungen ist. Ziel muss es also sein, dass die Ergebnisse der fachdidaktischen und pädagogisch-psychologischen Forschung stärker Eingang in die Praxis von Schulunterricht und Lehrpersonenbildung finden (Metzger, 2013). In vielen der oben skizzierten Ansätze, insbesondere den Bestrebungen zur Evidenzbasierung und zur Verbindung von Forschung und Entwicklung (dieser Abschnitt), sowie in den aktuellen Anstrengungen zur „Bildung Nachhaltiger Entwicklung (BNE)“ und zur „Digitalen Bildung“ (Abschnitt 3) kann man eine sehr positive Entwicklung in die richtige Richtung erkennen, quantitativ wie qualitativ; insbesondere bedeutet das Forschungsverständnis nach dem Stokes-Modell keineswegs eine „Einbahnstrasse“ zwischen Forschung und Praxis. Dennoch gehören Umsetzung und Implementation von verfügbaren Fortschritten in Forschung und Entwicklung weiterhin zu *den* zentralen offenen Fragen der Fachdidaktik. Dies führt zu der folgenden Zwischenbilanz.

## 2.3 Zwischenbilanz – Die zentrale Rolle der Ausbildung von Lehrpersonen

*„It is almost nobody's job to turn insight into impact“*  
(Burkhardt & Schoenfeld, 2003)

Nein, würde man aus der Warte der Naturwissenschaftsdidaktik 20 Jahre später sagen: die zunehmende Ausrichtung auf Evidenzbasierung in Fragen des Lehrens und Lernens, zusammen mit der Verbindung von Anwendungs- und Grundlagenorientierung hat dazu geführt, dass viele Naturwissenschaftsdidaktiker\*innen, oft in einer engen Zusammenarbeit von Forschung und Praxis, sehr erfolgreich „insight into impact“ überführen (Abschnitt 2.1). Eine beeindruckende Wissensbasis und hoch dynamische Entwicklungen – aber warum muss man dennoch auch heute noch von einem erheblichen Problem bei der Umsetzung in die Praxis sprechen (Abschnitt 2.2.2)? Auf das o.g. Beispiel zurückkommend (Abb. 2): Wie soll in der Praxis der notwendige Grad an Anleitung und Unterstützung für DBL/IBL/PBL erreicht werden? Wo und wie sollen all die anderen Erkenntnisse von EB(S)E in den Unterricht einfließen?

Es ist klar, dass die Grundlagen hierfür in der Lehrpersonenbildung gelegt werden müssen, und dass dies nicht mit einer noch so ausgewogenen einmaligen Darstellung und Diskussion der Forschungsgrundlagen getan ist. Studierende brauchen für komplexe Fähigkeiten, zumal bei aktuellen Themen wie BNE und Digitalisierung (Abschnitt 3), Zeit und Gelegenheit zum Probieren, Erhalten von Feedback, und individuellem und gemeinsamen Reflektieren – und schon sind wir mitten in der Auseinandersetzung über geeignete Formate und Gefässe der Lehrpersonenbildung (Abschnitt 4).

## 3 Aktuelle Themen und Herausforderungen

Neben den bereits ausgeführten genuinen Aufgaben der Naturwissenschaftsdidaktik bewegt man sich bei der Bearbeitung der aufgezeigten Fragestellungen immer in einem gesellschaftlichen Spannungsfeld. Dabei werden die Leitidee einer nachhaltigen Entwicklung und die sich immer schneller digitalisierende Welt als die beiden wesentlichen aktuellen Leitplanken erachtet. Dies in geeigneter Form zusammenzubringen ist auch die Aufgabe der Naturwissenschaftsdidaktik.

Die Agenda 2030 definiert als Orientierungsrahmen für eine nachhaltige Entwicklung 17 Ziele einer nachhaltigen Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs), die die Menschheit bis zum Jahre 2030 erreicht haben möchte, um weltweit u. a. Frieden, Ernährung und Zugang zu Wasser, eine intakte Umwelt und Wohlstand sicherzustellen und so den grossen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts wie Klima-, Hunger- und Flüchtlingskrisen zu begegnen (United Nations, 2015). Für jedes SDG wurden auch Bildungsziele definiert (UNESCO, 2017). Die Digitalisierung nimmt bei der Lösung der beschriebenen Zukunftsherausforderungen (Strategie «Digitale Schweiz», BAKOM, 2018, 2020) eine besondere Rolle ein. Einerseits ist Digitalisierung eine wichtige Grundlage, um Nachhaltigkeitsfra-

gestellungen lösen zu können. Andererseits wirft die Digitalisierung aber neue Problemfelder nachhaltigen Wirtschaftens wie die Begrenztheit von Rohstoffen (insb. seltene Erden) und Energieversorgung (insb. für Netzwerkinfrastruktur) auf.

Wenn die Gesellschaft als solches diese Ziele erreichen können soll, bedarf es gesamtgesellschaftlich als auch beruflich Menschen mit einer adäquaten Grundbildung, so dass diese befähigt sind, sowohl reflektierte Entscheidungen zu treffen als auch nachhaltigkeitsfördernde Berufe zu ergreifen. Voraussetzung hierfür ist, dass alle Menschen über die notwendigen Kompetenzen und Problemlösestrategie für das 21. Jahrhundert verfügen. Daher benötigen Schüler\*innen eine entsprechende Bildung im Bereich der nachhaltigen Entwicklung und der Digitalisierung, um in ihrem Leben selbst auf Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung und fortschreitenden Digitalisierung Einfluss nehmen zu können. Die Grundsteine für den lebenslangen Erwerb und Ausbau von Kompetenzen in diesen Bereichen werden in der schulischen Bildung gelegt und im Folgenden beschrieben. Um diesen in der schulischen Bildung ansetzenden Transformationsprozess gestalten zu können, bedarf es einer adäquaten Grundbildung und entsprechender Konzepte, die beide Aspekte (Digitalisierungs- und Nachhaltigkeitsfragestellungen) integral beinhalten und miteinander vereinen. Den Naturwissenschaften kommt hier wichtige Bedeutung zu.

### 3.1 Leitidee einer Nachhaltigen Entwicklung und Relevanz für die Naturwissenschaftdidaktik

#### 3.1.1 Nachhaltige Entwicklung

Nachhaltige Entwicklung wurde erstmals im sogenannten Brundtland-Bericht (WCED, 1987) als eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne die Bedürfnisse der nachfolgenden Generationen zu riskieren, definiert. Nachhaltige Entwicklung wird als ein Prozess verstanden, der Nachhaltigkeit erreichen möchte. Demnach könnte man auch sagen, dass maximale Nachhaltigkeit angestrebt wird, bzw. anders formuliert handelt es sich also um einen Prozess, der sich von Nicht-Nachhaltigkeit entfernen möchte (Wilhelm, 2021). Diesen Vorstellungen liegt die Idee zu Grunde, dass nachhaltige Entwicklung ein Ausbalancieren der drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales darstellt.

Es wird seit längerem darüber debattiert, ob diese drei Dimensionen gleichberechtigt sind. Im Fokus der Kritik steht insbesondere die schwierige Operationalisierbarkeit der Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales. Im gleichberechtigten Fall verschiebe sich der Fokus schnell hin zu sozialen und ökonomischen Zielsetzungen, so dass die ökologische Dimension kaum eine gleichrangige Behandlung erhalte. Daraus resultieren dann Diskussionen um eine starke und schwache Nachhaltigkeit (z. B. Brockhage et al., 2021; Müller & Niebert, 2017; Wilhelm, 2021).

Dabei handelt es sich um Konzepte aus der Umweltökonomie, die sich darin unterscheiden, wie sie den Erhalt von Naturkapital bewerten. Diese können als die beiden Pole der Diskussion der Modellvorstellungen Nachhaltiger Entwicklung verstanden werden. Schwache Nachhaltigkeit (Schnittmengen-Modell, Abb. 4 linke Darstellung) ist eine anthropozentrische Betrachtung und erlaubt die Substitution von Naturkapital durch Humankapital, beispielsweise durch Technologien oder Know-How. Starke Nachhaltigkeit (Vorrang-Modell, Abb. 4 rechte Darstellung) hingegen betrachtet Naturkapital als nicht substituierbar, fordert, dass es physisch geschützt wird, und wird auch als Ökozentrismus bezeichnet. Starke Nachhaltigkeit orientiert sich an ökologischen Grössen wie dem ökologischen Fussabdruck oder dem planetaren Leitplankenmodell. Schwache Nachhaltigkeit wird kritisiert, weil sie die Natur nicht ausreichend schützt, starke Nachhaltigkeit wird kritisiert, weil sie der Wirtschaft zu enge Grenzen setzt (Ott & Döring, 2008).



Abb. 4. Modelldarstellungen schwacher, sensibler und starker Nachhaltigkeit (Wilhelm, 2023).

Die Grenzen beider Nachhaltigkeitsmodelle werden seit längerem diskutiert, u. a. im Sinne wie stark das Modell der schwachen Nachhaltigkeit und wie schwach das Modell der starken Nachhaltigkeit ist (z. B. Döring, 2004). Raworth, 2012 hat erstmals mit dem *«safe and just space for humanity»* Ansatz ein Modell vorgestellt, welches zwischen schwacher und starker Nachhaltigkeit anzusiedeln ist. Es ist ein Konzept für eine nachhaltige und gerechte Wirtschaft, welches die ökologischen Grenzen und die sozialen Grundbedürfnisse der Menschen berücksichtigt. Das Modell stellt sich die Wirtschaft als einen Donut vor, dessen innerer Ring die minimale Versorgung mit Lebensgrundlagen im Sinne eines sozialen Fundaments darstellt, und dessen äusserer Ring die planetaren Grenzen wie Klimawandel, Artenster-

ben, Wasserverbrauch und Luftverschmutzung im Sinne einer durch die Umwelt gegebenen Decke repräsentiert. Das Ziel ist es, sich mit dem menschlichen Handeln innerhalb des Donuts zu bewegen.

Wilhelm et al. (2022) versuchen mit dem Modell der sensitiven Nachhaltigkeit (Viabilitätsmodell, Abb. 4 mittlere Darstellung) das sogenannte Donut-Modell von Raworth (2017) einerseits zu vereinfachen und es dabei inhaltlich um die Problematik des Abbaus nicht erneuerbarer Rohstoffe zu erweitern, d. h. inhaltlich zu komplettieren. Das Viabilitätsmodell wird bildlich als ein „Donut mit Biss“ dargestellt und diskutiert eine ethisch viable Entwicklung der Menschheit zwischen zwei Grenzen, nämlich einem minimalen Anspruch und einer maximalen Belastung der Welt. Wilhelm et al. (2022) betonen, dass es sich um ein Planungsmodell handelt, welches fundierte ethische Diskurse zur Entscheidungsfindung ermöglichen soll, ohne aufzuzeigen wie sensitive Nachhaltigkeit erreicht wird.

Die SDGs umfassen 17 Ziele und 169 Unterziele, die sich auf verschiedene Aspekte der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit beziehen und sollen bis zum Jahr 2030 erreicht werden (United Nations, 2015). Die SDGs sind als ein integrierter und universeller Rahmen konzipiert, der die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigt und zudem die Armutsbekämpfung adressiert. Die SDGs können sich gegenseitig verstärken und Synergien schaffen. Beispielsweise kann die Förderung der erneuerbaren Energien (SDG 7) nicht nur den Klimawandel bekämpfen (SDG 13), sondern auch den Zugang zu sauberer Energie für alle Menschen verbessern (SDG 1) und neue Arbeitsplätze schaffen (SDG 8). Allerdings können die SDGs auch in Konflikt miteinander geraten. Ein weiteres Beispiel wäre, dass das Wachstum der Wirtschaft (SDG 8) zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch und einer grösseren Umweltbelastung führt (SDG 12). Oder die Förderung der Landwirtschaft (SDG 2) kann zu einer Abholzung der Wälder (SDG 15) oder einer Verschmutzung der Gewässer (SDG 6) beitragen. Wie diese Beispiele nahelegen, sind die SDGs nicht unumstritten. Unter anderem werden die Vereinbarkeit von Wachstum und Ökologie, die Partizipation und Repräsentation von verschiedenen Akteuren und Interessen, die Messbarkeit und Überprüfbarkeit der Ziele und Indikatoren, sowie die Verantwortlichkeit und Rechenschaftspflicht der Staaten und anderen Akteuren für die Umsetzung der SDGs hinterfragt (z. B. Hickel, 2019; Martens & Obenland, 2016; Pogge & Sengupta, 2015).

Dennoch befinden sich die Nachhaltigkeitsmodelle und die 17 SDGs auf unterschiedlichen Ebenen. Es existieren Ansätze, welche diese Betrachtungsweisen verbinden. Ein bekanntes Konzept ist das Wedding-Cake-Modell von Rockström und Sukhdev (2016), welches das Vorrang-Modell mit den 17 SDGs verknüpft. Soziale, ökonomische und ökologische Entwicklungsziele werden dabei nicht mehr als separat angesehen, sondern verschieben sich zu einer Sichtweise, bei welcher die Wirtschaft der Gesellschaft dient, damit sie sich im sicheren Handlungsraum des Planeten entwickeln kann. Dieser Handlungsspielraum „Biosphäre“ (vormals die ökologische Säule) nimmt somit einen besonderen Stellenwert ein. In diesem Zusammenhang wird auch von den planetaren Leitplanken oder Grenzen (Steffen et al., 2015) gesprochen, die aufzeigen, wie dringend das Einhalten ökologischer Belastbarkeitsgrenzen ist. Da gerade die Naturwissenschaften sich mit der Biosphäre beschäftigen und diese die Basis im Wedding-Cake-Modell darstellt, lässt sich hieraus wiederum direkt die Bedeutung der Naturwissenschaften ablesen.

Es gibt auch Versuche das Donut-Modell (Raworth, 2017) und die SDGs zu verbinden (z. B. Coll, 2020 und Gericke, 2021). Dabei werden die SDGs den einzelnen Bereichen des Donuts zugeordnet. Coll (2020) stellt dies so dar, dass die biosphärischen SDGs (SDGs 6, 13-15) die "biophysikalischen Grenzen" sind und sich ausserhalb des Donuts befinden. Friedliche, gerechte und inklusive Gesellschaften mit starken Institutionen und globalen Partnerschaften (SDGs 16, 17) stellen die "sozialen Schwellenwerte" dar, die für das Gedeihen des menschlichen sozioökonomischen Raums (SDGs 1-5, 7-12) nötig sind.

### 3.1.2 Kompetenzen einer Nachhaltigen Entwicklung

Um ein Verständnis sowohl für die verschiedenen Nachhaltigkeitsmodelle als auch die einzelnen SDGs entwickeln zu können, ist die vertiefte Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Prozessen und deren Wechselwirkungen in und mit der Gesellschaft unerlässlich. Das streicht sowohl die Bedeutung der Naturwissenschaften als Fachwissenschaften (Inhalte) und derdazugehörigen Fachdidaktiken (Vermittlung) besonders hervor. Es handelt sich dabei um die in Abb. 1 erläuterte Professionswissensbasis (CK, PK, PCK), aus der sich das themenspezifische fachdidaktische Professionswissen der Lehrperson ergibt.

Abgesehen von den Fachinhalten werden gesamtgesellschaftlich vielseitige Kompetenzen auf unterschiedlichen Ebenen benötigt, um die aktuellen und oben erwähnten Herausforderungen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung angehen zu können.

Als übergeordneter Rahmen für ein lebenslanges Lernen aller Altersstufen in der Europäischen Union beschreibt GreenComp (ECJRC, 2022) zwölf Nachhaltigkeitskompetenzen in den vier Bereichen „Verkörperung von Nachhaltigkeitswerten“, „Die Komplexität der Nachhaltigkeit annehmen“, „Visionen für eine nachhaltige Zukunft“ und „Handeln für Nachhaltigkeit“. Nachhaltige Entwicklung wird in diesem Bericht so definiert, dass diese die Bedürfnisse aller Lebensformen und die des Planeten priorisiert, indem sichergestellt wird, dass die menschlichen Aktivitäten die planetaren Grenzen nicht überschreiten.

Eine der einflussreichsten und meistzitierten Studien zu Schlüsselkompetenzen für Nachhaltigkeit von Studierenden aller Fächer ist das Literaturreview von Wiek et al. (2011). In der Delphi-Studie von Brundiers et al. (2021) untersuchen 14 internationale Expert\*innen den Grad ihrer Zustimmung zu dem Orientierungsrahmen von Wiek et al. (2011), dessen Weiterentwicklung (Wiek et al., 2016) sowie Vorschläge zu notwendigen Ergänzungen, Änderungen oder Entfernungen und verfeinern den Orientierungsrahmen der Schlüsselkompetenzen für Nachhaltigkeit. Diese

exemplarisch genannten Kompetenzrahmen sind insofern relevant, als dass sie eine wichtige Grundlage für spezifische Kompetenzrahmen für Lernende sowie Lehrende darstellen.

Für angehende Lehrpersonen in den Naturwissenschaften sind fachwissenschaftliche Kompetenzen einer Nachhaltigen Entwicklung im Allgemeinen und fachdidaktische Kompetenzen in diesem Bereich im Besonderen von grosser Bedeutung. Ein solcher doppelter Kompetenzrahmen existiert bislang nicht, die Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDPCP) hat mit der Arbeit daran begonnen.

### 3.1.3 Bildung Nachhaltiger Entwicklung (BNE)

Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) bzw. Education for Sustainable Development (ESD) ist ein Bildungskonzept, welches auf dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung, das 1992 auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung formuliert wurde, basiert. BNE/ESD soll dazu beitragen, die SDGs zu erreichen. Zu den wichtigsten Akteur\*innen von BNE gehören die UNESCO als globale Koordinatorin des Programms ESD for 2030 (UNESCO, 2020), die nationalen UNESCO-Kommissionen als Schnittstellen zu den Mitgliedsstaaten und die nationalen Regierungen als Verantwortliche für die Bildungspolitik und -praxis. Darüber hinaus spielen auch weitere internationale Organisationen wie beispielsweise die EU (z. B. UNECE, 2012) eine wichtige Rolle bei der Förderung von BNE/ESD.

Das Bildungskonzept der BNE wurde Ende der 1990er Jahre entwickelt (im deutschsprachigen Raum beispielsweise BLK, 1998; de Haan, 2002; Bertschy et al., 2007). Es handelt sich dabei um ein bildungswissenschaftlich orientiertes Konzept und soll Lernen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung ermöglichen. Kompetenzen, die für eine Beteiligung an einer ökologisch, sozial und wirtschaftlich nachhaltigen Entwicklung nötig sind, sollen gefördert werden. So kann es als ein Beitrag zur Verantwortungswahrnehmung gegenüber den zukünftigen Generationen angesehen werden.

BNE ist aber in einen sich verändernden, komplexen globalen Kontext mit verschiedensten Akteur\*innen eingebettet. BNE steht unter dem Einfluss wissenschaftlicher Erkenntnis, die Fragen einer nachhaltigen Entwicklung adressieren, politischen Entwicklungen (z. B. Definition des Auftrags der öffentlichen Schule) sowie pädagogischer Innovationen wie beispielsweise dem Whole School Approach für BNE (éducation21, 2023). Auf all diesen Ebenen werden Debatten geführt, was eine einheitliche und vor allem bestandhabende Definition von BNE zusätzlich erschwert, da diese von den Definitionen und Vorstellungen nachhaltiger Entwicklung abhängig ist. Deshalb fordert (éducation21, 2023) ein BNE-Verständnis, welches sich sowohl auf gut verankerte Elemente stützt als auch diejenigen anerkennt, die nicht gefestigt und Gegenstand aktueller Diskussionen sind.

Sinn, Ziel und Zweck von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) werden von (éducation21, 2023) folgendermassen vorgeschlagen:

- Der Sinn von BNE besteht darin, zu einer nachhaltigeren Welt beizutragen.
- Das Ziel von BNE besteht darin, an der Umgestaltung des Lehrens und Lernens mitzuwirken, damit die Bildung den (wahrgenommenen) Bedürfnissen der Zukunft entspricht.

Der Zweck der BNE besteht darin, die Lernenden mit Wissen und Kompetenzen auszustatten, damit sie in einer komplexen Welt, die von tiefgreifenden ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Veränderungen geprägt ist, eigenständig denken und handeln können.

Die Bezeichnung „Bildung für Nachhaltige Entwicklung“ wird von manchen Autoren (z. B. Hedtke, 2016 und Wilhelm, 2021) als problematisch angesehen. Dies insbesondere deshalb, da es unmöglich ist einen Zustand von Nachhaltigkeit jemals zu erreichen. Unterricht sollte nicht darauf abzielen dafür auszubilden, dass ein bestimmtes Konzept verfolgt wird und deshalb sollte vielmehr die Bezeichnung „Bildung in nachhaltiger Entwicklung“ verwendet werden. Der Unterricht in Nachhaltiger Entwicklung zielt darauf ab, multiple fachliche und ethische Aspekte Nachhaltiger Entwicklung wahrzunehmen, die komplexen Herausforderungen und Fragestellungen, die mit den verschiedenen Aspekten und Dimensionen der «Nachhaltigen Entwicklung» verknüpft werden, zu verstehen (Bildung über Nachhaltige Entwicklung) und sich kritisch mit Nachhaltiger Entwicklung auseinanderzusetzen, um trotz Unsicherheiten sowie Widersprüchen ethisch handlungswirksam zu sein (Bildung als Nachhaltige Entwicklung) (Wilhelm, 2021).

Es gibt also verschiedene Konzepte und Ansätze für BNE, die je nach Kontext, Zielgruppe und wissenschaftlicher Betrachtungsweise variieren können. Einige wichtige und auch verbindende Prinzipien sind jedoch:

- BNE ist fächerübergreifend und interdisziplinär, im Idealfall transdisziplinär: Wissen aus verschiedenen Disziplinen wie Naturwissenschaften, Sozialwissenschaften, Geisteswissenschaften und Kunst werden verbunden.
- BNE ist partizipativ und handlungsorientiert: Aktives Lernen und Engagement der Lernenden in realen Situationen und Herausforderungen wird gefördert.
- BNE ist kritisch und reflexiv: Die Lernenden werden angeregt ihre eigenen Werte, Einstellungen und Verhaltensweisen zu hinterfragen und alternative Perspektiven zu erkunden.
- BNE ist kontextbezogen und lokal relevant: Bedürfnisse, Interessen und Erfahrungen der Lernenden sowie die lokalen und globalen Auswirkungen ihrer Handlungen werden berücksichtigt.

Aktuell handelt es sich bei BNE aber um ein bildungswissenschaftliches Konzept. Fachdidaktische Konzepte fehlen. Es existiert keine Didaktik der Nachhaltigkeitswissenschaften. Wilhelm und Rinaldi (2023) fordern gar ein Weniger an überfachlicher Erziehung im Bereich der BNE. Die Bezugsdisziplin der BNE sei ferner die Nachhaltigkeitswissenschaft und somit bedarf es einer Didaktik der Nachhaltigkeitswissenschaft.

### 3.1.4 Kompetenzen einer BNE von Lernenden und Lehrenden

Für den deutschsprachigen Raum wurde eine Orientierungshilfe Bildung für nachhaltige Entwicklung (De Haan, 2008) mit bildungswissenschaftlichem Blickwinkel entwickelt. Gemäss derer sollen Schüler\*innen im Handlungsfeld BNE speziell Gestaltungskompetenz - die Fähigkeit Wissen über nachhaltige Entwicklung im Sinne einer Mitgestaltung anzuwenden und potenzielle Probleme nicht nachhaltiger Entwicklung erkennen zu können – erwerben (de Haan & Harenberg, 1999). Dabei wurden zunächst zehn und später zwölf (De Haan, 2008) Teilkompetenzen unterschieden. Für den schweizerischen Kontext werden vielfach die Arbeiten und Materialien der Stiftung éducation21 herangezogen, in welchen ein umfassendes Verständnis einer BNE erarbeitet wurde (éducation21, 2016).

Eine Weiterentwicklung dessen, die auch die romanische Schweiz einbezieht, stellt die Typologie von (Pellaud et al., 2021) dar. Diese Typologie definiert einen allgemeinen Rahmen von drei Gruppen überfachlicher Kompetenzen (metakognitive, kognitive und sozio-emotionale) und beziehen sich auf internationalen Gremien, wie das World Economic Forum (WEF), die OECD und die UNESCO, die gemäss (Pellaud et al., 2021) den grössten Einfluss auf das Schweizer Schulsystem haben.

Éducation21, das nationale Kompetenz- und Dienstleistungszentrum für BNE in der Schweiz, hat für diese Typologie nun einen Satz neuer Formulierungen von BNE-Kompetenzen vorgeschlagen (éducation21, 2023), der auf die 3 Sprachregionen der Schweiz anwendbar sein sollte und in Tab. 3 dargestellt ist.

**Tab. 3.** Basierend auf Pellaud et al. (2021) schlägt éducation21 (2023) neue Kompetenz-Formulierungen vor.

Überfachliche Kompetenzen		
Metakognitiv	Kognitiv	Sozio-emotional
Motivationale und meta-kognitive Fähigkeiten	Komplexes Denken	Zwischenmenschliche Fähigkeiten
	Reflexivität	Selbsterkenntnis
	Vorausblickendes Denken	

Alle hier diskutierten Aspekte sind als überfachliche Anliegen zu verstehen und beziehen sich demnach nicht auf einzelne Fächer. Eine Operationalisierung für einzelne Fächer und in unserem Kontext besonders interessant für die technisch naturwissenschaftlichen Fächer steht noch aus. Dies mag auch an dem Fehlen einer Didaktik der Nachhaltigkeitswissenschaft liegen, so dass die einzelnen Fachdidaktiken nicht an didaktische Überlegungen aus diesem Blickwinkel anknüpfen können (Wilhelm & Rinaldi, 2023). Im Lehrplan 21 (D-EDK, 2015) werden beispielsweise in einzelnen Kompetenzstufen verschiedener Fachlehrpläne Querverweise angegeben anhand derer BNE im Unterricht aufgenommen werden kann. Eine Schwierigkeit scheint hier insbesondere, dass sich einerseits die Querverweise von Kanton zu Kanton unterscheiden. Zudem befinden sich die Kompetenzformulierungen der BNE auf einer anderen Abstraktionsebene als die Kompetenzformulierung der Fachlehrpläne. So handelt es sich aus naturwissenschaftsdidaktischer Sicht bei den BNE-Kompetenzen nach de Haan, 2008 und auch éducation21, 2016 eher um Denk- Arbeits- und Handlungsweisen (DAH) als um Kompetenzen (Wilhelm, 2023). Hier sind Arbeiten nötig, die naturwissenschaftsdidaktische Kompetenzmodelle mit den bildungswissenschaftlichen BNE-Konzepten verbinden. Die Versuche von Gericke (2021) und Coll (2020) das Donut-Modell (Raworth, 2017) und die SDGs zu verbinden, könnte als Ausgangspunkt dienen, indem nun weiter versucht wird, diese mit den Bildungszielen der SDGs (UNESCO, 2017) und/oder den im schweizerischen Kontext verwendeten BNE-Kompetenzen (éducation21, 2016) in Verbindung zu setzen.

Unabhängig von der ausstehenden Operationalisierung auf Ebene der Lernenden müssen Lehrpersonen aber über zusätzliche Kompetenzen verfügen, welche im Folgenden kurz umrissen werden:

Das CSCT (Curriculum, Sustainable development, Competences, Teacher training) Framework beschreibt mit dem „*Dynamic model for ESD competences teacher education*“ (Sleurs, 2008) Kompetenzen für Bildung für nachhaltige Entwicklung (*Education for Sustainable Development*, ESD) und fokussiert dabei auf die Lehrperson als Individuum. Einem sozio-konstruktivistischem Ansatz folgend ist erstens die Lehrperson in eine institutionelle Gemeinschaft und in die Gesellschaft als Ganzes eingebunden und steht mit Lernenden in einer dynamischen Beziehung. Zweitens erfordert Nachhaltigkeitsbildung in besonderem Masse ein aktives Lernen der Schüler\*innen. Entsprechend haben Kommunikations- und Reflexionskompetenzen eine grosse Bedeutung im CSCT Framework.

In den „*Competences for educators in education for sustainable development*“ (UNECE, 2012) werden 39 Kompetenzerwartungen an Lehrende formuliert und diese erstens Lerndimensionen (*Learning to do, Learning to be, Learning to live together* und *Learning to know*) und zweitens Aspekten der Nachhaltigkeitsbildung (ganzheitlicher Ansatz, Visionen für den Wandel, Informationsbereitstellung) zugeordnet.

In der Annahme, dass das UNECE-Framework als zu abstrakt, komplex und mit seinen 39 Kompetenzerwartungen als zu unhandlich angesehen werden kann (Vare et al., 2019), wurde im Projekt *A Rounder Sense of Purpose* das RSP-

Framework entwickelt, mit zwölf Kompetenzen für alle Lehrenden, die Bildung für nachhaltige Entwicklung anbieten möchten (Rieckmann & Barth, 2022). Die 12 Kompetenzen werden dabei einer Matrix mit den Spalten *Holistisches Denken*, *Visionen für Veränderung und Transformation* erreichen sowie den Zeilen *Integration*, *Einbindung*, *Praxis* und *Reflexion* zugeordnet. Die 12 RSP-Kompetenzen sollen nicht getrennt oder isoliert betrachtet werden. Lehrpersonen werden vielmehr unweigerlich gleichzeitig an und mit verschiedenen Kompetenzen arbeiten. In der operationalisierten Variante werden für alle 12 Kompetenzen jeweils 3 Lernergebnisse formuliert. Dies in dem Sinne, dass die Lehrperson den Lernenden hilft, diese zu erreichen (Kompetenzen der Lernenden). Zudem werden für diese Lernergebnisse unterstützende Komponenten (UK) für die Lehrperson definiert, um die Ziele auch erreichen zu können (Kompetenzen der Lehrperson). Auch hier verstehen sich die Formulierungen als überfachliche Kompetenzen und beziehen sich demnach nicht auf einzelne Fächer. Es ist anspruchsvoll dies für den naturwissenschaftlich technischen Unterricht zu operationalisieren bzw. an existierenden fachdidaktischen Überlegungen anzuknüpfen. In diesem Bereich sind massgebliche Entwicklungsarbeiten zu leisten. Als Ausgangspunkt könnten theoretische und empirische Erkenntnisse aus den einzelnen Naturwissenschaftsdidaktiken und/oder der Bereichsdidaktik genutzt werden, um eine Etablierung einer Fachdidaktik der Nachhaltigkeitswissenschaften zu ermöglichen (Wilhelm & Rinaldi, 2023).

Zwar wird die Bedeutung digitaler Technologien für das Erreichen der SDGs in der Agenda 2030 deutlich herausgestellt, dennoch werden digitale Kompetenzen in den genannten Frameworks nicht expliziert. Daher müssen digitalisierungsbezogene Kompetenzrahmen gleichermaßen berücksichtigt werden.

## 3.2 Digitalisierung und Bildung in der und für die digitale(n) Welt

### 3.2.1 Digitale Kompetenzen von Lernenden

Im nationalen Bildungsplan für die Volksschule der Deutschschweiz, dem **Lehrplan 21**, kommt dem Fachbereich *Natur und Technik* (mit Physik, Chemie und Biologie) eine Schlüsselrolle zu (D-EDK, 2015), wenn die Erhebung von Daten, deren Auswertung und Interpretation, Weiterverarbeitung, Archivierung oder auch Verbreitung im Mittelpunkt stehen. Damit wurde die digitale Bildung der Schüler\*innen zum ausdrücklichen und hervorgehobenen Bildungs- und Erziehungsziel der Schule. Die digitalen Basiskompetenzen der Lernenden sollen in allen Unterrichtsfächern (und nicht etwa in einem eigens dafür eingerichteten Fach) gefördert werden. Entsprechend müssen alle angehenden Lehrpersonen selbst über geeignete digitale Kompetenzen verfügen, um mithilfe digitaler Medien fachspezifisch und fachdidaktisch fundiert das eigene Unterrichtsfach gestalten und gleichermaßen einen Beitrag zur Medienbildung der Schüler\*innen leisten zu können. Dies stellt die lehrpersonenbildenden Institutionen vor grosse Herausforderungen, da weder die aktuellen noch die zukünftigen Lehrpersonen (wie es früher zum Teil gehofft wurde) tatsächlich als *Digital Natives* angesehen werden können (P. A. Kirschner & Bruyckere, 2017).

### 3.2.2 Digitale Kompetenzen von Lehrenden

Kompetenzrahmen für die Lehrpersonenaus- und -weiterbildung sollten sich grundsätzlich auch an der Unterrichtspraxis orientieren und ebenso eine Progression der Kompetenzentwicklung skizzieren; gleichzeitig sollten sie fachspezifische Konkretisierungen enthalten, um entsprechende Curricula, Bewertungsverfahren und Assessments ableiten zu können (Thyssen et al., 2020). Hinsichtlich des Umfangs, in dem diese Anforderungen bezüglich digitaler Kompetenzen von Lehrenden berücksichtigt werden, unterscheiden sich die derzeit verfügbaren Rahmen und Modelle stark. Eine ausführliche Diskussion findet sich bei von Kotzebue et al. (2021).

Der **Europäische Rahmen für die Digitale Kompetenz von Lehrenden (DigCompEdu)** (Redecker, 2017, 2019) benennt sechs Kompetenzbereiche (Abb. 5), die je nach Intensität der Nutzung digitaler Medien aus sechs Kompetenzstufen bestehen (Abb. 6). Obwohl DigCompEdu fachspezifische Kompetenzen als Randbereich aufführt, werden diese nicht weiter spezifiziert. Daher kann DigCompEdu weder fachspezifische Kompetenzen und Niveaustufen formulieren noch entsprechende Unterrichtsszenarien für die Lehrpersonenbildung oder die Erhebung von Kompetenzständen beschreiben. Eine fachspezifische, auf die Unterrichtstätigkeit ausgerichtete Lehrpersonenbildung ist jedoch notwendig, um angehende Lehrpersonen zu befähigen, digitale Medien im Fachunterricht sinnvoll, fachdidaktisch fundiert und zielgerichtet einzusetzen. Oft sind es aber gerade eher übergeordnete Konzepte, auf deren Basis Entscheidungsträger Vorgaben machen und es ist dann eben nicht klar, wie die konkrete Umsetzung im Fachunterricht implementiert werden kann. Dennoch stellt DigCompEdu eine wichtige Basis für darauf aufbauende Kompetenzrahmen in der Europäischen Union dar.

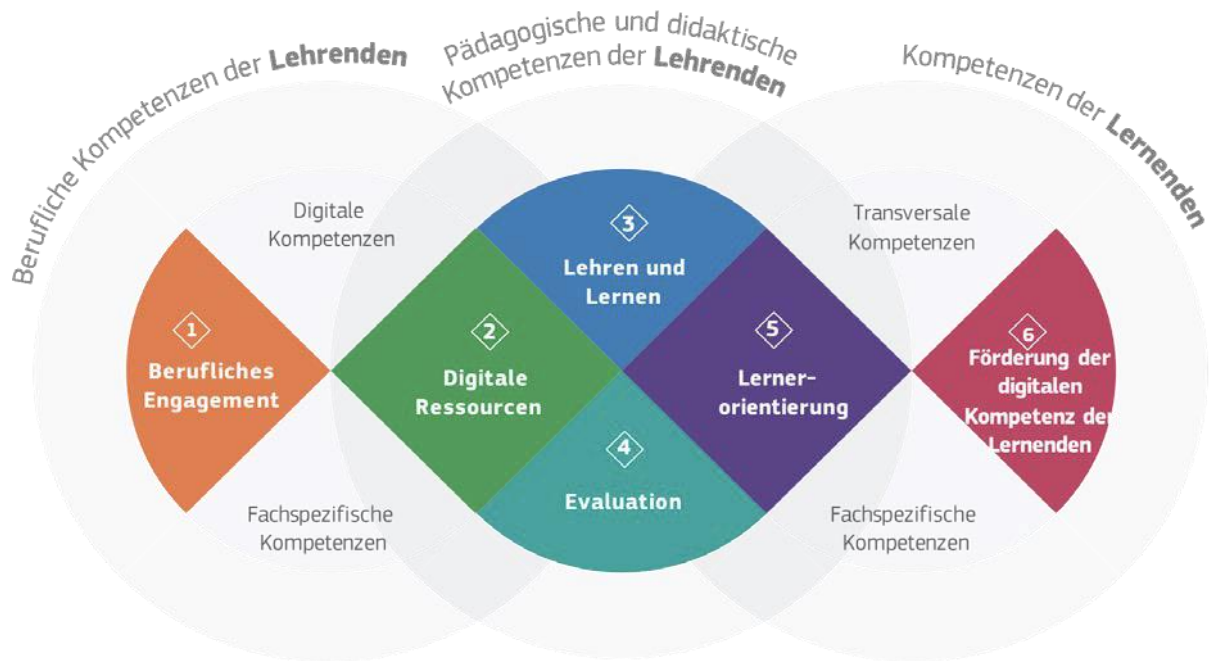


Abb. 5. Gebiete und Umfang des DigCompEdu (Abb. 5 aus Redecker, 2019, S. 12).

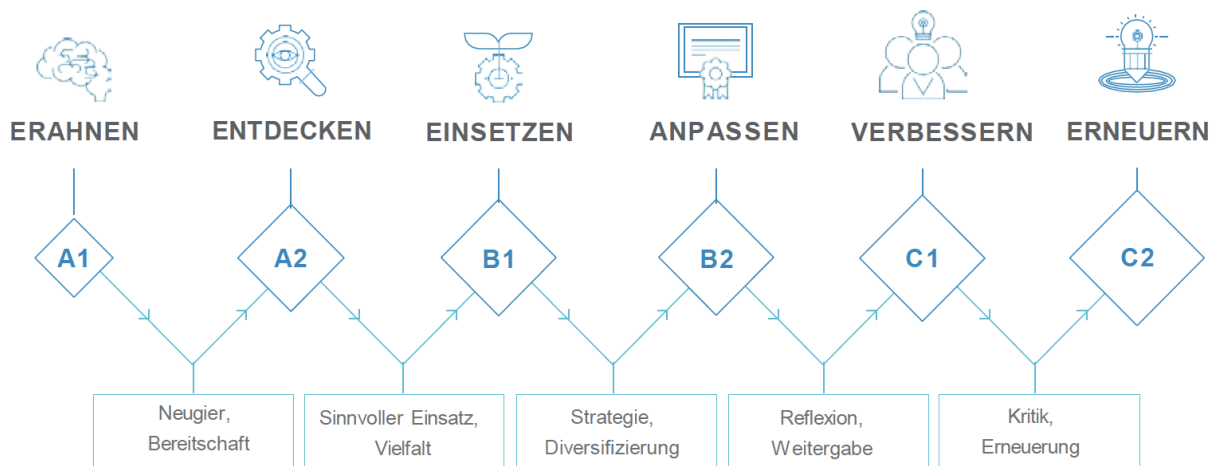
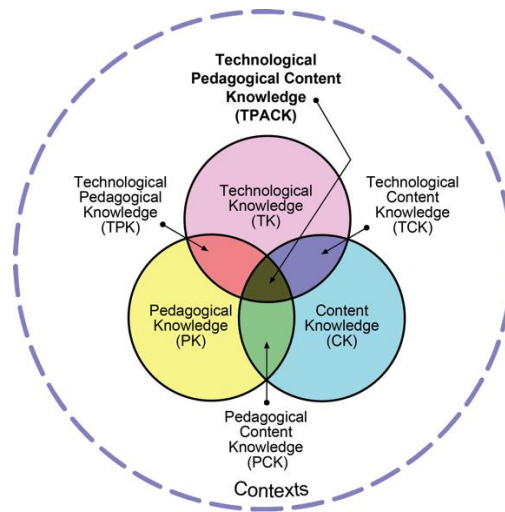


Abb. 6. DigCompEdu-Progressionsmodell (Abb. 6 aus Redecker, 2019, S. 23).

In Abschnitt 1.2 wurde PCK als der für Lehrpersonenbildung und -handeln spezifische Bereich von Wissen und Kompetenzen eingeführt. Das **TPACK Framework** (Koehler et al., 2013; Koehler & Mishra, 2009; Mishra & Koehler, 2006) erweitert das PCK-Modell um technologiebezogenes Wissen (Technological Knowledge) und umfasst auch das notwendige Wissen über und zum Umgang mit digitalen Medien (Abb. 7). Aus der Überlagerung des TK-Bereiches mit PK, PCK und CK ergeben sich neue Schnittbereiche: Das technologisch-pädagogische Wissen (Technological Pedagogical Knowledge, TPK) beinhaltet Wissen darüber, wie digitale Lerntechnologien im Allgemeinen in der Wissensvermittlung eingesetzt werden können und wie diese den Lehr-Lernprozess beeinflussen und unterstützen können. Erstaunlicherweise erfahren Studierende mit Lehrberufsbezug weniger lehrbezogene Medienutzung als Studierende in anderen Studiengängen und setzten auch selbst weniger Medien im Studium ein (Schmid et al., 2017). Aber auch medienerzieherische, mediendidaktische und medienpädagogische Fragestellungen sind eng mit diesem Wissensbereich verbunden. Die Schnittmenge von technologischem Wissen und Fachwissen bildet das technologisch-fachliche Wissen (Technological Content Knowledge, TCK), welches die Kenntnis des Medieneinsatzes in der dem jeweiligen Unterrichtsfach entsprechenden Fachwissenschaft abdeckt. Diese Schnittmenge ist insbesondere für die intensiv digitale Technologien nutzenden Naturwissenschaften von grosser Bedeutung, da bei Lehrberufsstudierenden die Annahme entstehen kann, dass digitale Medien in den Fachwissenschaften keine Rolle spielen würden (Thoms, Becker, et al., 2022), insbesondere weil Medien nur wenig in den Fachwissenschaften curricular verankert sind (Brinkmann & Müller, 2018). Als zentraler Professionswissensbereich und Schnittmenge aller anderen im Modell enthaltenen Wissensbereiche beschreibt das *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) die Kompe-



tenz, Lerninhalte fachdidaktisch fundiert mithilfe digitaler Medien zu vermitteln und entsprechende Lernumgebungen einzurichten. Somit rückt das TPACK-Framework medienbezogene fachdidaktische und unterrichtsbezogene Fragestellungen in das Zentrum des Professionswissens von Lehrpersonen, ohne jedoch Inhalte zu spezifizieren oder für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu konkretisieren (Becker et al., 2020).



**Abb. 7.** Das TPACK-Framework (<http://tpack.org>, Reproduced by permission of the publisher, © 2012 by tpack.org).

Das TPACK-Framework fokussiert auf technologisch-technische Aspekte der Nutzung digitaler Technologien im Unterricht und das dafür notwendigen Professionswissen. Im TPACK-Modell sind Medienerziehung, Mediendidaktik und Medienpädagogik zwar implizit im Bereich *Technological Pedagogical Knowledge* enthalten, die Auswirkungen der digitalen Transformation auf die Gesellschaft werden aber nicht expliziert. Huwer et al. (2019a, 2019b) erweitern daher das TPACK-Framework um Aspekte der Digitalität und um Wissensbestandteile zur kulturellen Digitalitätstransformation hin zum **Digitality-Related Pedagogical and Content Knowledge** im **DPACK-Modell** (Thyssen et al., 2023).

Mit dem strukturierten und gestuften **Orientierungsrahmen für die Digitalen Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (DiKoLAN)** (Becker et al., 2020, Abb. 8) steht allen lehrpersonenbildenden Institutionen ein Ansatz für eine curriculare Verankerung digitaler Kompetenzen in der Lehrpersonenbildung für naturwissenschaftliche Unterrichtsfächer bereit, der sowohl für den naturwissenschaftlichen Unterricht notwendige fachspezifische Kompetenzbereiche (Messwert- und Datenerfassung, Datenverarbeitung sowie Simulation und Modellierung) explizit hervorhebt als auch fachspezifische Kompetenzerwartungen innerhalb allgemeinerer Kompetenzbereiche (Dokumentation, Präsentation, Kommunikation/Kollaboration sowie Recherche und Bewertung) benennt. Für jeden der sieben zentralen Kompetenzbereiche sind Kompetenzerwartungen definiert und sowohl nach Anwendungsbereichen (Spezielle Technik (TK), Fachwissenschaftlicher Kontext (TCK), Methodik und Digitalität (TPK) und Unterrichten (TPACK)) als auch nach Kompetenzniveaus (Nennen, Beschreiben und Anwenden/Durchführen) strukturiert und in tabellarischer Form veröffentlicht (Becker et al., 2020).





**Abb. 8.** Der Orientierungsrahmen DiKoLAN – Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften (Becker et al., 2020, © 2020 Arbeitsgruppe Digitale Basiskompetenzen. <https://dikolan.de/>).

Der Orientierungsrahmen wurde zunächst für Deutschland und Österreich entwickelt und später erfolgreich in einer Delphi-Studie an der Pädagogischen Hochschule Thurgau exemplarisch in die Schweiz eingeführt (Thoms, Colberg, et al., 2022).

Die curriculare Integration wesentlicher digitaler Kompetenzen in die Lehrpersonenausbildung erfordert spezifische Vorüberlegungen. Um digitalisierungsbezogene Elemente einer zukunftssicheren Bildung in die Unterrichtspraxis aller an der hochschulischen Lehrpersonenausbildung beteiligten Dozierenden integrieren zu können, wurden grundlegende digitale Kompetenzen im Voraus strukturiert (Meier, Thyssen, et al., 2021), Bezüge zu naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen herausgearbeitet (Thyssen et al., 2020) und Zuordnungsmöglichkeiten zu den Akteur\*innen der hochschulischen Lehrpersonenausbildung untersucht (Thoms et al., 2021; Thoms, Meier, et al., 2022). Verschiedene Best-Practices-Beispiele zur Förderung digitaler Kompetenzen wurden konzipiert (z. B. Frank & Thoms, 2021; Meier, Thoms, et al., 2021; Thoms et al., 2021). Für eine Überblicksmessung der DiKoLAN-Kompetenzen wurde das Selbsteinschätzungsinstrument DiKoLAN-Grid entwickelt (Kotzebue et al., 2021), mit dessen Hilfe den angehenden Lehrpersonen die jeweiligen Lernziele in der Lehrpersonenausbildung verdeutlicht werden können. Erste empirische Studien stützen die faktorielle Aufteilung der Anwendungsbereiche nach dem TPACK- und DPack-Rahmenwerk in Unterricht, Methoden/Digitalität, fachspezifischer Kontext und spezielle Technik (Kotzebue et al., 2021; Meier, Thyssen, et al., 2021).

### 3.3 Zwischenbilanz

Damit Bildung im Sinne der nachhaltigen Entwicklung und der Digitalisierung in der Schule implementiert werden kann, müssen Lehrpersonen zur Umsetzung entsprechender Konzepte aus- und weitergebildet werden. Ein grosses zentrales Defizit ist, dass es für beide Bereiche zwar dezidierte Kompetenzformulierungen gibt, jedoch kein vereinheitlichendes Konzept existiert, das beide Bereiche speziell für die Lehrpersonenausbildung in Verbindung bringt und aufeinander bezieht.

Im Bereich der Bildung für nachhaltigen Entwicklung existieren auf der Ebene der Lehrpersonen mehrere Ansätze (z. B. Sleurs, 2008 und UNECE, 2012), die im Allgemeinen und insbesondere in Bezug auf naturwissenschaftliches Lehren stärker operationalisiert werden könnten. Auf der Ebene der Lernenden sind die zu fördernden Kompetenzen ebenfalls durch mehrere eher allgemeinere Ansätze definiert. Im schweizerischen Kontext kann man sich dabei auf die zahlreichen Dokumente der nationalen Stiftung *éducation21* (*éducation21*, 2016) abstützen. Ein Referenzrahmen für naturwissenschaftliches Lehren und/oder Lehren existiert bislang nicht. Als Ausgangspunkt könnten theoretische und empirische Erkenntnisse aus den einzelnen Naturwissenschaftsdidaktiken und/oder der Bereichsdidaktik genutzt werden, um eine Etablierung einer Fachdidaktik der Nachhaltigkeitswissenschaften zu etablieren.

Im Bereich der digitalen Kompetenzen gibt es ebenfalls einige weit entwickelte Rahmenmodelle, welche relevante Kompetenzen für Lehrpersonen beschreiben. Konkret operationalisiert und spezifisch für Naturwissenschaftslehrpersonen ist hier der DiKoLAN Referenzrahmen (Becker et al., 2020) zu nennen.

Jedoch wird für einen integralen Aufbau von Kompetenzen, die genau in der Schnittmenge von nachhaltiger Entwicklung und Digitalisierung liegen, spezifisch für den naturwissenschaftlichen Unterricht ein grundlegender Orientierungsrahmen benötigt. Schliesslich müssen Aus- und Weiterbildungspfade konzipiert und entwickelt werden, die sowohl die Vermittlung einer BNE als auch die Förderung digitaler Kompetenzen in der Lehrpersonenbildung miteinander verbunden adressieren. Um dies zu erreichen, müssen die zugrundeliegenden Kompetenzstrukturen aufgeklärt werden. Zukünftige Lehrpersonenbildung muss hierauf entsprechend ausgerichtet werden.

Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass beide Bereiche einer äusserst dynamischen Entwicklung unterliegen. Wichtige Zukunftsthemen wie „Künstliche Intelligenz“ und „Lernen in virtuellen Räumen“ können an dieser Stelle nur erwähnt werden, werden aber eine immer grössere Bedeutung für die Lehrpersonenausbildung erhalten. Dies ist noch separat zu betrachten.

#### **4 Ausbildung von Lehrpersonen in den Naturwissenschaften – Anspruch und Wirklichkeit**

Die generellen Überlegungen zum aktuellen Stand und Selbstverständnis der Naturwissenschaftsdidaktik als evidenzbasierte Wissenschaft im Spannungsfeld von Forschung und Lehrpersonenausbildung, sowie die Darstellung ihrer Vernetzung/Überlappung mit aktuellen Themenschwerpunkten wie BNE und Digitalisierung (Abschnitte 1 bis 3), können und sollen auch als Formulierung und Begründung einer Anspruchshaltung an eine moderne Ausbildung von Lehrpersonen verstanden werden. Deshalb wird in diesem Abschnitt ein deskriptiver Überblick über die aktuelle Ausbildungssituation an allen grossen Ausbildungsinstitutionen in allen drei Sprachregionen vorgestellt. Dies ist nicht nur inhaltlich bedeutsam, sondern auch vor dem Hintergrund der in der Einleitung angesprochenen institutionellen und strukturellen Transformationsprozesse interessant, die 2017 einen vorläufigen Abschluss fand, als mit der Pädagogischen Hochschule FHNW die letzte der Pädagogischen Hochschulen der Deutschschweiz die Ausbildung der Sekundarstufe 1-Lehrpersonen auf Natur und Technik umstellte.

Das Ziel dieses Abschnitts besteht erstens darin, einen Überblick über die aktuellen Studiengänge (Kindergarten-/Unterstufe, Primarstufe und Sekundarstufe 1) in der Schweiz zu geben und Auffälligkeiten und Unterschiede kritisch einzuordnen und zu würdigen. Zweitens sollen diese strukturellen und institutionellen Gegebenheiten in Beziehung gesetzt werden, einerseits mit dem Wissenstand zu den Wirkungszusammenhängen bei der Entwicklung fachdidaktischer Professionskompetenz (Abschnitt 1) und andererseits, dem inhaltlichen Selbstverständnis der Naturwissenschaftsdidaktik als etablierte evidenzbasierte Wissenschaft mit dem Anspruch Theorie, Empirie und Praxis in Ausbildung und Lehre zu vernetzen (Abschnitt 2) und damit den Unterricht auch inhaltlich transformieren zu können. Beides ist für eine erfolgreiche Ergänzung oder gar Verschränkung mit der Entwicklung von Kompetenzen in nachhaltiger Entwicklung, sowie digitalisierungsbezogener Kompetenzen von Lehrenden als auch Lernenden unabdingbare Voraussetzung.

Die Daten, welche in den weiter unten folgenden Tab. 4 bis 6 zusammengefasst wurden, wurden für alle Ausbildungsinstitutionen erfasst, welche sowohl Kindergarten-/Unterstufen-, Primar- als auch Sekundarstufe-1-Lehrpersonen ausbilden. Der Fokus wird zunächst bewusst auf die fachliche und fachdidaktische Ausbildung gelegt, da diese (zusammen mit dem pädagogischen Wissen) auch den Ausgangspunkt des Modells der zentralen Wirkungszusammenhängen der fachdidaktischen Professionskompetenz (Abb. 1) darstellt.

Die Daten wurden bei den jeweiligen Studiengangsleitenden oder Natur und Technik-Verantwortlichen eingeholt und beziehen sich auf das Studienjahr 2022/2023.

Da in den Zyklen 1 und 2 Naturwissenschaften im Rahmen des Sachunterrichtes (NMG) integrativ und somit mit sozial- und geisteswissenschaftlichen Disziplinen verknüpft adressiert werden, können die Kreditpunkte, die für NT aufgebracht werden, nicht einfach ausgewiesen werden. In einer von der Sekundarstufe und den weiterführenden Schulstufen ausgehenden Denkweise umfasst die Ausbildung für NMG neben „Natur und Technik“ auch die Bereiche «Wirtschaft, Arbeit, Haushalt», «Räume, Zeiten, Gesellschaften» und «Ethik, Religionen, Gemeinschaft». Deshalb wurden die für NMG verfügbaren Credits formal halbiert und dann so in den Tabellen ausgewiesen. Auf diese Weise soll berücksichtigt werden, dass nur ein Teil der Ausbildungszeit für NMG tatsächlich für den Bereich Natur und Technik verfügbar ist. Es ist den Autor\*innen bewusst, dass dies für die Deutschschweiz als eine künstliche Trennung verstanden werden könnte; in der Romandie allerdings besteht diese Trennung (auch nach Stundenanteilen der Naturwissenschaften) durchaus auch faktisch. Und auch in der Deutschschweiz werden Ausbildungsmodule häufig von Dozierenden aus den unterschiedlichen Bereichen abgehalten (meistens nicht im Team-Teaching), wodurch eine Trennung bzw. Aufteilung sowohl inhaltlich wie auch organisatorisch und strukturell oft einer Realität entspricht. Zudem sind im Lehrplan 21 fünf der zwölf NMG-Kompetenzbereiche eindeutig und exklusiv dem Bereich Natur und Technik zuzuordnen. Eine derartige Trennung wird also selbst im Lehrplan inhaltlich angedeutet. Es soll aber auch darauf hingewiesen werden, dass die daraus resultierenden Zahlen für die Zyklen 1 und 2 (Tab. 4 und 5) eher einer Überschätzung entsprechen. Viele Studiengangsleitende/Natur und Technik-Verantwortliche wiesen explizit darauf hin, dass eine Zuteilung von nur einem Viertel, der für NMG verfügbaren Credits für die Naturwissenschaften, durchaus zu rechtfertigen wäre (Fussnote in Tab. 4 und 5). Es wurde hier aber darauf verzichtet. Letztlich suggerieren die ausgewiesenen Zahlen eine Präzision, die so nicht existiert. Trotzdem liefern sie in der Gesamtheit einen Überblick über die Grössenordnung der verfügbaren Ausbildungsmenge, die wiederum sehr aussagekräftig ist.

Die Ergebnisse werden in den folgenden Abschnitten erläutert und eingeordnet. Dabei liegt in dieser Version des Artikels der Hauptfokus auf der Deutschschweiz, während in der geplanten französischen Übersetzung detaillierter auf die Situation in der Romandie und im Tessin eingegangen werden wird. Dies auch deshalb, weil sich die Ausbildungsstrukturen und -Kulturen zwischen Sprachregionen nach wie vor stark unterscheiden, und ein angemessener Vergleich, gestützt auf die hier erhobenen Kennzahlen, schwierig bleibt.

**Tab. 4.** Übersicht über die fachliche und fachdidaktische Ausbildung von Kindergarten-/Unterstufenlehrpersonen in den Naturwissenschaften

	Bezeichnung	PH Bern	PH FHNW	PH Luzern	PH St. Gallen	PH Thurgau	PH Zürich	HEP BEJUNE	UniGe	HEP Vaud	SUPSI
		Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits
<b>Bachelor</b>	<b>Lehrveranstaltungen FW und FD</b> (nur Naturwissenschaften und Technik, ohne RZG, WAH und ERG) <sup>4</sup>	5	4	6.5	5	4	3	6	n.a.	n.a.	n.a.
	Selbststudium / Prüfungen <sup>5</sup>	0	2	0.5	0	0	0	0	n.a.	n.a.	n.a.
	Vertiefungsoption bzw. Schwerpunktleger (Wahlbereich)	7	4		6	4	4	0	n.a.	n.a.	n.a.
	Selbststudium / Prüfungen in Vertiefungsoption bzw. Schwerpunktleger (Wahlbereich) <sup>5</sup>	0	2		0	0	0	0	n.a.	n.a.	n.a.
	<b>Total BA</b> (Lehrveranstaltungen FW und FD, nur Naturwissenschaften u. Technik, ohne RZG, WAH und ERG) <sup>4</sup> <b>(inkl. Wahlbereich)</b>	5	4	6.5	5	4	3	6	n.a.	n.a.	n.a.
	Gesamttotal BA (inkl. Wahlbereich)	5 (12)	4 (12)	7(7)	5 (11)	4 (8)	3(7)	6(6)	n.a.	n.a.	n.a.

<sup>4</sup> Typischerweise werden Lehrveranstaltungen nicht explizit «Natur und Technik», «Räume, Zeiten Gesellschaften», «Wirtschaft, Arbeit, Haushalt» oder «Ethik, Religionen, Gemeinschaft» zugeordnet, sondern gemeinsam bestritten. Wo nichts anderes vermerkt, werden hier für solche Module die **Hälfte** der Credits ausgewiesen (also die Hälfte der verfügbaren Credits «Natur und Technik» zugeordnet). Die meisten Studiengangsleitenden weisen darauf hin, dass diese Zuweisung eher einer Überschätzung entspricht, dass die tatsächliche Zuweisung oft eher bei einem **Viertel** liegt. Für die PH Bern werden hier 1/3 der Credits dem Bereich „Natur und Technik“ zugeordnet.

<sup>5</sup> An einigen Institutionen erhalten die Studierenden Credits für Selbststudium / individuelle Arbeitsleistungen etc. Oft werden diese auch an Prüfungen gekoppelt. Der Anteil solchen individuellen Selbststudiums oder solcher Prüfungsvorbereitungen wird hier separat ausgewiesen, weil **kein** Unterricht bzw. **keine Lehrveranstaltungen** an diese Credits geknüpft sind, die Studierenden aber explizit Credits dafür erhalten.

**Tab. 5.** Übersicht über die fachliche und fachdidaktische Ausbildung von Primarlehrpersonen in den Naturwissenschaften

Bezeichnung, BACHELOR	PH Bern	PH FHNW	PH Luzern	PH St. Gallen	PH Thurgau	PH Zürich	HEP BEJUNE	UniGe	HEP Vaud	SUPSI
	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits
<b>Lehrveranstaltungen FW und FD</b> (nur Naturwissenschaften und Technik, ohne RZG, WAH und ERG) <sup>6</sup>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>5.3</b>
Selbststudium / Prüfungen <sup>7</sup>	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Vertiefungsoption bzw. Schwerpunktleger (Wahlbereich)	6	3	1-6	6	4	3	-	-	3 oder 6	2
Selbststudium / Prüfungen in Vertiefungsoption bzw. Schwerpunktleger (Wahlbereich) <sup>7</sup>	-	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total BA</b> (Lehrveranstaltungen FW und FD, nur Naturwissenschaften. u. Technik, ohne RZG, WAH und ERG) <sup>6</sup> <b>(inkl. Wahlbereich)</b>	<b>7 (13)</b>	<b>4 (7)</b>	<b>3 (4-9)</b>	<b>5 (11)</b>	<b>4 (8)</b>	<b>3 (6)</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>3 (9)</b>	<b>5.3(7.3)</b>
Gesamttotal BA (inkl. Wahlbereich)	7 (13)	6 (11.5)	3 (4-9)	5 (11)	4 (8)	3 (15)	7	10	3 (9)	5.3 (7.3)

<sup>6</sup> Typischerweise werden Lehrveranstaltungen nicht explizit «Natur und Technik», «Räume, Zeiten Gesellschaften», «Wirtschaft, Arbeit, Haushalt» oder «Ethik, Religionen, Gemeinschaft» zugeordnet, sondern gemeinsam bestritten. Wo nichts anderes vermerkt, werden hier für solche Module die **Hälfte** der Credits ausgewiesen (also die Hälfte der verfügbaren Credits «Natur und Technik» zugeordnet). Die meisten Studiengangsleitenden weisen darauf hin, dass diese Zuweisung eher einer Überschätzung entspricht, dass die tatsächliche Zuweisung oft eher bei einem **Viertel** liegt.

<sup>7</sup> An einigen Institutionen erhalten die Studierenden Credits für Selbststudium / individuelle Arbeitsleistungen etc. Oft werden diese auch an Prüfungen gekoppelt. Der Anteil solchen individuellen Selbststudiums oder solcher Prüfungsvorbereitungen wird hier separat ausgewiesen, weil **kein** Unterricht bzw. **keine Lehrveranstaltungen** an diese Credits geknüpft sind, die Studierenden aber explizit Credits dafür erhalten.

Tab. 6. Übersicht über die fachliche und fachdidaktische Ausbildung von Sekundarstufe 1-Lehrpersonen in den Naturwissenschaften

	Institutionen	PH Bern	PH FHNW	PH Luzern	PH St. Gallen	PH Thurgau	PH Zürich	HEP BEJUNE <sup>8</sup>	IUFE UniGe	HEP Vaud	SUPSI
		Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits	Credits
	Anzahl Fächer	4	3(4)	4(5)	3(4)	4	4	2-3	1-2		Zugangsbedingung: <i>Bachelor of Science</i> (mit <b>110</b> Credits in der Disziplin) als Voraussetzung,
Bachelor	Lehrveranstaltungen FW <sup>9</sup>	27	16		18		18	Zugangsbedingung: Universitärer Bachelor in den Unterrichtsfächern	Zugangsbedingung: Für 1. Fach: 120 Credits (Niveau BA und MA) Für 2. Fach: 90 Credits (Niveau BA und MA)	Zugangsbedingung: Universitärer Bachelor in den Unterrichtsfächern	
	Lehrveranstaltungen FD <sup>9</sup>	8	12		12		25*				
	<b>Lehrveranstaltungen FW und FD</b>	<b>35</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>30</b>		<b>43</b>				
	Selbststudium / Prüfungen <sup>10</sup>	-	9	-	2	-	-				
	Veranstaltungen ohne Bezug zu Naturwissenschaften oder Naturwissenschaftsdidaktik <sup>11</sup>	-	6	-	-	-	-				
	Bachelorarbeit	-	-	-	2	-	-				
	<b>Zwischentotal BA (Lehrveranstaltungen FW und FD)</b>	<b>35</b>	<b>28</b>	<b>24</b>	<b>30</b>		<b>43</b>				
	Gesamttotal BA	35	43	24	34		43				
Master	Lehrveranstaltungen FW <sup>9</sup>	2	6		6	23					
	Lehrveranstaltungen FD <sup>9</sup>	3	6		2	17		12	58	12	31
	Lehrveranstaltungen FW und FD	5	12	16	-	40					-
	Selbststudium / Prüfungen <sup>10</sup>	-	6	2	-	-	-	-	-	-	-
	Veranstaltungen ohne Bezug zu Naturwissenschaften oder Naturwissenschaftsdidaktik <sup>11</sup>	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-
	<b>Gesamttotal BA + MA (Lehrveranstaltungen FW und FD)</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>38</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>12 (+FW Bachelor)</b>	<b>58 (+FW BA u. MA)</b>	<b>12 (+FW Bachelor)</b>	<b>31 (+FW Bachelor)</b>
	Gesamttotal BA + MA	40	61	42	42	44	43	12 (+FW Bachelor)	58 (+FW BA u. MA)	12 (+FW Bachelor)	31 (+FW Bachelor)

<sup>8</sup> Nur «filière A» dargestellt (reines Sek-I-Lehrdiplom). Andere Ausbildungsvarianten (z. B. kombiniertes Sek-I-Sek-II-Lehrdiplom) werden hier nicht dargestellt.

<sup>9</sup> Eine Aufschlüsselung zwischen FW und FD wird nur dann ausgewiesen, wenn diese (eindeutig) möglich ist. Wenn nicht, wird lediglich die Summe aller FW und FD-Veranstaltungen in der darunterliegenden Rubrik aufgeführt.

<sup>10</sup> An einigen Institutionen erhalten die Studierenden Credits für Selbststudium / individuelle Arbeitsleistungen etc. Oft werden diese auch an Prüfungen gekoppelt. Der Anteil solchen individuellen Selbststudiums oder solcher Prüfungsvorbereitungen wird hier separat ausgewiesen, weil **kein** Unterricht bzw. **keine Lehrveranstaltungen** an diese Credits geknüpft sind, die Studierenden aber explizit Credits dafür erhalten

<sup>11</sup> Credits, die formal als naturwissenschaftliche Ausbildung erfasst werden, sich aber weder mit naturwissenschaftlichem Fachwissen, noch mit Naturwissenschaftsdidaktik oder naturwissenschaftlichem Unterricht auseinandersetzen (z. B. Einführung in sozialwissenschaftliche Forschungsmethoden anhand erziehungswissenschaftlicher Fragestellungen, etc.)

#### 4.1 Ausbildung von Kindergarten-/Unterstufen- und Primarlehrpersonen

Aus den so ausgewiesenen Zahlen (Tab. 4 und 5) geht folgendes hervor. Erstens, die für die fachliche und fachdidaktische Ausbildung verfügbaren Credits variieren für Kindergarten-/Unterstufe zwischen 3 (6) und 6.5 (12) und in der Primarstufe zwischen 3 (6) und 10 (11) Credits (die Zahlen in Klammern entsprechen den Werten inklusive Wahlbereich). Die Unterschiede sind absolut gesehen klein, vor allem deshalb, weil insgesamt wenig Ausbildungsmodulare zur Verfügung stehen. Relativ zueinander sind die Unterschiede aber erheblich (Faktor 2-3 für die Pflichtveranstaltungen). Auffallend ist zudem, dass die Volumina des Wahlbereichs zwischen den Institutionen erheblich variieren. Bezüglich Wahlbereich gilt es auch immer zu beachten, dass dieser nur von einer Minderheit der Studierenden in NMG belegt wird. Zweitens lohnt es sich auf die Besonderheit hinzuweisen, dass im Kanton Genf, wo die Ausbildung an der Universität Genf angesiedelt ist, für die Ausbildung der Primarlehrpersonen deutlich mehr Ausbildungsvolumen in Pflichtveranstaltungen verfügbar ist als an allen anderen Institutionen.

Allein das simple, oberflächliche Kriterium der verfügbaren Credits führt vor Augen, dass die aktuell verfügbare Ausbildungszeit im naturwissenschaftlichen Bereich den Anforderungen, wie sie im Modell zentraler Wirkzusammenhänge der fachdidaktischen Professionskompetenz (Abb. 1) zum Ausdruck kommen, keineswegs gerecht werden kann. Mit den verfügbaren Credits (selbst mit der höchsten, verfügbaren Zahl von 11 Credits) lässt sich kein fundiertes themenspezifisches, fachdidaktisches Professionswissen aufbauen, geschweige denn in Richtung Kompetenz und Performanz entwickeln. Auch ein systematischer Bezug zur Evidenzbasierung – ein weiterer zentraler Pfeiler moderner Naturwissenschaftsdidaktik – ist damit keineswegs möglich, was die Fähigkeit der Studierenden zur Reflexion des eigenen Unterrichtshandelns und damit auch zur Weiterentwicklung bewussten Unterrichtshandelns beeinträchtigt. Gerade in den Zyklen 1 und 2 ist die Initiierung genau darauf abgestützter Bildungsprozesse bei den Lernenden von zentraler Bedeutung, da der weitere naturwissenschaftliche Unterricht darauf aufbauen können muss. Besonders erwähnenswert wären da z. B. alle Aspekte von *Nature of Science*, insbesondere das Experimentieren und die Rolle des Experimentierens für Erkenntnisgewinnungsprozesse, ein Aspekt, den viele Studierende am Ende ihres Studiums keineswegs vollumfänglich erfasst haben.

Auch auf der rein fachlichen Ebene ist das verfügbare Ausbildungsvolumen nicht ausreichend. Zur Erläuterung könnte man beispielsweise auf den Lehrplan verweisen, der bereits im Zyklus 2 sehr anspruchsvolle Kompetenzen wie etwa NMG3.1: «Die Schülerinnen und Schüler können die Bedeutung von Energie und Energieumwandlungen im Alltag erkennen, beschreiben und reflektiert handeln» oder NMG2.3: «Die Schülerinnen und Schüler können Wachstum, Entwicklung und Fortpflanzung bei Tieren und Pflanzen beobachten und vergleichen» aufführt. Die Entwicklung solcher Kompetenzen erfordert eine ausführliche und vertiefte Auseinandersetzung mit schwierigen Konzepten wie Energie, Energieumwandlung und Fortpflanzung, zu der auch eine Auseinandersetzung mit den zugehörigen Präkonzepten der Schülerinnen und Schülern gehört. Nur so können die angehenden Lehrpersonen befähigt werden, einen Unterricht zu konzipieren und zu implementieren, der echte Konzepterweiterungen oder gar Konzeptwechsel bei den Schülerinnen und Schülern erlaubt und nicht nur auf die Vermittlung und das Auswendiglernen mehr oder weniger inhaltsleerer Fachbegriffe reduziert ist. Auch das reine Wissen über oder die isolierte Vermittlung einzelner fachdidaktischer Konzepte (die im Rahmen der aktuell verfügbaren Ausbildungszeit zu oft dem kleinsten möglichen Nenner entspricht) kann der Vielschichtigkeit nicht gerecht werden, welche heute für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu Recht eingefordert werden darf.

Schliesslich zeigen die Ausführungen in Abschnitt 3, dass Querschnittsthemen wie BNE oder Digitalisierung einen engen und auch vielschichtigen Bezug zu den Naturwissenschaften aufweisen. Die Bezüge zu diesen Querschnittsthemen stellen für die Naturwissenschaften eine Verpflichtung dar, sind aber im Rahmen der verfügbaren Ausbildungszeit nicht integrierbar – ein Blick auf die Abb. 1 vermag dies sofort anschaulich zu untermauern.

#### 4.2 Ausbildung von Lehrpersonen für die Sekundarstufe 1

Bei der Zusammenstellung der Zahlen für die Ausbildung der Sekundarstufe-1-Lehrpersonen fallen als erstes die grundlegenden Unterschiede zwischen den Sprachregionen auf. Während an den Deutschschweizer Pädagogischen Hochschulen die Studiengänge bezüglich der Summe der verfügbaren Lehrveranstaltungen sehr vergleichbar sind, und nach Abzug von reinem Selbststudium und fachfremden Modulen (Fussnoten in Tab. 6) meistens exakt auf oder knapp über dem Minimum liegen, das die EDK für Integrationsfächer vorschreibt, weisen die Institutionen der Romandie und des Tessins erheblich höhere Werte aus. Der Hauptgrund liegt darin, dass sie einen Fachbachelor (oder gar Master bei der Universität Genf) voraussetzen. Die nachgelagerte Ausbildung zur Lehrperson fokussiert dann in der Romandie und im Tessin im Wesentlichen auf Fachdidaktik, Erziehungswissenschaften und Unterrichtspraktika, da sie sich auf ein solides fachliches Fundament stützen kann. Als Konsequenz erhalten die Lehrpersonen ein Lehrdiplom in typischerweise einem oder zwei Fächern, an der Uni Genf dafür als «Kombidiplom» für die Sekundarstufen 1 und 2 (auch an der HEP-BEJUNE ist dies möglich, in der Tab. 6 aber nicht aufgeführt).

Daraus wird deutlich, dass die oben angesprochene Transformation des Ausbildungswesens institutionell und organisatorisch in den unterschiedlichen Sprachregionen nicht im gleichen Ausmass und in gleicher Form stattgefunden hat. In der Romandie und im Tessin blieb die Ausbildung fachlich und teilweise sogar pädagogisch und didaktisch universitär. Dieses konsekutive Modell ist zwar an den Pädagogischen Hochschulen der Deutschschweiz ebenfalls möglich (ebenfalls unter Verringerung der im Lehrdiplom ausgewiesenen Unterrichtsfächer), wird aber nur von

einem kleinen Anteil der Studierenden absolviert. Es wäre empirisch zu prüfen, wie sich diese Unterschiede auf den Unterricht und die Unterrichtsqualität in den Sprachregionen auswirkt.

Denn Ergebnisse aus dem Verbundprojekt ProwiN weisen beispielsweise darauf hin, dass das fachdidaktische und das fachliche Wissen bei allen drei naturwissenschaftlichen Fächern mehrheitlich signifikant korrelieren, dass aber die Korrelationen zwischen dem fachdidaktischen und pädagogischen Wissen mit Ausnahmen kleiner sind und dass erwartungsgemäss keine signifikanten Korrelationen zwischen dem fachlichen und dem pädagogischen Wissen zu verzeichnen sind (S. Kirschner et al., 2017, S. 121). Großscheml et al. (2015) interpretieren den Zusammenhang zwischen PCK und CK in ähnlicher Weise wie Baumert & Kunterp (2011) und sehen im Fachwissen eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung fachdidaktischen Wissens. Aus ihrer Perspektive „definiert das Fachwissen den Entwicklungsraum des fachdidaktischen Wissens und damit indirekt auch die Unterrichtsqualität“ (Baumert & Kunter, 2011, S. 185). Aufgrund der aktuellen Ausbildungssituation in der Schweiz wären somit vor allem für die Sekundarstufe 1 Unterschiede hinsichtlich der Unterrichtsqualität zwischen den Sprachregionen zu erwarten – eine Hypothese, die empirisch zu prüfen wäre und deren Überprüfung interessante Hinweise zur Weiterentwicklung der Ausbildung von Lehrpersonen erlauben würde.

Des Weiteren fallen an einzelnen Hochschulen spezifische Besonderheiten auf. Die Pädagogische Hochschule Luzern ist die einzige Hochschule, in welcher die Credits gleichmässig über den Bachelor- und Masterstudiengang verteilt sind. In allen anderen Institutionen erfolgt der grösste Teil der Ausbildung im Bachelorstudium und nur noch ein kleiner Teil im Masterstudiengang. Zudem nimmt die Pädagogische Hochschule Luzern auch keine explizite Aufteilung der Module in fachwissenschaftliche oder fachdidaktische vor. An allen anderen Pädagogischen Hochschulen der Deutschschweiz passiert dies entweder formal und/oder inhaltlich. Auch hier gibt es kaum empirische Belege dafür, welches Modell sich als zielführender erweist. An der Pädagogischen Hochschule Thurgau wiederum findet die fachwissenschaftliche Ausbildung an der Uni Konstanz statt und lediglich der fachdidaktische Teil der Ausbildung an der Pädagogischen Hochschule Thurgau. Insofern kann die Ausbildung hier strukturell ähnlich zur Ausbildung in der Romandie absolviert werden, d. h. die Ausbildung kann immer noch in einem konsekutiven Modell umgesetzt werden, wie es sonst in der Deutschschweiz nicht mehr dem Königsweg entspricht. Die Pädagogische Hochschule FHNW ist die einzige Hochschule, die eine Gesamtzahl von Credits aufweist, die deutlich über das von der EDK geforderte Minimum von 40 Credits hinausgeht. Bei genauerer Betrachtung von Tab. 6 fällt allerdings auf, dass 6 dieser 61 Credits inhaltlich nichts mit Naturwissenschaften zu tun haben und 15 weitere Credits den Studierenden für reines Selbststudium (ohne jeglichen zugehörigen Unterricht) gutgeschrieben werden – eine Massnahme, die sicher auch als Sparmassnahme zu verstehen ist. Werden diese 6 + 15 Credits vom Gesamttotal abgezogen, erreicht auch die Pädagogische Hochschule FHNW über alle Lehrveranstaltungen ein Total von exakt 40 Credits. Aufgrund einer Sonderanforderung des Kantons BL, in welchem nicht Natur und Technik unterrichtet wird, erhalten die Studierenden zwei Lehrberechtigungen, nämlich diejenige für Natur und Technik sowie zusätzlich eine in einem der drei naturwissenschaftlichen Fächer (Biologie, Chemie oder Physik).

In einer kritischen Einordnung stellt sich auch hier die Frage, ob verfügbare Ausbildungszeit in Fachwissenschaften und Fachdidaktiken (ca. 40 Credits) ausreicht, um alle angehende Lehrpersonen zu befähigen, einen Unterricht zu planen und umzusetzen, der den Jugendlichen den Zugang zu den 9 Kompetenzbereichen, 26 Kompetenzen und 128 Kompetenzstufen des Lehrplans 21 ermöglicht, vor allem wenn man bedenkt, dass auf der Sekundarstufe 1 nicht nur eine erhebliche fachliche und methodische Breite, sondern auch eine recht weit reichende fachliche Tiefe angestrebt und vom Lehrplan 21 verlangt wird. Auch die Vorbehalte, die oben bei der Einordnung der Ausbildung der Primarlehrpersonen gemacht wurden, bleiben hier bestehen. Anspruch (sei es von aussen durch Querschnittsthemen wie BNE und digitaler Bildung, oder von innen als theoretisch und empirisch gefestigte Wissenschaft, welche eine differenzierte Auseinandersetzung mit, und eine praxistaugliche Implementation von gesicherten Erkenntnissen anstrebt) und Wirklichkeit stehen hier in offensichtlichem Widerspruch. Denn die Studierenden brauchen in der Ausbildung Zeit, nicht nur um eine Vielzahl fachlicher und fachdidaktischer Konzepte kennenzulernen, sondern diese auch einzuüben, kritisch zu reflektieren und Unterricht situationsbezogen, angemessen zu orchestrieren, wie in den ausgewählten Beispielen in Abschnitt 2 beschrieben und im Modell von Abb. 1 theoretisch fundiert wird. Diese grosse Herausforderung, die grundsätzlich für alle Fächer und Fachdidaktiken gilt, wird in der Ausbildung der Lehrpersonen in den Naturwissenschaften durch folgende Tatsache drastisch verschärft. Durch die Einführung des Integrationsfaches „Natur und Technik“ hat sich das Ausbildungsvolumen für die Studierenden verdreifacht. Im Vergleich zu anderen Fächern steht dafür aber nur das 1.33-fache an Unterrichtsvolumen zu Verfügung. Dadurch hat sich die oben beschriebene Problemlage in der Ausbildung von Kindergarten-/Unterstufen- wie auch Primarlehrpersonen (fast keine Ausbildungszeit) auch auf die Sekundarstufe 1 ausgeweitet, mit unabsehbaren Folgen.

Allerdings fehlen empirische Belege, darüber, welche Auswirkungen dies auf die Qualität des Unterrichts hat. Auch weiss man kaum etwas über die Auswirkungen, welche die beschriebene Heterogenität der Ausbildungsmodelle auf den Unterricht hat, zwei Desiderata, welche dringend grössere Beachtung verdienen.

### 4.3 Unterrichtspraktika

Es steht ausser Frage, dass zur Ausbildung von Lehrpersonen neben Fachwissen und Fachdidaktik weitere, zentrale Ausbildungselemente, insbesondere die Unterrichtspraktika gehören. Das Modell in Abb. 1 bringt die ganze Vielschichtigkeit der Interaktionen – zwischen dem Wissen, der Disposition, der Kompetenz und der Performanz – und



somit auch die Notwendigkeit der Interaktion und Verzahnung zwischen klassischen Ausbildungsmodulen und Unterrichtspraktika zum Ausdruck.

Beim Versuch, sich einen Überblick über die Anzahl, Dauer, (fachliche) Ausrichtung etc. der Unterrichtspraktika in den drei Studiengängen an den genannten Ausbildungsinstitutionen zu verschaffen, traten rasch Probleme auf, die hier nur kurz angedeutet werden können und keinen Anspruch auf Vollständigkeit haben. Üblicherweise bilden die Konzepte zu den Unterrichtspraktika viele der Elemente aus Abb. 1 ab und berücksichtigen insbesondere Entwicklungsaspekte (mehrere aufeinanderfolgende Praktika) und Reflexionsaspekte und somit vielfältige Bezüge zwischen Wissen, Disposition, Kompetenz und Performanz. Allerdings orientieren sich die Konzepte fast immer an der *Ausbildung als Ganzem*. Das heisst beispielsweise für die Sekundarstufe 1-Ausbildung: In der Summe über alle Fächer decken die Praktika all diese Aspekte ab, nicht aber über jedes Fach – und üblicherweise wird das reglementarisch auch nicht vorgeschrieben. Es kommt somit aus logistischen oder organisatorischen Gründen immer wieder vor, dass Studierende von den beispielsweise 4 Praktika nur in einem (im Extremfall sogar in gar keinem) Praktikum tatsächlich „Natur und Technik“ unterrichten können. Damit bricht ein an sich überzeugendes Praktikumskonzept – zumindest aus Sicht des Einzelfaches – wie ein Kartenhaus zusammen. Dies verschärft die in Abschnitten 4.1. und 4.2. beschriebenen Probleme zusätzlich.

Da an den Ausbildungsinstitutionen üblicherweise nicht über die Abdeckung der Fächer in den Praktika Buch geführt wird, lässt sich das Problem allerdings nicht quantifizieren und auch nicht systematisch erfassen und vergleichen. Das kann aber eine wichtige Aufgabe sein, der man sich in Zukunft widmen sollte.

#### 4.4 Einordnung

Im Zuge der oben umrissenen institutionellen, strukturellen und inhaltlichen (D-EDK, 2015) Transformation der Ausbildung von Lehrpersonen in den letzten ca. 20 Jahren, wurde die Ausbildung der Kindergarten-/Unterstufen- und der Primarlehrpersonen von den Seminaren an die neu geschaffenen Pädagogischen Hochschulen übertragen. Trotz der damit verbundenen Tertiarisierung der Ausbildung bleiben Lehrpersonen auf diesen Stufen nach wie vor Generalisten – einer klaren Forderung der Volksschule entsprechend. Die Ausbildung für die Sekundarstufe 1 verlagerte sich parallel dazu mehr und mehr von den Universitäten an die Pädagogischen Hochschulen, wobei das integrierte Ausbildungsmodell heute in der Deutschschweiz gegenüber dem konsekutiven Modell klar dominiert, ganz im Gegensatz zu den französisch- und italienischsprachigen Teilen der Schweiz. Parallel hat sich die Anzahl der Fächer, die Absolvierende der Ausbildung in der Deutschschweiz erwerben, von 2-3 auf 3-4 erhöht. Im Zuge des Reakkreditierungsprozesses für die Studiengänge ab 2024 geht die Tendenz eindeutig hin zu 4 (oder gar 5) Fächern. Aufgrund der Einführung des Integrationsfaches Natur und Technik hat sich aber *gleichzeitig* das Fachvolumen – und weitgehend auch der fachdidaktische Orientierungsrahmen – verdreifacht. Das bedeutet: im Vergleich zu den frühen 2000-er Jahren steht heute an den Deutschschweizer Pädagogischen Hochschulen ein um ein mehrfaches vermindertes Ausbildungsvolumen zur Ausbildung von Sekundarstufe 1-Lehrpersonen in den Naturwissenschaften zur Verfügung. Ob die angehenden Lehrpersonen nach einer solchen Ausbildung den Anforderungen der Schulen und des Integrationsfaches Natur und Technik gerecht werden können, ist mehr als fraglich.

Diese Umschreibung der aktuellen Situation darf nicht als Kritik an der Einführung des Lehrplans 21 und des Integrationsfaches Natur und Technik missverstanden werden. Diese machen aus pädagogischer, gesamtgesellschaftlicher, wie auch aus Sicht der aktuellen Herausforderungen der Menschheit absolut Sinn. Dies zeigt beispielsweise ein Blick auf die Sustainable Development Goals (SDGs) der Vereinten Nationen (United Nations, 2015), von denen viele ein fachliches Verständnis, eine Denkweise und eine Herangehensweise verlangen, wie sie im Rahmen von Natur und Technik sowie Natur, Mensch Gesellschaft entwickelt werden könnten und sollten (Abschnitt 3.1). Ähnliches gilt für die Ansprüche an einen digitalen Unterricht und die damit verbundenen Voraussetzungen an die digitalen Kompetenzen von angehenden Lehrpersonen (Abschnitt 3.2).

Die Kritik richtet sich vielmehr an die zu einfache Logik, dass ein Unterrichtsfach *einem* Ausbildungsfach entsprechen muss, und zwar weil es aus schul- und hochschulorganisatorischen Gründen am einfachsten ist, wenn ein Integrationsfach in der Ausbildung im Wesentlichen gleichbehandelt wird, wie ein normales Einzelfach wie etwa Mathematik, Englisch oder Sport. Es darf bezweifelt werden, dass diese Art der Umsetzung den Anforderungen, die der Lehrplan 21 und die tägliche Arbeit im Schulzimmer stellen, gerecht werden kann, insbesondere auch unter Berücksichtigung der besprochenen Querschnittsthemen und den damit verbundenen – inhaltlich berechtigten – Erwartungen an die Naturwissenschaftsdidaktik.

Um diese Erwartungen erfüllen zu können, werden *alle* Elemente benötigt, die in diesem Artikel zur Sprache kamen. Es müssen in der Ausbildung (in klassischen Modulen genauso, wie in den Unterrichtspraktika) alle Elemente der Wirkungszusammenhänge aus Abb. 1 berücksichtigt werden. Evidenzbasierung ist ein zentraler Pfeiler, auf den man sich dabei stets stützen muss. Und wenn man naturwissenschaftlichen Unterricht, BNE und die Herausforderungen der Digitalisierung zusammen denken will, sollte man dies konsequent tun, also immer gestützt auf Evidenzbasierung und das Modell aus Abb. 1.

## 5 Forderungen und Desiderata

### 5.1 Forderungen an die Ausbildung von Lehrpersonen in den naturwissenschaftlichen Fächern

1. Wir fordern eine konsequente Ausrichtung der Ausbildung an den in Abschnitten 1-3 ausgeführten Prinzipien und Konzepte. Dazu gehören insbesondere die konsequente Verzahnung von Theorie und Praxis unter dem Leitprinzip der Evidenzbasierung und die konsequente Förderung fachlicher und fachdidaktischer Professionskompetenz unter Berücksichtigung der vielfältigen Wirkungszusammenhänge zwischen Wissen, Disposition, Kompetenz und Performanz. Da diese Forderung mit den Veranstaltungen, die in den aktuellen Studiengängen verfügbar sind, nicht eingelöst werden kann (Abschnitt 4) ergeben sich aus dieser Forderung weitere formalstrukturelle Forderungen:
2. Die Ausbildung von Kindergarten-/Unterstufen sowie Primarlehrpersonen ist darauf ausgerichtet, die angehenden Lehrpersonen als Generalist\*innen und nicht als Fachlehrpersonen an die Schulen zu entlassen. Dies wird auch in Zukunft so bleiben. Dadurch bleibt das Ausbildungsvolumen für ein einzelnes Fach – insbesondere für ein Integrationsfach – zwingend klein, ja zu klein! Beide Schwerpunkte sind für jegliches Lernen in den Naturwissenschaften zentral und auch propädeutisch für den weiteren naturwissenschaftlichen Unterricht. Deshalb sollen in der Ausbildung der Lehrpersonen die Natur und Technik-Unterrichtsinhalte fachlich und didaktisch so bearbeitet werden, dass die Lehrpersonen im Unterricht sinnvoll mit Schülervorstellungen umgehen können und das praktische Arbeiten sinnstiftend und zielführend in den Unterricht einbetten können. Auch mit einem kleinen Ausbildungsvolumen von wenigen Credits kann die Ausbildung in diese Richtung Grundlagen schaffen, die dann später im Selbststudium ausbaufähig sind.
3. Die unter 2. skizzierte Stossrichtung stellt aber lediglich eine Strategie dar, wie mit dem aktuell minimalen Ausbildungsumfang einigermaßen zielführend umgegangen werden kann. Als Erweiterung dazu wird **für die Stufen Kindergarten-/Unterstufe, sowie Primarstufe ein ausgebauter Wahlbereich gefordert, der eine echte Vertiefung und Profilierung** in einem der Unterrichtsfächer ermöglicht (Grössenordnung 20 Credits). Diese Idee ist keineswegs neu. Bereits heute sind Französisch- und Englischlehrpersonen an den Primarschulen meistens, TTG-Lehrpersonen oft „Spezialist\*innen“ in dem Sinne, dass sie zwar eine vollumfängliche Lehrberechtigung für die Zielstufe besitzen, schwerpunktmässig aber ein bestimmtes Fach unterrichten, weil sie dafür eine Zusatzqualifikation erworben oder anderweitig besondere Voraussetzungen mitbringen. Es wird als selbstverständlich betrachtet, dass beispielsweise nur Französisch unterrichten darf, wer dafür eine Mindestqualifikation aufweist. Die geforderte Vertiefungsmöglichkeit in NT bzw. NMG wäre ein wichtiger Schritt, um auch hier in diese Richtung zu gehen.
4. Es muss sichergestellt werden, dass jede angehende Lehrperson (unabhängig von der Stufe) **in mindestens 2 Unterrichtspraktika regelmässig NMG bzw. Natur und Technik Unterricht hospitieren und unterrichten** kann. Ergänzend dazu müssen die Pädagogischen Hochschulen einen inhaltlichen Austausch zwischen Fach-Dozierenden der Pädagogischen Hochschulen und Praxislehrpersonen an den Schulen sicherstellen. Dieser Austausch muss bidirektional sein, unter Schätzung der gegenseitigen Kompetenzprofile. Auf diese Weise kann ein wechselseitiges Verständnis über die zentralen, praxistauglichen, fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Prinzipien und Konzepte entwickelt und in den Praktika umgesetzt werden. Um fachspezifischen Anliegen genügend Rechnung tragen zu können, muss dieser Austausch auf Fachebene koordiniert werden und nicht in erster Linie studiengangübergreifend (also über alle Fächer innerhalb eines Studiengangs)
5. Das **Ausbildungsvolumen der Sek 1-Lehrpersonen in Natur und Technik muss auf mindestens 60 Credits angehoben werden**. Die Gründe und Argumente dafür wurden in diesem Beitrag ausführlich dargelegt. Letztlich geht es darum, sicherzustellen, dass die Ausbildung die angehenden Lehrpersonen befähigt, **einen naturwissenschaftlichen Unterricht anzubieten, der den Anforderungen des Lehrplans 21 und den aktuellen Herausforderungen unserer Gesellschaft gerecht wird**. Andernfalls droht an den Schulen ein Rückzug auf die unreflektierte Vermittlung vermeintlich erfolgreicher Unterrichtsrezepte oder eine Beschränkung auf fachlich oder fachdidaktisch oberflächliche Herangehensweisen.
6. Wir fordern **ein 3-Fächer Studium in der Ausbildung der Sek 1-Lehrpersonen** (entgegen dem Trend im Rahmen des laufenden Reakkreditierungsprozesses hin zu einem 4-Fächer-Studium). Dies hat nicht nur den Vorteil, dass den Integrationsfächern mehr Zeit eingeräumt werden kann (Forderung 5), sondern ermöglicht auch, dass die Studierenden Kompetenzen im Bereich der Querschnittsthemen BNE und Digitalisierung entwickeln und aufbauen können, die sie befähigen, diese gewinnbringend mit fachlichen und fachdidaktischen Konzepten zu verknüpfen.

### 5.2 Desiderata für die Fachdidaktik-Forschung

7. Die strukturellen, konzeptionellen und institutionellen Unterschiede in den Sprachregionen müssen unbedingt konstruktiv für die Forschung genutzt werden. Es wäre ein äusserst spannender Forschungsgegenstand, zu untersuchen, wie sich die Unterschiede in den Ausbildungen auf den Unterricht an den Schulen und die Entwicklung der Kompetenzen bei den Lernenden auswirkt. Dann könnte man ganz im Sinne des Abschnitts 2 auch

evidenzbasierte Entscheidungen für die Weiterentwicklung oder Anpassung von Ausbildungskonzeptionen und -Strukturen treffen.

8. Für eine ersthafte und gewinnbringende Verankerung von Querschnittsthemen wie BNE oder Digitalisierung bleibt in der Ausbildung aktuell kaum Zeit (auf allen Stufen). Dies ist problematisch, da die fachspezifische Verankerung dieser Themen bereits in der Ausbildung der Lehrpersonen eine zentrale Gelingensbedingung darstellt. In den letzten Jahren sind genau dafür gezielte Modelle und Konzepte erarbeitet und teilweise auch empirisch belegt worden (Abschnitt 3), für die jedoch weiterer Forschungsbedarf besteht, insbesondere hinsichtlich des Erfolgs bei der Implementierung in die Praxis.

## Danksagung

Die Autor\*innen danken insbesondere dem ehemaligen DiNat-Vorstandsmitglied Markus Wilhelm für seine anfängliche Mitarbeit bei der Strukturierung des Papiers, seine engagierte Diskussionsbereitschaft im weiteren Verlauf und das Gegenlesen wesentlicher Textpassagen.

Weiterer Dank gilt den an den Pädagogischen Hochschulen involvierten Personen, die Auskünfte über den Aufbau der unterschiedlichen Studiengänge gegeben haben.

Für die überaus hilfreiche administrative Unterstützung danken wir Gina Blick und Joaddan Schenk.

## Literatur

- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. In S. K. Abell & N. G. Lederman, *Handbook of Research on Science Education*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Abell, S. K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405–1416.
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1–18. <https://doi.org/10.1037/a0021017>
- Alonzo, A. C., & Kim, J. (2016). Declarative and dynamic pedagogical content knowledge as elicited through two video-based interview methods. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1259–1286. <https://doi.org/10.1002/tea.21271>
- BAKOM. (2018). *Strategie „Digitale Schweiz“*.
- BAKOM. (2020). *Strategie „Digitale Schweiz“*.
- Baumert, J., & Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 9(4), 469–520. <https://doi.org/10.1007/s11618-006-0165-2>
- Baumert, J., & Kunter, M. (2011). Das mathematikspezifische Wissen von Lehrkräften, kognitive Aktivierung im Unterricht und Lernfortschritte von Schülerinnen und Schülern. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss, & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften* (S. 163–192). Waxmann.
- Bayrhuber, H., Bögeholz, S., & Elster D. (2007). *Biologie im Kontext. Ein Programm zur Kompetenzförderung durch Kontextorientierung im Biologieunterricht und zur Unterstützung von Lehrerprofessionalisierung*.
- Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thoms, L.-J., Thyssen, C., & von Kotzebue, L. (2020). Orientierungsrahmen Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften – DiKoLAN. In S. Becker, J. Meßinger-Koppelt, & C. Thyssen (Hrsg.), *Digitale Basiskompetenzen – Orientierungshilfe und Praxisbeispiele für die universitäre Lehramtsausbildung in den Naturwissenschaften*, (S. 14–43). Joachim Herz Stiftung.
- Berliner, D. C. (2004). Toiling in Pasteur’s quadrant: The contributions of N.L. Gage to educational psychology. *Teaching and Teacher Education*, 20(4), 329–340. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2004.02.007>
- Bertschy, F., Gingins, F., Künzli, C., Giulio, A. D., & Kaufmann-Hayoz, R. (2007). *Bildung für Nachhaltige Entwicklung in der obligatorischen Schule. Schlussbericht zum Expertenmandat der EDK: „Nachhaltige Entwicklung in der Grundschulausbildung—Begriffsklärung und Adaption“*.
- Billion-Kramer, T. (Hrsg.). (2021). *Wirksamer Sachunterricht*. Schneider Verlag Hohengehren.
- BLK. (1998). *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Orientierungsrahmen*. <https://doi.org/10.25656/01:147>
- Blömeke, S., Felbrich, A., & Müller, C. (2008). Theoretischer Rahmen und Untersuchungsdesign. In S. Blömeke, G. Kaiser, & R. Lehmann (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz angehender Lehrerinnen und Lehrer. Wissen, Überzeugungen und Lerngelegenheiten deutscher Mathematikstudierender und -referendare. Erste Ergebnisse zur Wirksamkeit der Lehrerausbildung* (S. 15–48). Waxmann.
- 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>
- Bodzin, A. M., & Beerer, K. M. (2003). Promoting inquiry-based science instruction: The validation of the Science Teacher Inquiry Rubric (STIR). *Journal of Elementary Science Education*, 15(2), 39–49. <https://doi.org/10.1007/BF03173842>
- Bölsterli, K., Brovelli, D., Kauertz, A., Rehm, M., Reinhold, P., Riese, J., & Wilhelm, M. (2010). Erfassung der professionellen Kompetenz von Lehramtsstudierenden. *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik - Jahrestagung in Potsdam 2009* (S. 276–278). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.

- Brinkmann, B., & Müller, U. (2018). *Lehrstudium in der digitalen Welt – Professionelle Vorbereitung auf den Unterricht mit digitalen Medien?!* [https://www.monitor-lehrerbildung.de/web/.content/Downloads/Monitor-Lehrerbildung\\_Broschuere\\_Lehrstudium-in-der-digitalen-Welt.pdf](https://www.monitor-lehrerbildung.de/web/.content/Downloads/Monitor-Lehrerbildung_Broschuere_Lehrstudium-in-der-digitalen-Welt.pdf)
- Brockhage, F., Lüsse, M., Pietzner, V., & Beeken, M. (2021). Nachhaltigkeit in Gesellschaft, Wissenschaft, Politik und Schule: Fridays For Future und Schule? – Teil 1. *Chemie in unserer Zeit*, 55(2), 125–129. <https://doi.org/10.1002/ciuz.202000006>
- Brovelli, D. (Hrsg.). (2018). *Wirksamer Physikunterricht*. Schneider Verlag Hohengehren.
- Brüggemann, A., & Bromme, R. (Hrsg.). (2006). *Entwicklung und Bewertung von anwendungsorientierter Grundlagenforschung in der Psychologie: Rundgespräche und Kolloquien*. <https://doi.org/10.1524/9783050085630>
- Brundiers, K., Barth, M., Cebrián, G., Cohen, M., Diaz, L., Doucette-Remington, S., Dripps, W., Habron, G., Harré, N., Jarchow, M., Losch, K., Michel, J., Mochizuki, Y., Rieckmann, M., Parnell, R., Walker, P., & Zint, M. (2021). Key competencies in sustainability in higher education—Toward an agreed-upon reference framework. *Sustainability Science*, 16(1), 13–29. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00838-2>
- Bruner, J. S. (1961). The Act of Discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21–32.
- Burkhardt, H., & Schoenfeld, A. H. (2003). Improving Educational Research: Toward a More Useful, More Influential, and Better-Funded Enterprise. *Educational Researcher*, 32(9), 3–14.
- Bybee, R. W. (2002). Scientific Literacy—Mythos oder Realität? In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy* (S. 21–43). Leske und Budrich. [https://doi.org/10.1007/978-3-322-80863-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-322-80863-9_2)
- CCarlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., Carpendale, J., Kam Ho Chan, K., Cooper, R., Friedrichsen, P., Gess-Newsome, J., Henze-Rietveld, I., Hume, A., Kirschner, S., Liepertz, S., Loughran, J., Mavhunga, E., Neumann, K., Nilsson, P., ... Wilson, C. D. (2019). The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Hrsg.), *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science* (S. 77–94). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2)
- CIIP. (2010). *Plan d'Etudes Romand*. Neuchâtel: CIIP. <https://www.ciip.ch/Plans-detudes-romands/Plan-detudes-romand-scolaire-obligatoire-PER/Plan-detudes-romand-PER>
- Coll, M. (2020). Environmental effects of the COVID-19 pandemic from a (marine) ecological perspective. *Ethics in Science and Environmental Politics*, 20, 41–55. <https://doi.org/10.3354/ese00192>
- Consortium HarmoS sciences naturelles+ (Hrsg.). (2009). *Sciences naturelles: Rapport scientifique de synthèse et modèle de compétences: version provisoire (avant adoption des standards de base): état juillet 2009*. Consortium HarmoS sciences naturelles+.
- Davies, P. (1999). What is Evidence-based Education? *British Journal of Educational Studies*, 47(2), 108–121. <https://doi.org/10.1111/1467-8527.00106>
- de Haan, G. (2002). Die Kernthemen der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, 25(1), 13–20. <https://doi.org/10.25656/01:6177>
- 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* (S. 23–43). VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-90832-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-531-90832-8_4)
- de Haan, G., & Harenberg, D. (1999). *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Gutachten zum Programm*. <https://doi.org/10.25656/01:218>
- Delisle, R. (1997). *How to Use Problem-Based Learning in the Classroom*. Association for Supervision and Curriculum Development.
- Demuth, R., Gräsel, C., Parchmann, I., & Ralle, B. (Hrsg.). (2008). *Chemie im Kontext: Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts*. Waxmann.
- Depaepe, F., Verschaffel, L., & Kelchtermans, G. (2013). Pedagogical content knowledge: A systematic review of the way in which the concept has pervaded mathematics educational research. *Teaching and Teacher Education*, 34, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2013.03.001>
- Deutschschweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz (D-EDK). (2015). *Lehrplan 21*. Bern. <https://www.lehrplan21.ch>
- DiNat.ch. (2012). *Positionspapier: Naturwissenschaftliche Bildung*. [https://www.dinat.ch/files/Gewerbe\\_Luzern\\_2012\\_DiNat\\_Positionspapier\\_naturwissenschaftliche\\_Bildung-1-.pdf](https://www.dinat.ch/files/Gewerbe_Luzern_2012_DiNat_Positionspapier_naturwissenschaftliche_Bildung-1-.pdf)
- Döring, R. (2004). *Wie stark ist schwache, wie schwach starke Nachhaltigkeit?* (Working Paper 08/2004). Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionspapiere. <https://www.econstor.eu/handle/10419/22095>
- Duit, R., & Mikelskis-Seifert, S. (2007). Kontextorientierter Unterricht. Wie man es einbettet, so wird es gelernt. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 18(98), 4–8.
- Erziehungsdirektoren-Konferenz (EDK). (2011). *Grundkompetenzen für die Naturwissenschaften: Nationale Bildungsstandards*. Bern: Schweizerische Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren (EDK). [http://edudoc.ch/record/96787/files/grundkomp\\_nawi\\_d.pdf](http://edudoc.ch/record/96787/files/grundkomp_nawi_d.pdf)
- éducation21. (2016). *Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Ein Verständnis von BNE und ein Beitrag zum Diskurs*. [https://www.education21.ch/sites/default/files/uploads/pdf-d/bne/BNE-Verstaendnis\\_Langversion-mit-Quellen\\_2016.pdf](https://www.education21.ch/sites/default/files/uploads/pdf-d/bne/BNE-Verstaendnis_Langversion-mit-Quellen_2016.pdf)
- éducation21. (2023). *BNE-Verständnis. Eine Arbeitsdefinition für éducation21*.

- Einsiedler, W. (2010). Didaktische Entwicklungsforschung als Transferförderung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 13(1), 59–81. <https://doi.org/10.1007/s11618-010-0106-y>
- European Commission, Directorate-General for Research, Information and Communication Unit (2007). *Science education NOW: a renewed pedagogy for the future of Europe*. Publications Office. <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/resources/docs/rapportrocardfinal.pdf>
- European Commission. Joint Research Centre. (ECJRC). (2022). *GreenComp, the European sustainability competence framework*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/13286>
- Finnigan, K. S., & Daly, A. J. (Hrsg.). (2014). *Using Research Evidence in Education: From the Schoolhouse Door to Capitol Hill*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-04690-7>
- Fischer, F., Waibel, M., & Wecker, C. (2005). Nutzenorientierte Grundlagenforschung im Bildungsbereich. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 8(3), 427–442. <https://doi.org/10.1007/s11618-018-0805-5>
- Fischler, H. (2011). Didaktik—An appropriate framework for the professional work of science teachers? In D. Corrigan, J. Dillon, & R. Gunstone (Eds.), *The Professional Knowledge Base of Science Teaching* (S. 31–50). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-3927-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3927-9_3)
- Frank, T., & Thoms, L.-J. (2021). Digitale Kompetenzen beim Experimentieren fördern: Ortsfaktorbestimmung mit verschiedenen Sensoren im Physikunterricht. *Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Frey, A. (2014). Kompetenzmodelle und Standards in der Lehrerbildung und im Lehrerberuf. In E. Terhart, H. Bennewitz, & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 712–744). Waxmann.
- Fullan, M., & Scott, G. (2009). *Turnaround leadership for higher education*. Jossey-Bass.
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- Geißel, B., & Gschwendtner, T. (Hrsg.). (2018). *Wirksamer Technikunterricht*. Schneider Verlag Hohengehren.
- Gericke, M. (2021). *The Doughnut Model, SDGs, ESG factors and SDG entry points – A mapping experiment. – Scrypt Media*. <https://www.scrypt.media/2021/02/17/doughnut-model-sdg-esg-mapping/>
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Hrsg.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (Bd. 6, S. 3–17). Kluwer Academic Publishers. [https://doi.org/10.1007/0-306-47217-1\\_1](https://doi.org/10.1007/0-306-47217-1_1)
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK. In *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (S. 15). Routledge.
- Gess-Newsome, J., Taylor, J. A., Carlson, J., Gardner, A. L., Wilson, C. D., & Stuhlsatz, M. A. M. (2017). Teacher pedagogical content knowledge, practice, and student achievement. *International Journal of Science Education*, 41(7), 944–963. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1265158>
- Gramzow, Y., Riese, J., & Reinhold, P. (2013). Modellierung fachdidaktischen Wissens angehender Physiklehrkräfte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 7–30.
- Grossman, P. L. (1990). The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education. *Journal of Teacher Education*, 42(5), 379–382.
- Großschedl, J., Harms, U., Kleickmann, T., & Glowinski, I. (2015). Preservice biology teachers' professional knowledge: Structure and learning opportunities. *Journal of Science Teacher Education*, 26(3), 291–318. <https://doi.org/10.1007/s10972-015-9423-6>
- Guerrero, S. (2017). *Pedagogical knowledge and the changing nature of the teaching profession*. OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264270695-en>
- Hasse, S., Joachim, C., Bögeholz, S., & Hammann, M. (2014). Assessing teaching and assessment competences of biology teacher trainees: Lessons from item development. *International Journal of Education in Mathematics Science and Technology*.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
- Hattie, J. (2012). *Visible Learning for Teachers: Maximizing Impact on Learning*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203181522>
- Hedtke, R. (2016). Bildung zur Partizipation. Fachdidaktik als Auftragnehmerin der Politik? In J. Menthe, D. Höttecke, T. Zabka, & M. Hammann (Hrsg.), *Befähigung zu gesellschaftlicher Teilhabe: Beiträge der fachdidaktischen Forschung* (S. 9–23). Waxmann.
- Helsper, W. (2007). Eine Antwort auf Jürgen Baumerts und Mareike Kunters Kritik am strukturtheoretischen Professionsansatz. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 10(4), 567–579. <https://doi.org/10.1007/s11618-007-0064-1>
- Helsper, W., Busse, S., Hummrich, M., & Kramer, R.-T. (Hrsg.). (2008). *Pädagogische Professionalität in Organisationen*. VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-90777-2>
- Hickel, J. (2019). The contradiction of the sustainable development goals: Growth versus ecology on a finite planet. *Sustainable Development*, 27(5), 873–884. <https://doi.org/10.1002/sd.1947>
- Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2009). The meaning of scientific literacy. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4(3), 275–288.
- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S., & Thyssen, C. (2019a). From TPaCK to DPaCK – Digitalization in Education Requires more than Technical Knowledge. In M. Shelley & S. A. Kiray (Hrsg.), *Education Research Highlights in Mathematics, Science and Technology 2019* (S. 298–309). International Society for Research in Education and Science (ISRES).

- Huwer, J., Irion, T., Kuntze, S., Schaal, S., & Thyssen, C. (2019b). Von TPACK zu DPACK - Digitalisierung im Unterricht erfordert mehr als technisches Wissen. *MNU Journal*, 72(5), 358–364.
- Jüttner, M., & Neuhaus, B. J. (2013). Das Professionswissen von Biologielehrkräften—Ein Vergleich zwischen Biologielehrkräften, Biologen und Pädagogen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 31–49.
- Kansanen, P. (2009). Subject-matter didactics as a central knowledge base for teachers, or should it be called pedagogical content knowledge? *Pedagogy, Culture & Society*, 17(1), 29–39. <https://doi.org/10.1080/14681360902742845>
- Keller, M. M., Neumann, K., & Fischer, H. E. (2017). The impact of physics teachers' pedagogical content knowledge and motivation on students' achievement and interest. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(5), 586–614. <https://doi.org/10.1002/tea.21378>
- Khine, M. S., & Arcepattamannil, S. (Hrsg.). (2016). *Non-cognitive skills and factors in educational attainment*. Sense Publishers. <https://doi.org/10.1007/978-94-6300-591-3>
- Kirschner, P. A., & Bruyckere, P. (2017). The myths of the digital native and the multitasker. *Teaching and Teacher Education*, 67, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.06.001>
- Kirschner, S., Borowski, A., Fischer, H. E., Gess-Newsome, J., & von Aufschnaiter, C. (2016). Developing and evaluating a paper-and-pencil test to assess components of physics teachers' pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 38(8), 1343–1372. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1190479>
- Kirschner, S., Sczudlek, M., Tepner, O., Borowski, A., Fischer, H. E., Lenske, G., Leutner, D., Neuhaus, B. J., Sumfleth, E., Thillmann, H., & Wirth, J. (2017). Professionswissen in den Naturwissenschaften (ProwiN). In C. Gräsel & K. Trempler (Hrsg.), *Entwicklung von Professionalität pädagogischen Personals* (S. 113–130). Springer Fachmedien. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-07274-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-658-07274-2_7)
- Kissling-Näf, I., & Pignat, P. (2017, August). Anwendungsorientierte Grundlagenforschung im Fokus. *VSH-Bulletin*, 43(2), 35–39.
- Klieme, E., & Hartig, J. (2008). Kompetenzkonzepte in den Sozialwissenschaften und im erziehungswissenschaftlichen Diskurs. In M. Prenzel, I. Gogolin, & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik* (S. 11–29). VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-90865-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-531-90865-6_2)
- KMK. (2004). *Standards für die Lehrerbildung: Bildungswissenschaften*. Kultusministerkonferenz (KMK).
- KMK. (2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10)*. Kultusministerkonferenz (KMK). [http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf](http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf).
- Koehler, M., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70.
- Koehler, M., 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>
- Kofadis. (o. J.). *Konferenz Fachdidaktiken Schweiz*. <https://kofadis.ch>
- Kolarz, P., Arnold, E., & Farla, K. (2017). *Use-inspired basic research at SNSF*.
- Konsortium HarmoS Naturwissenschaften+ (Hrsg.). (2009). *Naturwissenschaften: Wissenschaftlicher Kurzbericht und Kompetenzmodell: provisorische Fassung (vor Verabschiedung der Standards): Stand Juli 2009, mit Ergänzungen und Korrekturen Januar 2010*. Konsortium HarmoS Naturwissenschaften+.
- Kotzebue, L. v., Meier, M., Finger, A., Kremser, E., Huwer, J., Thoms, L.-J., Becker, S., Bruckermann, T., & Thyssen, C. (2021). The Framework DiKoLAN (Digital Competencies for Teaching in Science Education) as Basis for the Self-Assessment Tool DiKoLAN-Grid. *Education Sciences*, 11(12), 775. <https://doi.org/10.3390/educsci1120775>
- Krapp, A., & Prenzel, M. (2011). Research on Interest in Science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education*, 33(1), 27–50. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.518645>
- Kunter, M., Klusmann, U., Baumert, J., Richter, D., Voss, T., & Hachfeld, A. (2013). Professional competence of teachers: Effects on instructional quality and student development. *Journal of Educational Psychology*, 105(3). <https://doi.org/10.1037/a0032583>
- Labudde, P., & Möller, K. (2012). Stichwort: Naturwissenschaftlicher Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15(1), 11–36. <https://doi.org/10.1007/s11618-012-0257-0>
- Labudde, P., & Metzger, S. (Hrsg.). (2019). *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1.- 9. Schuljahr* (3. Aufl.). utb. <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.36198/9783838552071>
- Leuders, T. (2015). Empirische Forschung in der Fachdidaktik. Eine Herausforderung für die Professionalisierung und die Nachwuchsqualifizierung. 33(2), 215–234. <https://doi.org/10.25656/01:13886>
- Martens, J., & Obenland, W. (2016). *Die 2030-Agenda. Globale Zukunftsziele für nachhaltige Entwicklung* (S. 5–132) [https://www.2030agenda.de/sites/default/files/Agenda\\_2030\\_online\\_2016.pdf](https://www.2030agenda.de/sites/default/files/Agenda_2030_online_2016.pdf)
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biomedizinischen Forschung* (S. 177–186). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_16)
- McLoughlin, E., Finlayson, O., & Brady, S. (2012). Learners as initiators through inquiry-based science education – experiences from the european project ESTABLISH. *Public Service Review: European Science & Technology*, 11, 26–27.
- Meier, M., Thoms, L.-J., Becker, S., Finger, A., Kremser, E., Huwer, J., Kotzebue, L., Bruckermann, T., & Thyssen, C. (2021). Digitale Transformation von Unterrichtseinheiten – DiKoLAN als Orientierungs- und Strukturierungshilfe am Beispiel Low-Cost-Photometrie mit dem Smartphone. In N. Graulich, J. Huwer, & A. Banerji

- (Hrsg.), *Digitalisation in Chemistry Education. Digitales Lehren und Lernen an Hochschule und Schule im Fach Chemie* (S. 13–27). Waxmann.
- Meier, M., Thyssen, C., Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Kremser, E., Thoms, L.-J., Kotzebue, L., & Huwer, J. (2021). Digitale Kompetenzen für das Lehramt in den Naturwissenschaften: Beschreibung und Messung von Kompetenzziele der Studienphase im Bereich Präsentation. In H.-W. Wollersheim, M. Karapanos, & N. Pengel (Hrsg.), *Bildung in der digitalen Transformation* (Bd. 78, S. 184–189). Waxmann.
- Menthe, J., & Parchmann, I. (2015). Getting Involved: Context-Based Learning in Chemistry Education. In M. Kahveci & M. Orgill (Hrsg.), *Affective Dimensions in Chemistry Education* (S. 51–67). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-662-45085-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45085-7_3)
- MetaX. (2022). *Visible Learning MetaX*. <https://www.visiblelearningmetax.com>
- Metzger, S. (2013). *Desiderate der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. <https://doi.org/10.25656/01:13833>
- Mikelskis-Seifert, S., & Duit, R. (2007). Physik im Kontext. Innovative Unterrichtsansätze für den Schulalltag. *Mathematisch Naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)*, 60(5), 265–274.
- Millar, R. (2006). Twenty first century science: Insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499–1521.  
<https://doi.org/10.1080/09500690600718344>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, 108(6), 1017–1054.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Möller, J., & Trautwein, U. (2015). Selbstkonzept. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 177–199). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41291-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41291-2_8)
- Mueller, A., & Brown, A. (2021). An evidence-based Approach to Tasks in Science Education. *Progress in Science Education (PriSE)*, 5(1), 6–32. <https://doi.org/10.25321/PRISE.2022.1275>
- Müller, M., & Niebert, K. (2017). *Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Wegweiser für eine Politik der Nachhaltigkeit* (G. Michelsen, Hrsg.; 2. Auflage, S. 55–70). Hessische Landeszentrale für politische Bildung.  
[https://hlz.hessen.de/fileadmin/user\\_upload/PDF/Publikationsreihen/Forum\\_hlz/Forum\\_04\\_Nachhaltigkeitsstrategie.pdf](https://hlz.hessen.de/fileadmin/user_upload/PDF/Publikationsreihen/Forum_hlz/Forum_04_Nachhaltigkeitsstrategie.pdf)
- National Research Council (NRC). (2012a). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
- National Research Council (NRC). (2012b). *Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13362>
- Neumann, K., Kind, V., & Harms, U. (2019). Probing the amalgam: The relationship between science teachers' content, pedagogical and pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 41(7), 847–861.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1497217>
- Nittel, D. (2004). Die „Veralltäglichung“ pädagogischen Wissens im Horizont von Profession, Professionalisierung und Professionalität. *Zeitschrift für Pädagogik*, 50(3), 342–357.
- OECD. (2008). *PISA 2006: Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von Morgen*. W. Bertelsmann Verlag.  
<https://doi.org/10.1787/9789264041257-de>
- Oser, F., Heinzer, S., & Salzmann, P. (2010). Die Messung der Qualität von professionellen Kompetenzprofilen von Lehrpersonen mit Hilfe der Einschätzung von Filmvignetten. *Unterrichtswissenschaften*, 38, 5–28.
- Ott, K., & Döring, R. (2008). *Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit* (2. Auflage). Metropolis-Verlag.
- Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., & Ralle, B. (2006): „Chemie im Kontext“: A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach, *International Journal of Science Education* 9(28), 1041–1062.
- Pasteur, L. (1871). La science en France; Pourquoi la France n'a pas trouvé d'hommes supérieurs au moment du péril? In *La Revue Scientifique de la France et de l'Étranger* (1. Aufl., Bd. 2, S. 73–77).
- Pellaud, F., Shankland, R., Blandenier, G., Dubois, L., Gey, N., Massiot, P., & Gay, P. (2021). The Competencies That School-Leavers Should Possess in Order to Meet the Challenges of the 21st Century. *Frontiers in Education*, 6, 660169. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.660169>
- Pogge, T., & Sengupta, M. (2015). The Sustainable Development Goals: A plan for building a better world? *Journal of Global Ethics*, 11 (1), 56–64. <https://doi.org/10.1080/17449626.2015.1010656>
- Ramseier, E., Labudde, P., & Adamina, M. (2011). Validierung des Kompetenzmodells HarmoS Naturwissenschaften: Fazite und Defizite.. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 17, 7–33.
- Raworth, K. (2012). *A safe and just space for humanity. Can we live within the doughnut?* Oxfam Discussion Paper.  
[https://oi-files-d8-prod.s3.eu-west-2.amazonaws.com/s3fs-public/file\\_attachments/dp-a-safe-and-just-space-for-humanity-130212-en\\_0\\_4.pdf](https://oi-files-d8-prod.s3.eu-west-2.amazonaws.com/s3fs-public/file_attachments/dp-a-safe-and-just-space-for-humanity-130212-en_0_4.pdf)
- Raworth, K. (2017). *Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist*. Random House Business Books.
- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office.  
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107466>
- Redecker, C. (2019). *Europäischer Rahmen für die digitale Kompetenz Lehrender*. DigCompEdu, Goethe Institut.
- Rehm, M. (Hrsg.). (2018). *Wirksamer Chemieunterricht*. Schneider Verlag Hohengehren.
- Reinhardt, V., Rehm, M., & Wilhelm, M. (2018-21). *Wirksamer Fachunterricht: Perspektiven von Expertinnen und Experten*. 17 Bände. Schneider Verlag Hohengehren.

- Rempfler, A. (Hrsg.). (2018). *Wirksamer Geographieunterricht*. Schneider Verlag Hohengehren.
- Renninger, K. A., Nieswandt, M., & Hidi, S. (Hrsg.). (2015). *Interest in Mathematics and Science Learning*. American Educational Research Association. <https://doi.org/10.3102/978-0-935302-42-4>
- Rieckmann, M., & Barth, M. (2022). Educators' Competence Frameworks in Education for Sustainable Development. In P. Vare, N. Lausset, & M. Rieckmann (Hrsg.), *Competences in Education for Sustainable Development* (S. 19–26). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91055-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91055-6_3)
- Riese, J., & Reinhold, P. (2012). Die professionelle Kompetenz angehender Physiklehrkräfte in verschiedenen Ausbildungsformen. Empirische Hinweise für eine Verbesserung des Lehramtsstudiums. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15, 111–143. <https://doi.org/10.1007/s11618-012-0259-y>
- Rockström, J., & Sukhdev, P. (2016). How food connects all the SDGs. *EAT Food Forum*. <https://www.garnpress.com/news/how-food-connects-all-the-sustainable-development-goals>
- Rothland, M., Cramer, C., & Terhart, E. (2018). Forschung zum Lehrerberuf und zur Lehrerbildung. In R. Tippelt & B. Schmidt-Hertha (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung* (S. 1011–1034). Springer Fachmedien. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-19981-8\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-531-19981-8_44)
- Sackett, D. L., Rosenberg, W. M. C., Gray, J. A. M., Haynes, R. B., & Richardson, W. S. (1996). Evidence based medicine: What it is and what it isn't. *BMJ*, 312(7023), 71–72. <https://doi.org/10.1136/bmj.312.7023.71>
- Schecker, H., Parchmann, I., & Krüger, D. (2018). Theoretische Rahmung naturwissenschaftsdidaktischer Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 1–9). Springer Spektrum. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_1)
- Schmid, U., Goertz, L., Radoski, S., Thom, S., Behrens, J., & Bertelsmann Stiftung. (2017). *Monitor Digitale Bildung: Die Hochschulen im digitalen Zeitalter*. <https://doi.org/10.11586/2017014>
- Seneca, L. A. (ca. 62 n. Chr.). EPISTULARUM MORALIUM AD LUCILIUM LIBER SEPTIMVS DECIMVS ET OCTAVVS DECIMVS. <http://www.thelatinlibrary.com/sen/seneca.ep17-18.shtml>
- Shavelson, R. J., & Towne, L. (Hrsg.). (2002). *Scientific research in education*. National Academy Press.
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–23.
- Shulman, L. S. (2015). PCK. In A. Berry, P. Friedrichsen, & J. Loughran (Eds.) *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315735665>
- Slavin, R. E. (2008). Perspectives on Evidence-Based Research in Education—What Works? Issues in Synthesizing Educational Program Evaluations. *Educational Researcher*, 37(1). <https://doi.org/10.3102/0013189X08314117>
- Sleurs, W. (Hrsg.). (2008). Competencies for ESD (Education for Sustainable Development) teachers. *CSCT Project*. [https://unece.org/fileadmin/DAM/env/esd/inf.meeting.docs/EGonInd/8mtg/CSCT%20Handbook\\_Extract.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/esd/inf.meeting.docs/EGonInd/8mtg/CSCT%20Handbook_Extract.pdf)
- Smith, P. S., & Banilower, E. R. (2015). Assessing PCK: A new application of the uncertainty principle. In A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (S. 88–103). Routledge.
- Stark, R., & Mandl, H. (2007). Bridging the gap between basic and applied research by an integrative research approach. *Educational Research and Evaluation*, 13(3), 249–261. <https://doi.org/10.1080/13803610701632075>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Rayers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stender, A., Brückmann, M., & Neumann, K. (2015). Vom Professionswissen zum kompetenten Handeln im Unterricht: Die Rolle der Unterrichtsplanung. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 33(1), 121–133. <https://doi.org/10.25656/01:13901>
- Stokes, D. (2009). Completing the Bush Model: Pasteur's Quadrant. *Public Understanding of Science*, 6(4). [www.cspo.org/products/conferences/bush/Stokes.pdf](http://www.cspo.org/products/conferences/bush/Stokes.pdf)
- Stokes, D. E. (1997). *Pasteur's quadrant: Basic science and technological innovation*. Brookings Institution Press.
- swissuniversities. (2021a). *Fachdidaktiken*. <https://www.swissuniversities.ch/themen/fachdidaktiken>.
- swissuniversities. (2021b). *Nationale Strategie Fachdidaktik Schweiz 2021–2028*. <https://www.swissuniversities.ch/themen/fachdidaktiken/nationale-strategie-fachdidaktik>
- Tardent Kuster, J. (2020). *Unterrichtsplanungen von angehenden Lehrpersonen zum experimentellen Handeln: Eine videografiegestützte Analyse von Unterrichtsplanungen* [Pädagogische Hochschule Heidelberg]. <https://opus.ph-heidelberg.de/frontdoor/index/index/docId/353>
- Thoms, L.-J., Becker, S., Bruckermann, T., Finger, A., Huwer, J., Kremser, E., Meier, M., Thyssen, C., & Kotzebue, L. (2022). Kein Zusatz, sondern Basis. *Nachrichten aus der Chemie*, 70(10), 20–22.
- Thoms, L.-J., Colberg, C., Heiniger, P., & Huwer, J. (2022). Digital Competencies for Science Teaching: Adapting the DiKoLAN Framework to Teacher Education in Switzerland. *Frontiers in Education*, 7, 802170. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.802170>
- Thoms, L.-J., Meier, M., Huwer, J., Thyssen, C., Kotzebue, L., Becker, S., Kremser, E., Finger, A., & Bruckermann, T. (2021). DiKoLAN – A Framework to Identify and Classify Digital Competencies for Teaching in Science Education and to Restructure Pre-Service Teacher Training. In E. Langran & L. Archambault (Hrsg.), *Society for In-*



- formation Technology & Teacher Education International Conference* (S. 1652–1657). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). <https://www.learntechlib.org/primary/p/219329/>
- Thoms, L.-J., Meier, M., Kotzebue, L. von, Kremser, E., Finger, A., & Thyssen, C. (2022). Ansätze zur Strukturierung universitärer Lehre zu digitalen Kompetenzen von Lehramtskandidat\*innen der Naturwissenschaften unter Einbindung von Fach- und Bildungswissenschaften. In U. Schütte, N. Bürger, P. Frei, K. Hauenschild, M. Fabel-Lamla, J. Menthe, B. Schmidt-Thieme, & C. Wecker (Hrsg.), *Digitalisierungsbezogene Kompetenzen fördern—Herausforderungen, Ansätze und Entwicklungsfelder im Kontext von Schule und Hochschule* (S. 243–251). Universität Hildesheim.
- Thyssen, C., Huwer, J., Irion, T., & Schaal, S. (2023). From TPACK to DPACK: The “Digitally-Related Pedagogical and Content Knowledge”-Model in STEM-Education. *Education Sciences*, 13(8), 769. <https://doi.org/10.3390/educsci13080769>
- Thyssen, C., Thoms, L.-J., Kremser, E., Finger, A., Huwer, J., & Becker, S. (2020). Digitale Basiskompetenzen in der Lehrerbildung unter besonderer Berücksichtigung der Naturwissenschaften. In M. Beißwenger, B. Bulizek, I. Gryl, & F. Schacht (Hrsg.), *Digitale Innovationen und Kompetenzen in der Lehramtsausbildung* (S. 77–98). Universitätsverlag Rhein-Ruhr.
- UNECE. (2012). *Learning for the Future. Competences in Education for Sustainable Development*. UNECE.
- UNESCO. (2017). *Education for Sustainable Development Goals. Learning Objectives*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- UNESCO. (2020). *Education for Sustainable Development (ESD) – a roadmap*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>
- Van Driel, J. H., Verloop, N., & De Vos, W. (1998). Developing science teachers’ pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673–695. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199808\)35:6<673:AID-TEA5>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199808)35:6<673:AID-TEA5>3.0.CO;2-J)
- Vare, P., Arro, G., De Hamer, A., Del Gobbo, G., De Vries, G., Farioli, F., Kadji-Beltran, C., Kangur, M., Mayer, M., Millican, R., Nijdam, C., Réti, M., & Zachariou, A. (2019). Devising a Competence-Based Training Program for Educators of Sustainable Development: Lessons Learned. *Sustainability*, 11(7), 1890. <https://doi.org/10.3390/su11071890>
- Vogel, M. (Hrsg.). (2018). *Wirksamer Mathematikunterricht*. Schneider Verlag Hohengehren.
- Vogelsang, C., & Reinhold, P. (2013). Zur Handlungsvalidität von Tests zum professionellen Wissen von Lehrkräften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 103–128.
- WCED. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. <https://digitallibrary.un.org/record/139811>
- Wiek, A., Bernstein, M. J., Foley, R. W., Cohen, M., Forrest, N., Kuzdas, C., Kay, B., & Withycombe Keeler, L. (2016). Operationalising Competencies in Higher Education for Sustainable Development. In I. Thomas (Hrsg.), *Routledge Handbook of Higher Education for Sustainable Development* (S. 241–260). Routledge.
- Wiek, A., Withycombe, L., & Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6(2), 203–218. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>
- Wilhelm, M. (2016). Biologiedidaktische Forschung: Effizient oder effektiv? Nachwuchstagung der Sektion Fachdidaktik Biologie im VBIO, Weingarten.
- Wilhelm, M. (Hrsg.). (2018). *Wirksamer Biologieunterricht*. Schneider Verlag Hohengehren.
- Wilhelm, M. (2019). Wucht oder Wirkung? Bildungsforschung und Lehrentwicklung am Beispiel der Naturwissenschaftsdidaktik. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktische Forschung zur Lehrerbildung* (S. 35–49). Waxmann.
- Wilhelm, M. (2021). Bildung in Nachhaltiger Entwicklung am Reallabor. *Progress in Science Education (PriSE)*, 28–35. <https://doi.org/10.25321/PRISE.2021.1294>
- Wilhelm, M. (2023). *Nachhaltigkeit und ihre Didaktik –jetzt angehen*. Hauptvortrag im Rahmen des SWISE Innovationstages, Kreuzlingen. [https://swise.ch/wp-content/uploads/2023/03/230511-Nachhaltigkeit-und-Didaktik\\_def.pdf](https://swise.ch/wp-content/uploads/2023/03/230511-Nachhaltigkeit-und-Didaktik_def.pdf)
- Wilhelm, M., Amacker, V., & Rehm, M. (2022). Das Viabilitätsmodell: Vom Konzept der «sensitiven Nachhaltigkeit» in Hinblick auf die digitale Transformation lernen. In J. Weselek, F. Kohler, & A. Siegmund (Hrsg.), *Digitale Bildung für nachhaltige Entwicklung* (S. 9–21). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-65122-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-65122-3_2)
- Wilhelm, M., Kalcics, K., Bättig, M., Helbling, D., & Adamina, M. (2021). Der Masterstudiengang Fachdidaktik NMG+NE der Pädagogischen Hochschule Bern und der Pädagogischen Hochschule Luzern. In P. Breitenmoser, C. Mathis, & S. Tempelmann (Hrsg.), *Natur, Mensch, Gesellschaft (NMG). Standortbestimmungen zu den sachunterrichtsdidaktischen Studiengängen der Schweiz* (S. 193–205). Schneider Verlag Hohengehren.
- Wilhelm, M., & Rinaldi, S. (2023). Pädagogische Hochschulen als Leitinstitutionen auf dem Weg zu einer Didaktik der Nachhaltigkeitswissenschaft: Fünf Thesen zu Bildung in nachhaltiger Entwicklung (BNE). Peter Tremp (Hrsg.). Nachdenken über Lehrerinnen- und Lehrerbildung. Anregungen zur Weiterentwicklung der Pädagogischen Hochschulen in der deutschsprachigen Schweiz. Aus Anlass des 20-Jahre-Jubiläums der Pädagogischen Hochschule Luzern. Luzern: Pädagogische Hochschule Luzern. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10033437>