

Nature of Science als Grundlage einer Wissenschaftsdidaktik der Naturwissenschaftsdidaktiken

Alexander Georg Büssing, Andreas Nehring & Till Bruckermann

Zusammenfassung: *Die Naturwissenschaftsdidaktiken befassen sich mit schulischem und außerschulischem Lehren und Lernen über Naturwissenschaften vom Kindes- bis zum Erwachsenenalter. Zur Grundlegung einer Wissenschaftsdidaktik der Naturwissenschaftsdidaktiken wird das etablierte Konzept der Natur der Naturwissenschaften (engl. Nature of Science) auf die Naturwissenschaftsdidaktiken bezogen. Eine solche Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken könnte die Grundlage für eine weitere Reflexion der Disziplinen mit Implikationen für die Hochschuldidaktik und die Professionalisierung sein. Beispielhaft für diese Implikationen wird das Verhältnis von wissenschaftlicher Forschungs- und Unterrichtspraxis thematisiert. Auch wenn der hier vorgeschlagene Ansatz der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken noch explorativ ist, könnten gerade die sozial-institutionellen Aspekte eine wichtige Ergänzung bestehender Ansätze einer Wissenschaftsdidaktik der Naturwissenschaftsdidaktiken darstellen.*

Schlagworte: *Fachdidaktik, Wissenschaftsreflexion, Theorie und Praxis*

1 Einleitung

Der durch eine Wissenschaftsdidaktik zu vermittelnde Gegenstandsbereich der Naturwissenschaftsdidaktiken wurde in einigen Ansätzen bereits genauer charakterisiert und in Forschungserträgen sowie Theorien und Methoden aufbereitet (Groß, Hammann, Schmiemann & Zabel, 2019; Krüger, Parchmann & Schecker, 2014, 2018). Doch beschreiben diese Zusammenstellungen eher kognitiv-epistemische Aspekte der Charakterisierung naturwissenschaftsdidak-

tischer Forschung, und damit nur einen Teil fachspezifischer Herangehensweisen, welche Grundlage einer Wissenschaftsdidaktik sein sollten.

International wurden in den letzten Jahren vermehrt sozial-institutionelle Aspekte zur Charakterisierung wissenschaftlicher Disziplinen diskutiert, welche sich in fachspezifischen Praxen und Herangehensweisen zeigen (z.B. Ansätze zur Natur der Naturwissenschaften; Erduran, Dagher & McDonald, 2019). Im vorliegenden Beitrag sollen ausgewählte kognitiv-epistemische und sozial-institutionelle Charakteristika der Naturwissenschaftsdidaktiken näher bestimmt werden, um grundlegende Rahmenbedingungen einer universitären Wissenschaftsdidaktik der Naturwissenschaftsdidaktiken bestimmen zu können. Dabei spielen gerade die vielschichtigen Verhältnisse der Naturwissenschaftsdidaktiken zu ihren Bezugsdisziplinen in den Fachwissenschaften (Winkler & Wieser, 2017) sowie der Unterrichtspraxis eine Rolle (Korthagen, 2011).

Bevor kognitiv-epistemische und sozial-institutionelle Dimensionen wissenschaftlicher Disziplinen im Rahmen zu Überlegungen der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken unterschieden werden, wird die geschichtliche und systematische Stellung der Naturwissenschaftsdidaktiken skizziert (Abschnitt 2). Dabei werden die Naturwissenschaftsdidaktiken als Zusammenstellung verschiedener naturwissenschaftlicher Fachdidaktiken verstanden. Im nächsten Teil werden Grundlagen des Konzepts der Natur der Naturwissenschaften (engl. Nature of Science) vorgestellt, die zur Fundierung einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken dienen (Abschnitt 3). Der nachfolgende Abschnitt behandelt Implikationen ebendieser für die hochschuldidaktische Praxis (Abschnitt 4), welche die Grundlage eines abschließenden Ausblicks bilden (Abschnitt 5).

2 Standortbestimmung der Naturwissenschaftsdidaktiken

2.1 Von der Abbilddidaktik zur forschenden Wissenschaftsdisziplin

Überlegungen zur didaktischen Ausgestaltung fachlicher Lehr-Lern-Prozesse haben eine lange Historie. So begannen bereits im ausgehenden Mittelalter an Bildung interessierte Forschende mit der Aufbereitung naturwissenschaftlichen Wissens und dessen systematischer Verbreitung (Bayrhuber, 2017; Kattmann, 2018). Diese frühen Ansätze naturwissenschaftsdidaktischer Überlegungen werden häufig mit dem Attribut »Abbilddidaktik« umschrie-

ben. Nach diesem Verständnis wird Fachdidaktik als rein an der Systematik der Fachwissenschaft orientierte Tätigkeit definiert, in der fachliche Inhalte ohne weitere Aufarbeitung und Weiterentwicklung als Grundlage zur Vermittlung dienen (Schröder, 2001). Im weiteren wurden unterschiedliche Forschungslinien verfolgt, wobei Didaktik (Entscheidungen über zu vermittelnde Inhalte) und Methodik (Auswahl von Methoden) zeitweise als voneinander getrennte Bereiche fachdidaktischer Betätigung beschrieben wurden, die jedoch im Grunde zusammen gedacht werden müssen (Tenorth, 2006).

Durch die Spezifikation von Wissenschaftsdisziplinen und der Professionalisierung der Bildungsforschung im deutschen Raum entwickelten sich im weiteren Verlauf eigenständige Fachdidaktiken, was sich an zugrundeliegenden epistemischen Herangehensweisen (z.B. eigene Theorien und Methoden) aber auch der Berufungspraxis an Hochschulen zeigt (Harms, 2021). Wurden historisch vor allem interessierte Forschende aus den Fachwissenschaften berufen, werden inzwischen vorwiegend in den Naturwissenschaftsdidaktiken Promovierte als wissenschaftlicher Nachwuchs rekrutiert (Kattmann, 2017). Während die Ausbildung des eigenen Nachwuchses ein Kriterium für die Eigenständigkeit einer Disziplin sein kann, weist die ehemalige personelle Verflechtung auf das enge Verhältnis der Naturwissenschaftsdidaktiken mit ihren Bezugsdisziplinen hin.

2.2 Fachliche Lehr-Lern-Prozesse als Ausgangspunkt

Seit Beginn naturwissenschaftsdidaktischer Bestrebungen stellt das jeweilige fachliche Bezugsfeld ein konstituierendes Moment fachdidaktischer Tätigkeiten dar (Schaefer, 1971). Ein solches Bezugsfach, also eine wissenschaftliche Disziplin, auf die sich das Fach bezieht, sind im Falle der Naturwissenschaftsdidaktiken im engeren Sinne die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik, denen die entsprechenden Fachdidaktiken als Naturwissenschaftsdidaktiken zugeordnet sind. Zusätzlich können naturwissenschaftliche Anteile der Didaktik des Sachunterrichts und weitere Fächer wie die Geographiedidaktik oder Didaktik der Lebensmittelwissenschaft den Naturwissenschaftsdidaktiken zugeordnet sein. Da Fachdidaktiken auf das fachliche Lernen und Lehren fokussiert sind, ergibt sich neben dem fachlichen auch ein Bezug auf die Bildungs- und Erziehungswissenschaften, aus denen fächerübergreifende Erklärungsansätze zu Lernprozessen abgeleitet werden können (Abraham & Rothgangel, 2017). Neben diesen Fächern können sich die Naturwissenschaftsdidaktiken auf Disziplinen wie die Wissenschaftstheo-

rie, Psychologie und Soziologie, Anthropologie oder jüngst die Informatik beziehen (Schecker, Parchmann & Krüger, 2014).

Ein Bezug meint dabei in den meisten Fällen, dass Denk- und Arbeitsweisen oder Paradigmen zur Beantwortung eigener Fragestellungen übernommen werden (Schecker et al., 2014). Dies bezieht sich insbesondere auf Forschungsmethoden, welche zum Großteil sozialwissenschaftlicher Forschung entlehnt sind, da die Naturwissenschaftsdidaktiken auf die Lernprozesse von Menschen bezogen sind (Döring & Bortz, 2016). Die wissenschaftliche Bearbeitung dieser fachlichen Lernprozesse bezieht sich dabei sowohl auf schulische als auch außerschulische Lernkontexte, die sich zudem vom Kindes- zum Erwachsenenalter erstrecken können.

Hieraus haben sich eine Reihe von Forschungsfeldern wie Vorstellungen von Lernenden, Interessensforschung oder naturwissenschaftsdidaktische Denk- und Arbeitsweisen herausgebildet, die von Forschenden kanonisch aufbereitet werden (Groß et al., 2019). Darüber hinaus werden weitere Themen wie die Aus- und Fortbildung von Lehrkräften (Förtsch et al., 2018; Kleickmann et al., 2014; Schiering, Sorge & Neumann, 2021) sowie neue und innovative Themen wie Citizen Science (Brandt et al., 2022; Peter, Diekötter & Kremer, 2019) oder Wissenschaftskommunikation bearbeitet (Büssing, Pril, Beniermann, Bergmann & Kremer, 2022; Elbling, Nellen & Kremer, 2021). Gerade wenn sich die Naturwissenschaftsdidaktiken diesen neuen Themen zuwenden, stellt sich die Frage, inwiefern sich hierdurch auch der Charakter des Faches ändert. Um solche Reflexionen zu ermöglichen, soll im vorliegenden Beitrag die Natur der Naturwissenschaften auf die Naturwissenschaftsdidaktiken selbst angewendet werden.

3 Überlegungen zu einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken

3.1 Beschreibungen der Charakteristika (natur-)wissenschaftlicher Disziplinen

Innerhalb der Wissenschaftsphilosophie werden unterschiedliche Ansätze verfolgt, um Charakteristika wissenschaftlicher Disziplinen zu definieren und zu vergleichen. In der Tradition des naturwissenschaftlichen Unterrichts wird dabei gerade im internationalen Diskurs das Konzept der Natur der Naturwissenschaften genutzt (Heering & Kremer, 2018). Dieses Konzept beinhaltet unterschiedliche Vorstellungen zur wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung,

soziale Aspekte ebendieser sowie die epistemische Tragweite wissenschaftlicher Aussagen (McComas, 2002). Im wissenschaftlichen Diskurs haben sich ausgehend von der Entlehnung aus der allgemeinen Wissenschaftstheorie (Eflin, Glennan & Reisch, 1999) unterschiedliche Systematisierungen der Charakteristika von Naturwissenschaften herausgebildet.

Im sogenannten »Consensus-View« werden verschiedene Vorstellungen über Wissenschaften wie ihre Vorläufigkeit oder soziale Praxis beschrieben, die von unterschiedlichen Forschenden als konsensfähig angesehen werden (z.B. Bell & Lederman, 2003). Gerade in den letzten Jahren wurde dieser Ansatz auch kritisiert (Erduran & Dagher, 2014). So können auf Konsens abzielende Systematisierungen zwar eine Orientierung bieten, die beispielsweise bei Unterrichtsplanungen zur expliziten Thematisierung der Natur der Naturwissenschaften hilfreich sein kann. Doch wenn die Charakteristika von Disziplinen analysiert werden sollen, könnten die konsensualen Kategorien als zu starre Kriterien wahrgenommen werden (Heering & Kremer, 2018). Eine alternative Systematisierung stellt der sogenannte Family Resemblance Approach (FRA) dar (Erduran et al., 2019). Dieser Ansatz benennt übergeordnete Kategorien, anhand derer die Eigenschaften wissenschaftlicher Disziplinen beschrieben werden können. Je nachdem, wie ähnlich sich Disziplinen in diesen Eigenschaften sind, bilden sich »Familien« von Disziplinen, die als Familienmitglieder Ähnlichkeiten zueinander aufweisen (Erduran & Dagher, 2014). Der FRA umfasst dabei insgesamt elf Kategorien in zwei Dimensionen zur Systematisierung dieser Eigenschaften. Wie in Tabelle 2 dargestellt, werden dabei die kognitiv-epistemische und die sozial-institutionelle Dimension unterschieden.

Tab. 1: Übersicht der Kategorien des Family Resemblance Approach (FRA; übernommen aus Erduran et al., 2019).

Kategorien	Beschreibung nach Erduran et al. (2019)
Kognitiv-epistemische Dimension	
Ziele und Werte	Wissenschaftliches Vorgehen ist durch verschiedene meist implizite Ziele und Werte begründet (z.B. Objektivität, Vorhersagbarkeit oder Überprüfbarkeit).

Wissenschaftliche Praktiken	Innerhalb der Wissenschaften finden verschiedene kognitive, epistemische und diskursive Denk- und Arbeitsweisen Anwendung (z.B. Beobachtung, Experimente oder Modellierungen).
Methoden und methodologische Regeln	Forschende agieren mittels ausgewählten methodischen Vorgehens, um reliable Evidenz zu generieren; diese Evidenz kann in disziplinspezifischen Theorien, Gesetzen und Modellen münden.
Wissenschaftliches Wissen	Theorien, Gesetze und Modelle sind verbundene Produkte wissenschaftlichen Vorgehens, um logische und konsistente Erklärungen zu liefern.

Sozial-institutionelle Dimension

Professionelle Aktivitäten	Forschende führen verschiedene Aktivitäten durch, um Erkenntnisse zu kommunizieren, wie Konferenzpräsentationen oder begutachtete Publikationen. Zudem beschäftigen sie sich mit der Begutachtung anderer Publikationen oder dem Schreiben von Anträgen.
Wissenschaftliches Ethos	Es bestehen Erwartungen über die Normen innerhalb der wissenschaftlichen Arbeit, zu denen Skeptizismus, Offenheit, Freiheit, Redlichkeit und Respekt zählen können.
Soziale Zertifikation und Verbreitung	Produkte wissenschaftlicher Arbeit werden von anderen Forschenden zum Beispiel auf Konferenzen oder in Manuskripten evaluiert – als Form sozialer Qualitätskontrolle.
Soziale Werte von Wissenschaft	Wissenschaftliches Vorgehen beinhaltet verschiedene Werte wie sozialen Nutzen oder Respekt gegenüber der Umwelt und Kollegen.
Soziale Organisationen und Interaktionen	Wissenschaft ist in verschiedenen Institutionen organisiert und durch unterschiedliche Hierarchien charakterisiert.
Politische Machtstrukturen	Wissenschaften sind in einem politischen System mit entsprechenden Rahmenbedingungen verortet.
Ökonomie der Wissenschaften	Wissenschaften sind von ökonomischen Faktoren abhängig, weshalb Forschung von anderen Organisationen beeinflusst werden kann.

In der kognitiv-epistemischen Dimension werden Ziele und Werte, wissenschaftliche Praktiken, Methoden mit methodischen Regeln sowie wissenschaftliches Wissen gefasst. Die Kategorien der sozial-institutionellen Dimension beziehen sich auf professionelle Aktivitäten, wissenschaftliches

Ethos, soziale Zertifizierung und Verbreitung, soziale Werte von Wissenschaft, soziale Organisationen und Interaktionen, politische Machtstrukturen sowie die Ökonomie der Wissenschaften. Diese Kategorien können genutzt werden, um Ähnlichkeiten oder Unterschiede zwischen wissenschaftlichen Disziplinen zu beschreiben (Erduran et al., 2019). Im vorliegenden Beitrag sollen diese Kategorien auf die Naturwissenschaftsdidaktiken selbst bezogen werden, um deren Eigenschaften vor allem in Hinsicht auf bisher wenig beachtete sozial-institutionelle Aspekte zu explorieren.

3.2 Exploration einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken

Auch wenn Forschende das Konzept der Natur der Naturwissenschaften vielfach angewendet haben, um allgemeine Charakteristika der Naturwissenschaften zu reflektieren (Cheung & Erduran, 2022), wurde diese Konzeption bisher nicht zur Reflexion der eigenen Disziplin genutzt. Doch könnte ein solcher Blick sinnvoll sein, um gerade die sozial-institutionellen Aspekte expliziter Überlegung zugänglich zu machen. Aus diesem Grund stellt Tabelle 2 die Exploration beispielhafter Bezüge einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken dar. Diese orientieren sich an neueren Arbeiten zur Natur der Naturwissenschaften (Reinisch & Fricke, 2022). Dabei wurden jedoch einige Kategorien in der Tabelle konzeptuell erweitert, um der Komplexität der Naturwissenschaftsdidaktiken zu entsprechen.¹

Tab. 2: *Beispielhafte Bezüge zu den Kategorien des Family Resemblance Approach (FRA) für eine Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken orientiert an Reinisch & Fricke (2022).*

Kategorien	Beispielhafte Bezüge zur Naturwissenschaftsdidaktiken
Kognitiv-epistemische Dimension	
Ziele und Werte	Naturwissenschaftsdidaktiken streben Objektivität an, sind überprüfbar, stellen sich Kritik und empirischer Adäquatheit.

1 Wir bedanken uns recht herzlich bei Dr. Bianca Reinisch und Kristina Fricke (beide Freie Universität Berlin) für die kritisch-konstruktiven Kommentare zur Übersetzung der Kategorien und am Manuskript.

Wissenschaftliche Praktiken	Forschende nutzen vielfältige qualitative (z.B. Interviews) und quantitative Verfahren (z.B. Fragebögen) oder gemischte Arbeitsweisen zur Datenerhebung und -auswertung (z.B. qualitative Inhaltsanalyse oder Statistik).
Methoden und methodologische Regeln	Je nach Ansatz sind Regeln in der Stichprobengenerierung (speziell ausgewähltes Sampling oder Zufallsstichproben) und -ausgestaltung (Größe und / oder Kontrollgruppen) zu befolgen.
Wissenschaftliches Wissen	Ausgehend von Daten testen Forschende Hypothesen, aus denen sich Theorien und Modelle unterschiedlicher Tragweite (aber meist keine Gesetze) ergeben können. Ein besonderer Bezug zur Unterrichtspraxis mit Theorie als Mittler ist möglich.

Sozial-institutionelle Dimension

Professionelle Aktivitäten	Forschende veröffentlichen ihre Ergebnisse, bewerten die Forschungsarbeiten anderer, unternehmen Forschungs- und Kongressreisen, erhalten und vergeben Preise, bilden Lehrkräfte aus, gestalten Fortbildungen und engagieren sich für die Weiterentwicklung des Fachunterrichts.
Wissenschaftliches Ethos	Forschende befolgen ethische Maßstäbe der Forschung wie Respekt für und Schutz von Beforschten, gehen vertraulich mit Daten um, setzen sich für die eigene Disziplin ein und handeln innerhalb rechtlicher Vorgaben.
Soziale Zertifikation und Verbreitung	Naturwissenschaftsdidaktische Erkenntnisse werden sowohl von anderen Forschenden aber auch von der Praxis eingeschätzt.
Soziale Werte von Wissenschaft	Erkenntnisse der Naturwissenschaftsdidaktiken nutzen der Gestaltung fachlicher Lehr-Lern-Anlässe und der Aus-, Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften.
Soziale Organisationen und Interaktionen	Forschende arbeiten an universitären und außeruniversitären Standorten, wobei sich unterschiedliche Schwerpunkte ergeben und in gemeinsame Arbeit an standortübergreifenden Theorien münden können. Forschende sind zudem Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Institutionen unterworfen (wie Befristungen an Universitäten oder Unterrichtsverpflichtungen an Schulen).
Politische Machtstrukturen	Forschende werden durch Machtstrukturen der eigenen Community, der Politik und der Gesellschaft eingegrenzt. Dies kann sich auch auf die Ausbildung von Autoritäten innerhalb der Disziplinen auswirken.

Ökonomie der
Wissenschaften

Naturwissenschaftsdidaktische Erkenntnisse werden in der
Lehrpraxis angewendet und durch Vorgaben der
(grundständigen) Forschungsförderung wie Drittmittelgeber
beeinflusst.

Für die epistemisch-kognitiven Dimension könnten sich in Bezug auf die erste Kategorie (1) Ziele und Werte naturwissenschaftsdidaktischer Forschung auf die Objektivität und empirische Überprüfbarkeit von Erkenntnissen über fachbezogene Lernprozesse beziehen. Diese Sichtweise würde der Tradition der empirischen Bildungsforschung entsprechen, bei der aus empirischer Evidenz begründetes Handeln für die Unterrichtspraxis abgeleitet werden soll (Bromme, Prenzel & Jäger, 2014). Die Tragweite der Anwendbarkeit dieser Forschungsergebnisse wird jedoch gerade vor dem Hintergrund unterschiedlicher Regelmäßigkeiten in Forschung und Praxis auch kritisch reflektiert (Caruso, Harteis & Gröschner, 2021). So könnten sich im konstruktiven Spannungsverhältnis von Forschung und Unterrichtspraxis inkohärente Evidenzen ergeben, zum Beispiel wenn empirisch untersuchte Ergebnisse nicht auf konkrete Unterrichtskontexte übertragen werden können. Um solche Widersprüche aufzulösen, könnten weitere Bestrebungen in der Zusammenfassung unterschiedlicher Ergebnisse unternommen werden. Dabei sollten unterschiedliche Erfahrungsqualitäten in Metaanalysen und Überblicksstudien überführt werden, um übergeordnete Wissensbestände zu bilden (Wilkes & Stark, 2022). Dabei könnten innerhalb der Forschungspraxis grundlegend andere Ziele wie theoretische Adäquatheit verfolgt werden, als dies für die Unterrichtspraxis zu erwarten ist, bei dem die Anwendbarkeit wichtiger sein dürfte. Dies ist auch ein Problem, da Überblicksstudien noch weiter von den individuellen Lernprozessen wegführen könnten. Um theoretische Adäquatheit zu erreichen, werden unterschiedliche wissenschaftliche Praktiken genutzt, welche der Herstellung verallgemeinerbarer Aussagen dienen können.

Diese (2) wissenschaftlichen Praktiken orientieren sich in den Naturwissenschaftsdidaktiken an sozialwissenschaftlichen Forschungsmethoden und beziehen sich auf unterschiedliche qualitative und quantitative Verfahren der Datenerhebung und -auswertung. Methoden aus den Bereichen des maschinellen Lernens stellen eine aktuellere Erweiterung des Repertoires dar (Zhai, Haudek, Shi, Nehm & Urban-Lurain, 2020). Für die Ausbildung in Studium

und Promotion bestehen bereits unterschiedliche Überblickswerke, welche die Vielfalt möglicher Forschungsmethoden beschreiben (z.B. Krüger et al., 2014). Hieraus ergeben sich für die Naturwissenschaftsdidaktiken typische Forschungsthemen, wie die Beschreibung fachbezogener Vorstellungen von Lernenden (Hammann & Asshoff, 2019; Schrenk et al., 2019).

Entsprechend dieser Orientierung an den Sozialwissenschaften sind auch die (3) Methoden und die methodologischen Regeln zum Großteil an sozialwissenschaftlichen Kriterien orientiert. So werden in der Literatur und in verschiedenen Handbüchern einige Richtlinien für die Generierung und Ausgestaltung von Stichproben oder dem Studiendesign genannt (Döring & Bortz, 2016). Dabei ist es jedoch möglich, dass naturwissenschaftsdidaktische Forschung in der Unterrichtspraxis Kompromisse zur internen und externen Validität eingehen muss, gerade wenn keine experimentellen Studien mit zufälliger Zuordnung möglich sind. Dies betrifft beispielsweise quasi-experimentelle Studien, deren Aussagekraft in allgemeiner sozialwissenschaftlicher Forschung eher gering eingeschätzt wird, die jedoch aufgrund der ökologischen Validität Hinweise auf fachbezogene Lernprozesse liefern können (Gopalan, Rosinger & Ahn, 2020).

Bezüglich der letzten kognitiv-epistemischen Kategorie des (4) wissenschaftlichen Wissens könnten Forschende der Naturwissenschaftsdidaktiken bestimmte Hypothesen testen oder diese im Rahmen explorativer Studien aufstellen. Hieraus können sich dann wiederum Theorien bilden, welche nach Schecker et al. (2018, S. 4) in den Naturwissenschaftsdidaktiken unterschiedlich entweder als empirisch überprüfbares oder bewährtes Gefüge von Aussagen über Wirkungszusammenhänge, als Begriffsnetz für die systematische Beschreibung von empirischen Befunden, Leitlinien eines Forschungsprozesses oder als deskriptive Zusammenfassungen zu einem Forschungsthema verstanden werden. Eine wichtige Rolle bei der naturwissenschaftsdidaktischen Theoriebildung stellt zudem der Bezug zur Unterrichtspraxis dar, wobei gerade in der Entwicklungsforschung Theorien eine Mittlerstellung zwischen Forschung, Entwicklung und Unterrichtspraxis einnehmen sollen (Prediger, 2015).

In der sozial-institutionellen Dimensionen ähneln gerade die (5) professionellen Aktivitäten denen von Forschenden anderer Disziplinen, wobei das Veröffentlichen und Bewerten von Forschungsergebnissen einen festen Platz einnimmt (Wentorf, Höffler & Parchmann, 2015). Im Gegensatz zu anderen Professionen dürften in den Naturwissenschaftsdidaktiken jedoch einige weitere praxisbezogene Tätigkeiten wie die Aus- und Fortbildung von Lehrkräften

sowie die Weiterentwicklung des Fachunterrichts wichtige Aktivitäten darstellen. Es stellt sich daher die Frage in welchem Verhältnis unterschiedliche Publikationsformate wie begutachtete Publikationen und eher praxisorientierte Formate stehen – was sich auch auf die Weiterentwicklung der Naturwissenschaftsdidaktiken auswirken dürfte (Harms, 2021).

Bezüglich des (6) wissenschaftlichen Ethos bestehen einige Bezüge zu allgemeinen und speziellen ethischen Richtlinien. Fachdidaktische Forschung bezieht sich meist auf schulisches Lernen in öffentlichen Institutionen wie allgemeinbildenden Schulen. Hierdurch ergibt sich ein besonderer Anspruch an Datenschutz und Ethik, der gerade durch aktuelle Entwicklungen der künstlichen Intelligenz herausgefordert werden könnte, wenn umfangreiche Daten von Lernenden auswertbar gespeichert werden. Ethische Standards gelten ebenfalls für den Umgang mit Lernenden, die respektvoll behandelt werden sollten.

Zur (7) sozialen Zertifizierung und Verbreitung spielt insbesondere die Einschätzung von naturwissenschaftsdidaktischen Erkenntnissen von Forschenden und der Unterrichtspraxis eine große Rolle (Eilks, 2018). So werden in unterschiedlichen Zeitschriften sowohl Fachbeiträge und unterrichtspraktische Artikel publiziert. Während in Fachzeitschriften explizite Möglichkeiten zur Rückmeldung und dem Gate-Keeping im Rahmen des Begutachtungsverfahrens bestehen, sind diese Aspekte bei unterrichtspraktischen Artikeln meist über Herausgeberschaften geregelt.

Die Kategorie der (8) sozialen Werte von Wissenschaft bezieht sich auf Werte wie die Nützlichkeit naturwissenschaftsdidaktischer Erkenntnisse, welche stärker auf gesellschaftliche Ziele bezogen sind als kognitiv-epistemische Ziele und Werte. Dabei könnte die Gestaltung fachlicher Lehr- und Lernanlässe einen zentralen gesellschaftlichen Nutzen der Naturwissenschaftsdidaktiken darstellen. Hiermit hängen darüber hinaus weitere Aspekte wie die Ausbildung von Lehrkräften zusammen.

Diese Aufgaben wirken sich auf die (9) sozialen Organisationen und Interaktionen aus. In den Naturwissenschaftsdidaktiken agieren dabei universitäre und außeruniversitäre Einrichtungen, bei denen unterschiedliche Aufgaben verortet sind. Während Universitäten häufig in der ersten Phase der Ausbildung und an Theoriebildung beteiligt sind, sind gerade in der zweiten Phase weitere Institutionen wie Studienseminare involviert. Zwischen diesen Akteuren können sich gerade bei persönlicher Bekanntschaft vielfache produktive Zusammenarbeiten ergeben, die in einigen Bundesländern über Praxisseminare explizit gefördert werden. Diese soziale Organisation kann sich

auch auf die betroffenen Personen auswirken, zum Beispiel, wenn die Verträge universitärer Mitarbeitender Befristungen unterliegen oder Unterrichtsverpflichtungen für Lehrkräfte bestehen. Eine Sonderrolle können spezielle außeruniversitäre Forschungseinrichtungen einnehmen, die sich in der Vergangenheit immer wieder prägend auf die Forschungslandschaft ausgewirkt haben (Tenorth, 2006).

Ausgehend von der sozialen Organisation ergeben sich (10) politische Machtstrukturen, wobei sich politische Systeme auf Inhalte auswirken könnten, wenn bestimmte Themen oder Ansätze stärkerer oder ausbleibender Förderung unterliegen. Hierzu zählt weiterhin die je nach Land notwendige rechtliche Absicherung bei Landesschulbehörden für die Beforschung von Schülerinnen und Schülern. Neben solchen äußeren politischen Machtstrukturen kann sich diese Kategorie zudem auf disziplininterne Machtstrukturen beziehen, wobei sich innerhalb bestimmter Fachgemeinschaften Autoritäten herausbilden können, die prägend auf Themen oder Forschungsansätze wirken. Beide Prozesse können gerade in der Sozialisation den wissenschaftlichen Nachwuchs und damit die Disziplin mitbestimmen.

Politische Machtprozesse hängen ebenfalls mit der (11) Ökonomie der Wissenschaft zusammen. Wie alle anderen Disziplinen müssen sich auch die Naturwissenschaftsdidaktiken im Wettbewerb um wissenschaftliche Fördermittel behaupten, was sich durch Vorgaben der Drittmittelgeber bezüglich der Förderthemen unter anderem auf die Inhalte und die Entwicklung der Naturwissenschaftsdidaktiken auswirken kann. Dies betrifft neben der Forschungsförderung ebenso die grundlegende Ausstattung der Hochschulen für Lehre und Forschung (Harms, 2021). Bevor die möglichen Schlussfolgerungen für eine Wissenschaftsdidaktik der Naturwissenschaftsdidaktiken diskutiert werden, wird die Tragweite und Übertragbarkeit der hier vorgestellten Dimensionen reflektiert.

3.3 Verknüpfungen der Kategorien und Reflexion zur Übertragbarkeit

Auch wenn Überlegungen der Übertragung der Natur der Naturwissenschaften für andere Disziplinen wie die Ingenieurwissenschaften bereits vorliegen (Barak, Ginzburg & Erduran, 2022), müssen die Vorläufigkeit und der explorative Charakter der Übertragung auf die Naturwissenschaftsdidaktiken festgehalten werden. Wie in den Beschreibungen verdeutlicht, gibt es zudem große Überschneidungen zwischen den Kategorien. Dies wurde bereits in Bezug auf die erste Konzeption der Natur der Naturwissenschaften diskutiert, bei der

gerade zwischen den Kategorien der jeweiligen Dimensionen vielfältige Zusammenhänge zu erwarten sind (Erduran et al., 2019).

Neben dieser Frage der Trennschärfe zwischen den Kategorien muss die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Fachdidaktiken diskutiert werden. So gibt es bestimmte Aspekte wie die Verschränkung von Theorie und Unterrichtspraxis, die ebenfalls auf andere natur- und geisteswissenschaftliche Fachdidaktiken zutreffen (Prediger, 2015). Gerade in der kognitiv-epistemischen Dimension weisen die Naturwissenschaftsdidaktiken große Ähnlichkeiten mit anderen sozialwissenschaftlichen Disziplinen auf. Doch sind die Naturwissenschaftsdidaktiken insgesamt eine noch sehr junge Disziplinen und unterliegen einem entsprechenden Wandel (Tenorth, 2006). Dieser wird auch durch die Beteiligung an bestimmten (wissenschafts-)politischen Programmen wie der empirischen Bildungsforschung geprägt (Harms, 2021). Hierfür könnten die ausgewiesenen Kategorien eine Systematisierung anbieten, in der historische Entwicklungen eingeordnet werden könnten.

Eine weitere Frage der Generalisierbarkeit bezieht sich auf den nationalen Kontext. So stellt die Aufteilung in eigene Bereichsdidaktiken für Fächer wie Biologie, Chemie und Physik ein deutsches Phänomen dar – gerade im anglo-amerikanischen Raum sind die Naturwissenschaftsdidaktiken institutionell häufig als »Science Education« verortet. In Deutschland ist die Fächerstruktur stärker ausgeprägt, was zur Identitätsbildung beitragen dürfte und im Rahmen der weitergehenden Untersuchung der Kategorie soziale Organisationen und Interaktionen international komparativ untersucht werden könnte. Zuletzt könnten sich die hierdurch entstehenden Identitäten auf Vorstellungen zur Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken auswirken, zum Beispiel wenn verschiedene Fachdidaktiken Ziele und Werte wie Praxisnähe unterschiedlich bewerten. Gerade hieraus ergeben sich Implikationen einer Wissenschaftsdidaktik, die per Definition auf eine standardisierte Ausbildung wissenschaftlicher Kompetenzen ausgerichtet ist.

4 Implikationen für die Grundlegung einer Wissenschaftsdidaktik

4.1 Wissenschaftliche Ausbildung in den Naturwissenschaftsdidaktiken

Eine grundlegende Wissenschaftsdidaktik muss sowohl Ziele als auch Methoden beschreiben, die für eine bestimmte Disziplin als konsensfähig angesehen

hen werden können. Zwar bestehen für die meisten kognitiv-epistemischen Kategorien bereits Zusammenstellungen (Groß et al., 2019; Krüger et al., 2014, 2018), bei diesen fanden die sozial-institutionellen Aspekte bisher jedoch eher wenig Beachtung. Zwar stellt sich hierbei die Frage, inwiefern diese professionalisiert werden können und sollten, jedoch bietet sich eine Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken als Reflexionsmöglichkeit an, bisher implizite Prozesse dem expliziten Nachdenken zugänglich zu machen. Dies betrifft neben den professionellen Aktivitäten insbesondere die Fragen der sozialen Zertifikation und Verbreitung oder nach den sozialen Werten von Wissenschaft. Aus diesen Überlegungen könnte sich für diese Kategorien eine Art Kanon ergeben, der sich langfristig in der Ausbildung niederschlagen könnte.

Neben der Festlegung von normativen Zielen geht es auch um die konkrete methodische Umsetzung in der Lehre. Ähnlich wie zur Förderung des allgemeinen Wissenschaftsverständnisses von Lernenden könnten sich dabei diskussionsbasierte und narrative Ansätze anbieten (Dittmer & Zabel, 2019). Am Standort der Autoren (Leibniz Universität Hannover) wird das Ziel verfolgt, Studierenden möglichst praktische Erfahrungen mit eigenen Forschungsprozessen im Rahmen von Modulen der Forschungsmethodik oder Abschlussarbeiten zu ermöglichen (Hundertmark, Heuckmann & Heeg, 2019). Dieser Ansatz kann in der Tradition des forschenden Lernens verortet werden, da Lernende hier an ihrer akademischen Forschungskompetenz arbeiten, wobei sich das Vorgehen und die Forschungsfragen an der Disziplin orientieren (Büssing, Gehrs, Mochalski, Nakamura & Treichel, 2016). Je nach Öffnungsgrad (der vom Kompetenzstand der Lernenden abhängt), könnten in diesem Prozess sozial-institutionelle Aspekte explizit thematisiert werden. So könnten Forschende mit Studierenden über die sozialen Werte der eigenen Ergebnisse oder deren Verbreitung diskutieren.

Da gerade für die universitäre Lehre aktuell noch wenige systematische Unterstützungen in den Naturwissenschaftsdidaktiken bestehen, könnte für die Weiterentwicklung der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken die Kategorisierung curricularer Dokumente (z.B. Modulhandbücher oder Vorgaben zur Lehrkräftebildung) sinnvoll sein. Hierdurch würde der bisher oft implizite Blick auf die eigene Disziplin sichtbar und der Reflexion zugänglich gemacht. Zudem könnte ebenfalls die Diversität naturwissenschaftsdidaktischer Ansätze klarer hervortreten.

Auch wenn bestimmte Entwicklungen, wie die Ausrichtung auf Drittmittel und Forschungsprogramme sowie die empirische Bildungsforschung, zur Professionalisierung beigetragen haben dürften (Harms, 2021; Tenorth, 2006),

kann die Heterogenität als eine Stärke verstanden werden. So sind Wissenschaften unterschiedlichen machtpolitischen und ökonomischen Prinzipien unterworfen. Besitzt ein Feld eine größere Heterogenität, könnte dies dafür sorgen, dass Forschende das Aufkommen neuer Themen besser antizipieren können und damit ein kumulativer Wissensaufbau effizienter erfolgen kann. Gerade hierfür könnte die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken sinnvoll sein, um die Heterogenität in unterschiedlichen Kategorien abbilden zu können und »Familien« innerhalb der Disziplinen zu identifizieren. Eine solche Reflexion könnte zuletzt zur Festlegung von Zielen für die Weiterentwicklung der Naturwissenschaftsdidaktiken hilfreich sein. Einer dieser Bereiche könnte das Spannungsverhältnis von Forschungs- und Unterrichtspraxis sein.

4.2 Reflexion von Forschungs- und Unterrichtspraxis

Die beschriebenen Kategorien berühren auf unterschiedliche Weise die Verzahnung von Theorie und Praxis, welche als ein grundlegendes Spannungsfeld der Naturwissenschaftsdidaktiken angesehen werden kann (Eschenhagen, 1980). Während dieses Problem gerade vor dem Hintergrund aktueller Diskussionen um die Rolle evidenzbasierter Unterrichtspraxis reflektiert wird (Bromme et al., 2014; Wilkes & Stark, 2022), könnten einzelne Kategorien aus beiden Dimensionen der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken diesem Diskurs neue Impulse geben.

In Bezug auf die kognitiv-epistemischen Dimensionen könnte sich dies auf die Ziele und Werte beziehen. Wenn Forschende von einer direkten Übertragbarkeit ihrer Ergebnisse in die Unterrichtspraxis ausgehen, dürfte dies ein naives Verständnis evidenzbasierter Praxis sein, wie neuere Literatur zeigt (Wilkes & Stark, 2022). Gerade hier spielt die Beachtung von Erfahrungswissen aus der Praxis eine zentrale Rolle für gelingenden Transfer, bei dem sich Theorien auf Praxis und Forschung beziehen (Prediger, 2015). Im Verständnis der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken müssten sich die Ziele sowie die dazugehörigen wissenschaftlichen Praktiken und Methoden erweitern, zum Beispiel um ko-konstruktiven Wissenstransfer zu ermöglichen.

Bei der Frage nach Forschungs- und Unterrichtspraxis könnten insbesondere die Kategorien der sozialen Zertifikation und Verbreitung sowie der sozialen Organisationen und Interaktionen erhellend sein. Während Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Domänen als ein zentraler Aspekt für den Austausch zwischen Theorie und Praxis angesehen werden kann (Hammann, 2016), haben sich in den letzten Jahren gerade in Bezug auf den

ko-konstruktiven Austausch von Wissen mit digitalen Medien neue Möglichkeiten ergeben. Dabei stellt die Beachtung des Praxiswissens eine zentrale Voraussetzung dar, um einen ko-konstruktiven Wissenstransfer einleiten zu können (Tillmann, 2019). Hierbei könnten neue Möglichkeiten exploriert werden, um die Verbreitung naturwissenschaftsdidaktischer Erkenntnisse zu verbessern oder dem erwarteten Nutzen von Lehrkräften eher zu entsprechen, um Erfahrungs- und Theoriewissen sinnvoll zu ergänzen (Prediger, 2015). In Bezug auf die sozialen Organisationen könnten zudem neue Formate der Lehre in Zusammenarbeit von Universität und Schulen, wie gemeinsame Praktika (Allen & Wright, 2014) oder Lehr-Lern-Labore eine Rolle spielen (Röllke, Bush & Grotjohann, 2021). Hier beteiligen sich außeruniversitäre Institutionen wie der Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts (MNU) oder der Arbeitskreis Schulbiologie des Verbandes Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland (VBIO).

5 Fazit und Ausblick

Der vorliegende Beitrag exploriert ausgehend von der Adaptation des Konzeptes der Natur der Naturwissenschaften Rahmenbedingungen einer Wissenschaftsdidaktik der Naturwissenschaftsdidaktiken. Während das Konzept zur Reflexion von Charakteristika der Naturwissenschaften bereits etabliert ist (Erduran et al., 2019), muss die hier vorgeschlagene Übertragung der Kategorien zur Charakterisierung der Naturwissenschaftsdidaktiken noch als explorativ bezeichnet werden. Eine weitere Ausgestaltung der einzelnen Kategorien könnte bei der Klärung helfen, ob sich elaborierte und naivere Vorstellungen von Studierenden hinsichtlich einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken unterscheiden lassen. Das diese Unterscheidung zwischen elaborierten und naiveren Vorstellungen zur Natur der Naturwissenschaften weit verbreitet ist (Heering & Kremer, 2018), legt nahe, dass bestimmte Vorstellungen normativ als erwünscht angesehen werden. Zu diesem frühen Zeitpunkt in der Entwicklung einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken könnte eine solche Einordnung allerdings den Blick einschränken, weshalb die Kategorien aktuell die Heterogenität eher reflektieren als normieren sollten.

So können die Kategorien ein Reflexionsobjekt für die persönliche Qualifikation in den Naturwissenschaftsdidaktiken darstellen. Die Kategorien beschreiben zwar noch kein umfassendes Curriculum, können aber als Reflexionskriterien für die Weiterentwicklung der universitären Ausbildung dienen.

Dies gilt zudem für die Weiterentwicklung der Naturwissenschaftsdidaktiken, was im vorliegenden Beitrag vor allem in Bezug auf das Spannungsverhältnis von Theorie und Praxis beschrieben wurde. Interessant wäre ebenso über weitere Handlungsfelder der Naturwissenschaftsdidaktiken, wie die Politik oder Schulbuchverlage, zu reflektieren. Diese könnten ebenfalls bestimmte Erwartungen auf die Naturwissenschaftsdidaktiken projizieren und damit zu deren Entwicklung beitragen. Hier sind möglicherweise auch Vorstellungen von Forschenden aus anderen Fachgebieten interessant, die über Berufungskommissionen bestimmten Aspekten wie der Praxisnähe größeres oder kleineres Gewicht verleihen könnten. Unklar ist aber, inwiefern die hier beschriebenen Kategorien für die Forschung und Lehre gleichermaßen Geltung beanspruchen können oder getrennt betrachtet werden müssen.²

Gerade vor dem Hintergrund der steten Veränderung der Lehrkräftebildung erscheint ein reflektiertes Verständnis der Naturwissenschaftsdidaktiken wichtiger als je zuvor (Kremer, 2022). Bei diesen Diskussionen kann die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken zur Konkretisierung und Reflexion von Zielsetzungen beitragen. Zwar stehen diese Überlegungen noch am Anfang, sie sollten jedoch im Rahmen genereller Bestrebungen wie der Meta-Wissenschaft weiter verfolgt werden (Fortunato et al., 2018; Ioannidis, Fanelli, Dunne & Goodman, 2015). Dieser Beitrag will zur Diskussion dieser Zielsetzungen anregen und den Weg für die weitere Verknüpfung der Handlungsfelder einer Wissenschaftsdidaktik der Naturwissenschaftsdidaktiken ebnen.

Literatur

- Abraham, U. & Rothgangel, M. (2017). Fachdidaktik im Spannungsfeld von »Bildungswissenschaft« und »Fachwissenschaft.« In H. Bayrhuber, U. Abraham, V. Frederking, W. Jank, M. Rothgangel & H.J. Vollmer (Hrsg.), *Auf dem Weg zu einer Allgemeinen Fachdidaktik* (S. 15–21). Münster: Waxmann.
- Allen, J.M. & Wright, S.E. (2014). Integrating theory and practice in the pre-service teacher education practicum. *Teachers and Teaching*, 20(2), 136–151. <https://doi.org/10.1080/13540602.2013.848568>

2 Dies könnte auch die genauere Unterscheidung von Begrifflichkeiten wie »Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken« oder »Natur der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung« implizieren. Aufgrund der Einheit von Forschung und Lehre könnte eine solche Unterscheidung jedoch auch fragwürdig sein.

- Barak, M., Ginzburg, T. & Erduran, S. (2022). Nature of engineering: A cognitive and epistemic account with implications for engineering education. *Science and Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00402-7>
- Bayrhuber, H. (2017). Biologie und Biologiedidaktik. In H. Bayrhuber, U. Abraham, V. Frederking, W. Jank, M. Rothgangel & H.J. Vollmer (Hrsg.), *Auf dem Weg zu einer Allgemeinen Fachdidaktik* (S. 31–52). Münster: Waxmann.
- Bell, R.L. & Lederman, N.G. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education*, 87(3), 352–377.
- Brandt, M., Groom, Q., Magro, A., Misevic, D., Narraway, C.L., Bruckermann, T., ... Jenkins, T. (2022). Promoting scientific literacy in evolution through citizen science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 289(1980). <https://doi.org/10.1098/rspb.2022.1077>
- Bromme, R., Prenzel, M. & Jäger, M. (2014). Empirische Bildungsforschung und evidenzbasierte Bildungspolitik: Eine Analyse von Anforderungen an die Darstellung, Interpretation und Rezeption empirischer Befunde. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 17, 3–54. <https://doi.org/10.1007/s11618-014-0514-5>
- Büssing, A.G., Gehrs, V., Mochalski, A., Nakamura, Y. & Treichel, B. (2016). Profile Forschenden Lernens – Das Osnabrücker Konzept als ein Beispiel aus Niedersachsen. In R. Schüssler, A. Schöning, V. Schwier, S. Schicht, J. Gold & U. Weyland (Hrsg.), *Forschendes Lernen im Praxissemester – Zugänge, Konzepte, Erfahrungen* (S. 111–118). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Büssing, A.G., Pril, S., Beniermann, A., Bergmann, A. & Kremer, K. (2022). Inhaltlicher Diskurs oder Shitstorm? Analyse fachlicher Bezüge in Kommentaren eines YouTube-Videos zum Klimawandel. In A. Bush & J. Birke (Hrsg.), *Nachhaltigkeit und Social Media: Bildung für eine nachhaltige Entwicklung in der digitalen Welt* (S. 87–114). Berlin: VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-658-35660-6_5
- Caruso, C., Harteis, C. & Gröschner, A. (2021). *Theorie und Praxis in der Lehrerbildung: Verhältnisbestimmungen aus der Perspektive von Fachdidaktiken*. Wiesbaden: Springer VS.
- Cheung, K.K.C. & Erduran, S. (2022). A systematic review of research on family resemblance approach to nature of science in science education. *Science & Education*, (Online First Article). <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00379-3>
- Dittmer, A. & Zabel, J. (2019). Das Wesen der Biologie verstehen: Impulse für den wissenschaftspropädeutischen Biologieunterricht. In J. Groß, M.

- Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 93–110). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_6
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. A.). Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Eflin, J.T., Glennan, S. & Reisch, G. (1999). The nature of science: A perspective from the philosophy of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 107–116. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199901\)36:1<107::AID-TEA7>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199901)36:1<107::AID-TEA7>3.0.CO;2-3)
- Eilks, I. (2018). On the role of publications in science education and the question of their impact and evaluation. *Action Research and Innovation in Science Education*, 1(2), 19–22. <https://doi.org/10.51724/arise.11>
- Elbling, K., Nellen, W. & Kremer, K. (2021). Was Lehrkräfteausbildung mit Wissenschaftskommunikation zu tun hat. *Biologie in unserer Zeit*, 51(4), 316–319. <https://doi.org/10.11576/biuz-4869>
- Erduran, S. & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education*. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4>
- Erduran, S., Dagher, Z. R. & McDonald, C.V. (2019). Contributions of the family resemblance approach to nature of science in science education. *Science & Education*, 28(3–5), 311–328. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00052-2>
- Eschenhagen, D. (1980). Biologielehrer zwischen praxisferner Theorie und theorieferner Praxis. *Unterricht Biologie*, 4(48), 55–64.
- Förtsch, C. et al. (2018). Systematizing professional knowledge of medical doctors and teachers: Development of an interdisciplinary framework in the context of diagnostic competences. *Education Sciences*, 8(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/educsci8040207>
- Fortunato, S. et al. (2018). Science of science. *Science*, 359(6379). <https://doi.org/10.1126/science.aa00185>
- Gopalan, M., Rosinger, K. & Ahn, J. B. (2020). Use of quasi-experimental research designs in education research: growth, promise, and challenges. *Review of Research in Education*, 44(1), 218–243. <https://doi.org/10.3102/0091732X200903302>
- Groß, J., Hammann, M., Schmiemann, P. & Zabel, J. (Hrsg.) (2019). *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9>

- Hammann, M. (2016). *Research reforming practice: Überlegungen zur Weiterentwicklung des Biologieunterrichts*. In Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.), *Bildungsforschung 2020. Zwischen wissenschaftlicher Exzellenz und gesellschaftlicher Verantwortung* (S. 425–428).
- Hammann, M. & Asshoff, R. (2019). *Schülervorstellungen im Biologieunterricht*. Seelze: Friedrich-Verlag.
- Harms, U. (2021). Bedeutung und Aufgaben einer universitären Didaktik der Biologie – Wo stehen wir und wo soll es hingehen? In M. Meier, C. Wulff & K. Ziepprecht (Hrsg.), *Vielfältige Wege biologiedidaktischer Forschung* (S. 247–257). Münster: Waxmann.
- Heering, P. & Kremer, K. (2018). Nature of Science. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 105–119). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_7
- Hundertmark, S., Heuckmann, B. & Heeg, J. (2019). Einführung in Grundlagen der Forschungsmethodik in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehrkräftebildung. In M. Kubsch, S. Sorge, J. Arnold & N. Graulich (Hrsg.), *Lehrkräftebildung neu gedacht – Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken* (S. 19–28). Münster: Waxmann.
- Ioannidis, J.P.A., Fanelli, D., Dunne, D.D. & Goodman, S.N. (2015). Meta-research: Evaluation and improvement of research methods and practices. *PLoS Biology*, 13(10), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002264>
- Kattmann, U. (2017). *Das Feigenblatt und die Geschlechtlichkeit des Lebendigen*. Nordstedt: Books on Demand GmbH.
- Kattmann, U. (2018). Geschichte des Biologieunterrichts. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (S. 125–141). Seelze: Aulis Verlag.
- Kleickmann, T. et al. (2014). Professionswissen von Lehramtsstudierenden der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer – Testentwicklung im Rahmen des Projekts KiL. *Unterrichtswissenschaft*, 42(3), 280–288.
- Korthagen, F.A.J. (2011). Making teacher education relevant for practice: The pedagogy of realistic teacher education. *ORBIS SCHOLAE*, 5(2), 31–50. <https://doi.org/10.14712/23363177.2018.99>
- Kremer, K. (2022). Lehrkräfteausbildung gemeinsam stärken! *Biologie in unserer Zeit*, 52(2), 102–103. <https://doi.org/https://doi.org/10.11576/biuz-5432>
- Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.) (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0>

- Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.) (2018). *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5>
- McComas, W.F. (2002). *The nature of science in science education* (W. McComas, ed.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. <https://doi.org/10.1007/0-306-47215-5>
- Peter, M., Diekötter, T. & Kremer, K. (2019). Participant outcomes of biodiversity citizen science projects: A systematic literature review. *Sustainability*, 11(10), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su11102780>
- Prediger, S. (2015). Theorien und Theoriebildung in didaktischer Forschung und Entwicklung. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 643–662). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35119-8_24
- Reinisch, B. & Fricke, K. (2022). Broadening a nature of science conceptualization: Using school biology textbooks to differentiate the family resemblance approach. *Science Education*, 106(6), 1375–1407. <https://doi.org/10.1002/sce.21729>
- Röllke, K., Bush, A. & Grotjohann, N. (2021). Biologiedidaktische Professionalisierung von Lehrkräften. In C. Caruso, C. Harteis & A. Gröschner (Hrsg.), *Theorie und Praxis in der Lehrerbildung: Verhältnisbestimmungen aus der Perspektive von Fachdidaktiken* (S. 257–274). Berlin: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-32568-8_15
- Schaefer, G. (1971). Fach – Didaktik – Fachdidaktik. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 24(7), 390–396.
- Schecker, H., Parchmann, I. & Krüger, D. (2014). Formate und Methoden naturwissenschaftsdidaktischer Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 1–15). Berlin: Springer Spektrum.
- 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). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_1
- Schiering, D., Sorge, S. & Neumann, K. (2021). The more, the better? The influence of learning opportunities in physics teacher training programs. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24(3), 545–570. <https://doi.org/10.1007/s11618-021-01003-w>
- Schrenk, M., Gropengießer, H., Groß, J., Hammann, M., Weitzel, H. & Zabel, J. (2019). Schülervorstellungen im Biologieunterricht. In J. Groß, M. Ham-

- mann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 3–20). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_1
- Schröder, H. (2001). *Didaktisches Wörterbuch: Wörterbuch der Fachbegriffe von »Abbilddidaktik« bis »Zugpferd-Effekt.«* München: Oldenbourg.
- Tenorth, E. (2006). Fachdidaktik im historischen Kontext. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 59(7), 387–394.
- Tillmann, K.-J. (2019). Wenn Lehrer/innen forschen. In K. Berdelmann, B. Fritzsche, K. Rabenstein & J. Scholz (Hrsg.), *Transformationen von Schule, Unterricht und Profession Unterricht und Profession* (S. 325–342). Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21928-4_18
- Wentorf, W., Höffler, T.N. & Parchmann, I. (2015). Schülerkonzepte über das Tätigkeitsspektrum von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern: Vorstellungen, korrespondierende Interessen und Selbstwirksamkeitserwartungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 207–222. <https://doi.org/10.1007/s40573-015-0035-7>
- Wilkes, T. & Stark, R. (2022). Problems of an evidence-oriented educational practice: Suggestions and solution approaches. *Unterrichtswissenschaft*. <https://doi.org/10.1007/s42010-022-00150-1>
- Winkler, P.D.I. & Wieser, P.D.D. (2017). Was, wie viel, wozu? Zur Rolle und zum Verhältnis von Fachwissenschaft und Fachdidaktik im Lehramtsstudium. *Mitteilungen des Deutschen Germanistenverbandes*, 64(4), 401–418. <https://doi.org/10.14220/MDGE.2017.64.4.401>
- Zhai, X., Haudek, K., Shi, L., Nehm, R. & Urban-Lurain, M. (2020). From substitution to redefinition: A framework of machine learning-based science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(9), 1430–1459. <https://doi.org/10.1002/tea.21658>