

Bianca Reinisch
Dirk Krüger
Daniela Mahler *Hrsg.*

Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis



Springer Spektrum

Biologiedidaktische Nature of Science- Forschung: Zukunftsweisende Praxis

Bianca Reinisch • Dirk Krüger •
Daniela Mahler
Hrsg.

Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis

Hrsg.

Bianca Reinisch
Didaktik der Biologie
Universität Potsdam
Potsdam, Deutschland

Dirk Krüger
Didaktik der Biologie
Freie Universität Berlin
Berlin, Deutschland

Daniela Mahler
Didaktik der Biologie
Freie Universität Berlin
Berlin, Deutschland



ISBN 978-3-662-68408-5 ISBN 978-3-662-68409-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en) 2024

Dieses Buch ist eine Open-Access-Publikation.

Open Access Dieses Buch wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Buch enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Stefanie Wolf

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

Inhaltsverzeichnis

1 Nature of Science-Perspektiven aus der Didaktik der Biologie – Theorie und Praxis	1
Bianca Reinisch, Dirk Krüger und Daniela Mahler	
2 Nature of Bioscience	7
Arne Dittmer und Christina Ehras	
3 Charakteristika der Biologie – Bio-NOS als ein Impuls für die Lehrkräftebildung	19
Sophie-Luise Müller und Daniela Mahler	
4 Wie lassen sich biologische Phänomene erklären? – Metawissen über biologische Erklärungstypen für den Biologieunterricht	31
Marcus Hammann, Friederike Trommler und Dirk Krüger	
5 Die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken als Reflexionsmöglichkeit für die Lehrkräftebildung	45
Alexander Georg Büssing	
6 Umgang mit Ungewissheit als Charakteristikum von Nature of Science	59
Britta Lübke und Benedikt Heuckmann	
7 Mit Simulationen im Biologieunterricht das Verständnis von Nature of Science reflektieren und fördern	71
Benedikt Heuckmann und Britta Lübke	
8 Nature of Science im Kontext: Gestaltung von Lerngelegenheiten am Beispiel der Mystery-Methode	85
Kristina Fricke und Bianca Reinisch	
9 Erkenntnisgewinnung (v)erklärt	99
Leroy Großmann und Dirk Krüger	

Autor*innenverzeichnis

Prof. Dr. Alexander Büssing Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Prof. Dr. Arne Dittmer Universität Regensburg, Regensburg, Deutschland

Christina Ehras Universität Regensburg, Regensburg, Deutschland

Kristina Fricke Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Dr. Leroy Großmann Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Prof. Dr. Marcus Hammann Universität Münster, Münster, Deutschland

Prof. Dr. Benedikt Heuckmann Universität Münster, Münster, Deutschland

Prof. Dr. Dirk Krüger Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Dr. Britta Lübke Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland

Prof. Dr. Daniela Mahler Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Sophie-Luise Müller Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Prof. Dr. Bianca Reinisch Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

Friederike Trommler Wilhelm-Ostwald-Gymnasium, Leipzig, Deutschland



Nature of Science-Perspektiven aus der Didaktik der Biologie – Theorie und Praxis

1

Bianca Reinisch, Dirk Krüger und Daniela Mahler

Inhaltsverzeichnis

Literatur 4

Die Komplexität und die Dynamik der heutigen Welt, geprägt durch vielfältige technologische Fortschritte und globale Herausforderungen wie Klimawandel und Biodiversitätsverlust, rücken die Notwendigkeit einer fundierten naturwissenschaftlichen Bildung in den Vordergrund. Besonders die Biologie als Wissenschaft des Lebens spielt eine entscheidende Rolle für das Verständnis dieser komplexen Themen. Gleichzeitig rückt die naturwissenschaftliche Forschung als solche vermehrt – teils kritisch oder wenig reflektiert – in den Fokus der gesellschaftlichen Aufmerksamkeit. Die öffentliche Kommunikation von Forschungsergebnissen seitens Forschender spielt in diesem Kontext eine verstärkte Rolle. Die adäquate Einordnung und Bewertung solcher Ergebnisse verlangen dabei vielfältige Kompetenzen seitens der einzelnen Person. Ein Verständnis der *Nature of Science* (NOS), also der Natur der Naturwissenschaft selbst, kann dazu beitragen, Studien und ihre Ergebnisse in bestehende Erkenntnisse einzuordnen sowie etwaige Konsequenzen für sich und andere abzuleiten.

B. Reinisch (✉)
Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland
E-Mail: bianca.reinisch@uni-potsdam.de

D. Krüger · D. Mahler
Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland
E-Mail: dirk.krueger@fu-berlin.de; daniela.mahler@fu-berlin.de

Das theoretische Konstrukt NOS wird bereits seit langem in der Wissenschaftsphilosophie und -theorie diskutiert, und zahlreiche Abhandlungen über erkenntnistheoretische Inhalte bis hin zu ethischen Aspekten liegen vor (z. B. *Stanford Encyclopedia of Philosophy*: Zalta, 1995–2023). Hinsichtlich der Implementation und Erforschung von NOS-Inhalten in den Naturwissenschaftsdidaktiken schrieben Lederman und Lederman bereits 2014: „The construct ‚nature of science‘ (NOS) has been advocated as an important goal for students studying science for more than 100 years“ (S. 600). NOS bezieht sich auf die grundlegenden Prinzipien und Prozesse, die wissenschaftliche Forschung charakterisieren, und geht über die bloße Aneignung von Fakten oder Theorien hinaus. Ziel ist die Vermittlung eines tiefer gehenden Verständnisses für das Wesen der wissenschaftlichen Praxis und wissenschaftlicher Erkenntnisse (Heering & Kremer, 2018).

In den bestehenden fachdidaktischen Ansätzen (vgl. Heering & Kremer, 2018) zu NOS werden grundsätzlich folgende Fragen diskutiert: *Was macht wissenschaftliche Forschung aus? Welche Methoden und Praktiken sind involviert? Welche ethischen und sozialen Fragen treten im Kontext wissenschaftlicher Arbeit auf?* Antworten auf diese Fragen sind nicht nur für die Wissenschaftsgemeinschaft, sondern auch für die Allgemeinbildung bedeutsam. Durch die Vermittlung eines fundierten Verständnisses von NOS-Inhalten können Lernende ein authentisches Bild der Wissenschaft entwickeln, kritische Denkweisen annehmen und sich somit adäquat in gesellschaftliche Diskussionen einbringen.

Mit dem vorliegenden Band wird das Ziel verfolgt, aktuelle Forschungsansätze und Diskurse der Biologiedidaktik zum Thema *Nature of Science* zusammenzutragen und abzubilden. Daran anknüpfend werden Implikationen für die Theoriebildung, für mögliche Forschung, für die Schulpraxis und für die Lehrkräftebildung dargestellt. In einigen Beiträgen wird zudem ein besonderer Schwerpunkt auf die Biologie als Wissenschaft des Lebendigen gelegt. Hintergrund des Bandes bilden die Ergebnisse und weiterführenden Diskurse einer Schwerpunkttagung, „Biologiedidaktische *Nature of Science*-Forschung: Zukunftsweisende Praxis“, die im September 2022 an der Freien Universität Berlin durchgeführt wurde. In mehreren Keynote-Vorträgen und Round-Table-Diskussionen mit unterschiedlichen Schwerpunkten wurden sowohl theoretische Grundlagen der NOS-Forschung als auch innovative Forschungsansätze von Biologiedidaktiker*innen mit Expertise im Forschungsgebiet präsentiert und diskutiert. Der vorliegende Band macht die Diskussionen der Tagung weitergehend nutzbar. Die in diesem Band gesammelten Beiträge wurden im Buch zwei großen Strängen zugeordnet (1) *Nature of Science* und Theorie und (2) *Nature of Science* und Praxis.

Nature of Science und Theorie

In fünf Beiträgen werden Thesen unter theoretischer Perspektive dargestellt und diskutiert. Nach wie vor ist beispielsweise unklar, inwieweit NOS speziell im Kontext der einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen, etwa der Biologie, betrachtet werden sollte (Neumann & Kremer, 2013). Seit einigen Jahren finden sich in der Literatur vermehrt Studien, in denen nicht nur für alle Naturwissenschaften gleichermaßen relevante NOS-Inhalte empirisch untersucht werden, sondern auch eine Betrachtung von spezifischen Merkmalen

einzelner Disziplinen gefordert wird (z. B. Biologie: Reinisch & Fricke, 2022; Geografie: Puttick & Cullinane, 2022). Daher beziehen sich die Beiträge dieses thematischen Schwerpunkts vor allem auf zwei Leitfragen: Gibt es biologiespezifische Merkmale von NOS, die in theoretischen Konzeptualisierungen besondere Berücksichtigung erfahren sollen? Inwiefern finden diese im Unterricht und in der Lehrkräftebildung Berücksichtigung?

In Kap. 2 argumentieren Arne Dittmer und Christina Ehras für einen biologiespezifischen NOS-Ansatz, genannt *Nature of Bioscience*, der die ethische Dimension und die Komplexität biologischer Phänomene berücksichtigt. Sie betonen, dass sowohl der Umgang mit Komplexität, Individualität, Nicht- und unsicherem Wissen sowie ethischen Fragestellungen in der Biologielehrkräftebildung besondere Beachtung finden sollten. Sophie-Luise Müller und Daniela Mahler argumentieren in Kap. 3 ebenfalls für einen biologiespezifischen NOS-Ansatz und diskutieren, dass ein allgemeines NOS-Verständnis, das sich auf alle Naturwissenschaften erstreckt, nicht ausreicht, um die spezifischen Charakteristika und Herangehensweisen der Biologie adäquat im Unterricht zu vermitteln. Stattdessen schlagen sie vor, ein „Bio-NOS“ zu entwickeln, das die einzigartigen ontologischen, methodologischen und epistemologischen Grundlagen der Biologie berücksichtigt. Dieses spezialisierte NOS-Verständnis könnte Lehrkräften helfen, Vorstellungen von Schüler*innen besser zu diagnostizieren und zu adressieren. Der Beitrag von Marcus Hammann, Friederike Trommler und Dirk Krüger (Kap. 4) fokussiert auf die Vielfalt biologischer Erklärungstypen und argumentiert, dass ein besseres fachspezifisches Wissenschaftsverständnis bei Lehrenden und Lernenden durch das Erwerben von Metawissen über diese Erklärungstypen entwickelt werden kann. Der Text charakterisiert drei verschiedene Erklärungstypen und analysiert deren Mehrwert für den Biologieunterricht, wobei er darauf hinweist, dass fehlendes Metawissen zu unangemessenen teleologischen Erklärungen und Verwechslungen zwischen funktionalen und mechanistischen Erklärungen führen kann. Alexander Büssing (Kap. 5) nimmt in seinem Beitrag Bezug zur Biologielehrkräftebildung und diskutiert die Rolle des Wissens über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken. Dabei berücksichtigt er den *Family Resemblance Approach* sowie das *Refined Consensus Model* des fachdidaktischen Wissens als Aspekte der professionellen Kompetenz von Biologielehrkräften und als Reflexionsanlass in der Lehrkräftebildung. Der Beitrag von Britta Lübke und Benedikt Heuckmann (Kap. 6) grenzt zunächst die Begriffe Unsicherheit und Ungewissheit voneinander ab und befasst sich nachfolgend mit der Rolle von Ungewissheit in den Naturwissenschaften. Es wird argumentiert, dass Ungewissheit ein konstitutives Element der Naturwissenschaften ist, das in bestehenden NOS-Modellen vernachlässigt wird. Die Autor*innen schlagen eine Differenzierung von verschiedenen Arten der Ungewissheit vor und diskutieren deren Einbindung in Lehr-Lern-Konzepte.

Nature of Science und Praxis

Der zweite thematische Schwerpunkt zielt darauf ab, die theoretischen Konzepte rund um das NOS-Verständnis in konkrete Unterrichtspraktiken zu übertragen und zu veranschaulichen. Dieser Fokus ermöglicht es, die oft abstrakten und komplexen Ideen, die das Wesen der Naturwissenschaften ausmachen, in greifbare Lehr- und Lernmethoden umzusetzen.

Ziel ist es, Schüler*innen ein adäquates Verständnis wissenschaftlicher Methoden und Denkweisen zu vermitteln, das über reine Fachkenntnisse hinausgeht. Dies entspricht auch dem Ziel, im Biologieunterricht Kompetenzen im Bereich „Erkenntnisgewinnung“ zu fördern, wodurch auf ein Nachdenken und Reflektieren *über* die Naturwissenschaften fokussiert wird.

Benedikt Heuckmann und Britta Lübke (Kap. 7) schließen an ihre theoretischen Überlegungen zur Ungewissheit im vorhergehenden Kapitel an und nehmen Bezug auf die zunehmende Bedeutung von Computersimulationen in den Naturwissenschaften, insbesondere in der Biologie. Sie argumentieren, dass Simulationen ein effektives Mittel zur Reflexion über NOS und den Umgang mit Ungewissheit sein können, und charakterisieren verschiedene Typen von Ungewissheit, die es gilt, mit Simulationen im Sinne eines Verständnisses von NOS zu fördern. In Kap. 8 diskutieren Kristina Fricke und Bianca Reinisch die Berücksichtigung der „inneren Logik“ von Lerngelegenheiten (deduktives, induktives und abduktives Vorgehen) und der Integration von disziplinübergreifenden und -spezifischen NOS-Inhalten für effektives Lernen im Unterricht. Anhand der Anwendung der Mystery-Methode wird diskutiert, wie diese Aspekte in der Unterrichtspraxis berücksichtigt werden können, um ein tieferes Verständnis von NOS zu fördern. Leroy Großmann und Dirk Krüger betonen in Kap. 9 die zentrale Rolle der Hypothese in naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozessen, weisen jedoch auf ihre doppeldeutige Verwendung im Unterricht hin: einerseits als deduktiv abgeleitete, empirisch prüfbare Voraussage und andererseits als initialer Erklärungsversuch für ein Phänomen. Um diese Doppeldeutigkeit zu klären, schlagen die Autoren vor, den Begriff „Hypothese“ in schulischen Kontexten für vage Ideen durch „Erklärungsversuch“ zu ersetzen, und illustrieren dies anhand von Beispielen aus dem Fach Biologie.

Entgegen der üblichen Gliederung von Beiträgen zu empirischen Studien oder Theoriekapiteln wurden die Autor*innen in diesem Band dazu angehalten, nach einer Einleitung eine Leitfrage oder ein wahrgenommenes Desiderat aufzugreifen bzw. zu formulieren. Diese werden in den einzelnen Beiträgen durch die Formulierung von Thesen diskutiert, womit Impulse für Forschungsinitiativen gegeben und ein Weiterdenken angestoßen werden soll. Nachdruck wird diesem Anliegen dadurch gegeben, dass die Autor*innen am Ende jedes Beitrags Anregungen zur Klärung offener biologiedidaktischer Fragen formulieren. Somit liefert dieser Band nicht nur einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung, sondern bietet vielmehr konkrete Anknüpfungspunkte und benennt Forschungsdesiderate.

Literatur

- Heering, P., & Kremer, K. (2018). Nature of science. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 105–119). Springer.
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2014). Research on teaching and learning of nature of science. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education, II* (S. 600–620). Routledge.
- Neumann, I., & Kremer, K. (2013). Nature of Science und epistemologische Überzeugungen – Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 211–234. http://www.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/19_Neumann.pdf. Zugegriffen am 04.04.2024.

- Puttick, S., & Cullinane, A. (2022). Towards the nature of geography for geography education: An exploratory account, learning from work on the nature of science. *Journal of Geography in Higher Education*, 46(3), 343–359.
- 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.
- Zalta, E. N. (Hrsg.). (1995–2023). *The Stanford encyclopedia of philosophy*. The Metaphysics Research Lab, Philosophy Department, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/>. Zugegriffen am 04.04.2024.

Prof. Dr. Bianca Reinisch studierte Biologie und Deutsch für das Lehramt an der Freien Universität Berlin. Von Oktober 2013 bis September 2023 arbeitete sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Didaktik der Biologie an der Freien Universität Berlin. 2018 schloss sie dort ihre Promotion ab. Von 2022 bis 2023 arbeitete sie nebenberuflich als Lehrkraft für das Fach Biologie an einem Gymnasium in Berlin. Seit Oktober 2023 ist sie Juniorprofessorin für die Didaktik der Biologie an der Universität Potsdam. Ihre Forschungsschwerpunkte beziehen sich auf die Erfassung von Vorstellungen über das Berufsbild „Naturwissenschaftler*in“ bei Schüler*innen und angehenden Lehrkräften, Schulbuchforschung und Konzepte über *Nature of Science* mit Blick auf die Biologie.

Prof. Dr. Dirk Krüger hat Biologie und Mathematik (Lehramt an Gymnasien) an der Universität Hannover studiert und dort am Institut für Angewandte Genetik 1996 promoviert. Nach dem Referendariat unterrichtete er an einem Gymnasium in Hannover, bevor er als wissenschaftlicher Assistent an die Abteilung Didaktik der Biologie an die Universität Hannover wechselte. Seit 2003 vertritt er das Fachgebiet Didaktik der Biologie an der Freien Universität Berlin. Seine Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte liegen im Bereich Erkenntnisgewinnung und im Speziellen in der Diagnose und Förderung von Modellierkompetenz.

Prof. Dr. Daniela Mahler studierte Biologie und Geografie für das Lehramt an der Universität Hamburg und absolvierte in Hamburg den Vorbereitungsdienst. Anschließend arbeitete sie am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik in Kiel und schloss dort 2017 ihre Promotion ab. Seit 2021 ist Daniela Mahler an der Freien Universität Berlin als Juniorprofessorin für die Didaktik der Biologie tätig. Ihre Forschungsschwerpunkte beziehen sich auf die Lehrkräfteprofessionsforschung, digitale Medien in Biologieunterricht und Biologielehrkräftebildung sowie *Nature of Science*.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Nature of Bioscience

2

Komplexität und Ethik als Merkmale eines biologiedidaktischen NOS-Ansatzes

Arne Dittmer und Christina Ehras

Inhaltsverzeichnis

2.1 Einführung	8
2.2 Diskurs	10
These 1: Komplexität, Individualität, Nichtwissen und unsicheres Wissen als markante Merkmale biologischer Phänomene	10
These 2: Biologische Konzepte und Erklärungen haben einen Einfluss auf das Selbst- und Weltverhältnis von Forschenden, Lehrenden und Lernenden und sind häufig mit ethischen Wertzuschreibungen verknüpft	13
2.3 Fazit und Ausblick	15
Literatur	16

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird die auf der Berliner Tagung „Biologiedidaktische *Nature of Science*-Forschung: Zukunftsweisende Praxis“ diskutierte Leitfrage *Gibt es biologiespezifische Merkmale von Nature of Science, die in den Konzeptualisierungen besondere Berücksichtigung erfahren sollen?* adressiert. Anhand von zwei Thesen wird für einen biologiespezifischen NOS-Ansatz argumentiert, der hier unter dem Titel *Nature of Bioscience* eingeführt wird. Beide Thesen nehmen Bezug auf die ethische Dimension der Biologie. These 1 hebt hervor, dass biologische Phänomene einen hohen Grad an Komplexität aufweisen, woraus auch ein hohes Maß an Diversität und Individualität resultiert. Damit einhergehend enthalten biologische Erklärungen oft Anteile an Nichtwissen und unsicherem Wissen. Ethische oder politische Entscheidungs-

A. Dittmer (✉) · C. Ehras
Universität Regensburg, Regensburg, Deutschland
E-Mail: Arne.Dittmer@ur.de; Christina.Ehras@ur.de

© Der/die Autor(en) 2024

B. Reinisch et al. (Hrsg.), *Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis*, https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2_2

situationen werden dadurch beeinflusst bzw. erschwert, sodass der Umgang mit Komplexität, Individualität und Wissenslücken in einem wissenschaftspropädeutisch bildenden Biologieunterricht Berücksichtigung finden sollte. These 2 bezieht sich auf den Einfluss biologischer Konzepte und Erklärungen auf das Selbst- und Weltverhältnis von Forschenden, Lehrenden und Lernenden, da biologische Erklärungen grundlegend ein Verständnis und die Bewertung von Lebewesen, Lebensprozessen, Naturräumen sowie des Menschen selbst beeinflussen. Biologische Forschung und Theorieentwicklung sind daher häufig auch mit ethischen Fragen und Wertzuschreibungen verknüpft. Die hier dargelegte *Nature of Bioscience*-Perspektive begründet einen aufmerksameren Umgang mit der Komplexität und Individualität biologischer Phänomene, Nichtwissen, unsicherem Wissen und ethischen Fragestellungen beim Lehren und Lernen biologischer Inhalte sowie auch in der Biologielehrkräftebildung.

- ▶ **Abstract** This paper addresses one of the leading questions discussed at the Berlin conference: *Are there biology-specific features of Nature of Science that should be given special attention in conceptualizations?* Two theses are used to argue for a biology-specific NOS approach, which is introduced as *Nature of Bioscience*. Both theses refer to the ethical dimension of biology. Thesis 1 emphasizes that biological phenomena have a high degree of complexity, which also results in a high degree of diversity and individuality. Thus, biological explanations often contain elements of non-knowledge and uncertain knowledge. Ethical or political decision-making are thereby affected respectively made more difficult, so that dealing with complexity, individuality and knowledge gaps should be taken into account in biology education. Thesis 2 refers to the influence of biological concepts and explanations on the self and world relation of researchers, teachers and learners, since biological explanations fundamentally influence the understanding and evaluation of living beings, processes of living, natural environments as well as humans themselves. Biological research and theory development are therefore often also linked to ethical questions and value attributions. The *Nature of Bioscience* perspective presented here justifies a more attentive approach to the complexity and individuality of biological phenomena, non-knowledge, uncertain knowledge, and ethical issues in teaching and learning biology as well as in biology teacher education.

2.1 Einführung

Dieser Beitrag ist im Themenschwerpunkt *NOS und Theorie* verortet und adressiert die auf der Berliner Tagung „Biologiedidaktische *Nature of Science*-Forschung: Zukunftsweisende Praxis“ diskutierte Leitfrage: *Gibt es biologiespezifische Merkmale von Nature of Science, die in den Konzeptualisierungen besondere Berücksichtigung erfahren sollen?*

Der Terminus *Nature of Science* (NOS) steht allgemein für die wissenschaftspropädeutischen Bildungsziele eines naturwissenschaftlichen Unterrichts, in dem sich Schüler*innen explizit mit Methoden der Erkenntnisgewinnung, Grundlagen und Rahmenbedingungen der Wissensgenese und Wissenschaftskommunikation sowie dem Stellenwert der Naturwissenschaften in einer wissenschafts- und technologiegestützten Kultur auseinandersetzen. In der naturwissenschaftsdidaktischen Diskussion über den Lern- und Forschungsbereich *Nature of Science* werden die Naturwissenschaften und naturwissenschaftliches Wissen häufig aus einer generalisierenden Perspektive in den Blick genommen. Betrachtet man aber die Entwicklung der Biologie und die diese Entwicklung widerspiegelnde wissenschaftstheoretische Literatur (Krohs & Toepfer, 2005), so werden Merkmale der Biologie und biowissenschaftlicher Forschung sichtbar, die eine spezifisch biologiedidaktische Perspektive auf *Nature of Science* begründen. Analog zur Etablierung der Wissenschaftsphilosophie der Biologie in der Wissenschaftsforschung bedarf es deshalb biologiespezifischer Konzeptualisierungen im Bereich der schulischen Wissenschaftspropädeutik und der universitären Lehrkräftebildung, da eine generalisierende Diskussion über das Wesen der Naturwissenschaften der Lebenswissenschaft Biologie nicht ausreichend gerecht wird. Unter dem Begriff *Nature of Bioscience* (NOBS) wird in diesem Beitrag eine Perspektive auf wissenschaftspropädeutische Bildungsziele vorgestellt, die versucht, die Besonderheiten der Biologie zu berücksichtigen, ohne dabei die allgemeinen *Nature of Science*-Ansätze zu negieren. Vielmehr soll eine spezifisch biologische Brille als Reflexionsrahmen für ein Nachdenken über das Wesen und die Bedeutung der Biologie angeboten werden.

Es ist insbesondere die ethische Dimension der Biologie, die sie als Lebenswissenschaft kennzeichnet und damit von anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen unterscheidet: Ihr Forschungsbereich sind Lebewesen, Lebensprozesse und Lebensräume. Erklärungen komplexer biologischer Phänomene sind auf der einen Seite in einem hohen Maße durch Diversität und Individualität geprägt und berühren auf der anderen Seite direkt uns als Menschen oder unsere Umwelt, sodass es enge Bezüge zwischen biologischem Wissen und ethischen Bewertungen gibt. Merkmale der Biologie bzw. biologischer Phänomene, die in Reflexionen über das Wesen und die Bedeutung der Biologie hervorgehoben werden sollten, sind daher zum einen der hohe Grad an Komplexität und die hieraus resultierende Individualität biologischer Phänomene, zudem enthalten Erklärungen komplexer Phänomene auch Anteile an Nichtwissen und unsicherem Wissen (These 1). Zum anderen haben biologische Konzepte und Erklärungen einen Einfluss auf das Selbst- und Weltverhältnis von Forschenden, Lehrenden sowie Lernenden und sind daher häufig mit ethischen Wertzuschreibungen verknüpft, da die Biologie Einfluss darauf nimmt, wie Menschen sich selbst und ihre biotische und abiotische Umwelt verstehen und bewerten (These 2).

Die Komplexität der Phänomene und ethische Implikationen sind auch in anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen von Bedeutung. So ist in der Physik die Quantenphysik ein Paradebeispiel für Komplexität, Nichtwissen und unsicheres Wissen und die Astrophysik berührt Fragen nach dem Ursprung von Raum und Zeit und somit auch nach dem Ursprung menschlicher Existenz auf unserem Planeten. Im Falle der Biologie sind

die Merkmale jedoch medial besonders präsent und haben eine besondere Bedeutung im Alltag: Komplexität, Nichtwissen oder unsicheres Wissen beeinflussen bzw. erschweren die Bewertung und Entscheidungsfindung bei bio- und umweltethischen Fragestellungen, und bezogen auf die Individualität biologischer Phänomene können der Biologieunterricht und das Biologiestudium für Diversität und Individualität als Merkmale des Lebendigen sensibilisieren (Dittmer, 2023).

Die ethische Dimension der Biologie ist dem Fach inhärent und daher adressiert der *Nature of Bioscience*-Ansatz nicht nur Fragen nach dem Wesen der biologischen Erkenntnisgewinnung und des biologischen Wissens, sondern auch Fragen nach der ethischen, kulturellen und politischen Bedeutung der Biologie. So ist der Mensch Forschender und Erforschter zugleich und die sich wandelnden Erkenntnismethoden, Biotechnologien und Erklärungen haben Einfluss darauf, wie menschliche Handlungen oder Eigenschaften bewertet werden und wie das Mensch-Tier- oder Mensch-Natur-Verhältnis verstanden und in bioethischen Kontroversen diskutiert wird. Aus einer *Nature of Bioscience*-Perspektive wird die kulturelle Bedeutung der Naturwissenschaften noch grundlegender auf die ethischen Implikationen biologischer Erkenntnisgewinnung bezogen (Bayertz, 1989; Carlson, 2011).

Der *Nature of Bioscience*-Ansatz untermauert damit das pädagogisch-didaktische Anliegen, im fachlichen Kontext die ethische Bewertungskompetenz von Schüler*innen zu fördern, und unterstreicht zugleich die Notwendigkeit, neben den Fähigkeiten zur Erfassung, Kommunikation und Bewertung ethischer Problemlagen, Schüler*innen auch in ihren politischen Handlungskompetenzen zu stärken. Zahlreiche aktuelle Problemlagen sind durch einen hohen Grad an Komplexität, Nichtwissen und unsicherem Wissen gekennzeichnet. Hier soll biologische Forschung einerseits zur Lösung beitragen (beispielsweise in der Klimakrise) und andererseits wird sie von Teilen der Bevölkerung als bedrohlich wahrgenommen (beispielsweise bei der Entwicklung von CRISPR/Cas oder RNA-Impfstoffen). *Nature of Bioscience* steht somit auch für einen fachspezifischen Beitrag zur politischen Bildung im Rahmen des Biologieunterrichts. Eine Berücksichtigung von biologiespezifischen *Nature of Science*-Merkmalen hat Konsequenzen für die Curriculumsentwicklung, Unterrichtsgestaltung und somit auch für die fachdidaktische Ausbildung von Biologielehrkräften. Im Ausblick werden entsprechend Implikationen für die Gestaltungsmerkmale eines wissenschaftspropädeutisch reflektierten Biologieunterrichts und für die Biologielehrkräftebildung diskutiert.

2.2 Diskurs

These 1: Komplexität, Individualität, Nichtwissen und unsicheres Wissen als markante Merkmale biologischer Phänomene

Angesichts von Klimawandel, Diversitätsverlust und jüngst der einschneidenden Pandemieerfahrungen ist *Ungewissheit* zu einem zentralen Schlagwort im naturwissenschafts-

didaktischen Diskurs über Forschung und Unterrichtsentwicklung geworden. Die Auswirkung, dass etwas ungewiss erscheint, ist unter anderem durch Wissenslücken bedingt, welche für komplexe Phänomene charakteristisch sind (Kuhlmann, 2007). In den genannten Beispielen sind die Erfahrungen mit Komplexität, Individualität, Nichtwissen und unsicherem Wissen besonders eindrucksvoll, jedoch sind sie vielen biologischen Phänomenen inhärent. So sind beispielsweise die Wirkmechanismen des Vitamin A unter anderem beim Zellwachstum nicht bekannt – die Auswirkungen auf den Alltag bzw. auf Entscheidungssituationen sind durch das Nichtwissen in diesem Fall jedoch eher gering und geraten dadurch nicht unmittelbar ins Bewusstsein.

Gemein ist komplexen Phänomenen, dass deren Erklärungen multifaktoriell sind und oft nicht lineare Wirkungsgefüge aufzeigen (Mainzer, 2008; Mitchell, 2008). Je nach Ausprägung der Anfangsbedingungen und Wechselwirkungen zwischen den Faktoren ergeben sich daraus unterschiedliche Endzustände eines Systems – also unterschiedliche Ausprägungen eines Phänomens. Dem Versuch, die komplexen Wirkungsgefüge aufzudecken, sind häufig epistemologische und methodische Grenzen gesetzt, sodass ein Anteil an Nichtwissen oder unsicherem Wissen bleibt (Kuhlmann, 2007). So kann der Einfluss von Variablen scheinbar unsystematisch variieren oder Faktoren des Systems können unbekannt sein (Mainzer, 2008; Mitchell, 2008). Die beschriebenen Merkmale von Komplexität begründen auch die Individualität biologischer Phänomene. Individualität ist somit ein konstitutives Merkmal des Gegenstandsbereichs der Biologie, was auch auf das Wesen biologischer Erkenntnisgewinnung und den wissenschaftlichen Diskurs Einfluss nimmt: Biolog*innen begegnen individuellen Ausprägungen biologischer Phänomene und beziehen dies in ihre Interpretationen und Analysen mit ein. So sind auch Gesetze oder Gesetzmäßigkeiten für die Biologie weniger bedeutsam (Potochnik, 2013), was einen deutlichen Unterschied zur Chemie oder Physik markiert. Betrachtet man einzelne Phänomene wie zum Beispiel individuelle Entwicklungsverläufe, Systemzustände oder die Varianten einer Art – im Gegensatz zu Prototypen und allgemeinen, modellhaften Zusammenhängen –, werden die Komplexität und der Anteil an Nichtwissen bzw. unsicherem Wissen deutlich.

Für forschende Biolog*innen stellen Nichtwissen und unsicheres Wissen Standardsituationen dar, sodass Wissenslücken und unsichere Evidenz als neutrale oder sogar positive Charakteristika des wissenschaftlichen Arbeitens gedeutet werden (Rhein, 2018). Dagegen wird in Hinblick auf die Kommunikation von Nichtwissen und unsicherem Wissen gegenüber Schüler*innen bzw. in der Öffentlichkeit befürchtet, dass hieraus Verunsicherungen oder sogar ein Vertrauensverlust in Wissenschaft und ihre Befunde resultieren (Maier et al., 2018).

Davon ausgehend, dass Lehrkräfte mit Erklärungen im Fachunterricht und der Auswahl der Unterrichtsgegenstände implizit auch ein Verständnis davon vermitteln, welche Fragen innerhalb des Faches gestellt werden und wie fachlich angemessene Antworten auf diese aussehen (Larreamendy-Joerns & Muñoz, 2010), sollte der Darstellung von Komplexität, Individualität, Nichtwissen und unsicherem Wissen Rechnung getragen werden, indem biologische Phänomene für die Vermittlung nicht ausschließlich auf einfache Ursache-Wirkungs-Beziehungen reduziert werden. Auch sollten nicht nur Prototypen (beispielsweise

typische Vertreter einer Art), sondern insbesondere auch individuelle Fälle (beispielsweise Übergangsformen, abweichende oder nicht einzuordnende Fälle) in den Blick genommen werden. Der Fokus würde hierbei nicht nur auf der Vermittlung von Wissen liegen, sondern auch eine gegenstandsangemessene Kommunikation von Nichtwissen und unsicherem Wissen beinhalten (Ehras 2024) und Schüler*innen zugleich für individuelle Merkmalsausprägungen und für die Vielfalt und Varianz biologischer Phänomene sensibilisieren.

Ein Biologieunterricht, der in einem produktiven Stil und regelmäßig diese Aspekte thematisiert, kann in einem ersten Schritt zu einem Verständnis darüber beitragen, dass Komplexität und Individualität zentrale Merkmale des Lebendigen sind und Verallgemeinerungen und Gesetzmäßigkeiten nur unter Einschränkung helfen, biologische Phänomene zu erfassen bzw. zu erklären. Biologieunterricht kann einen routinierten Umgang mit Nichtwissen in biologischen Erklärungen anbahnen und zu einem Verständnis der hohen Individualität biologischer Phänomene beitragen. So können Schüler*innen lernen, konstruktiv mit komplexen Problemlagen sowie Entwicklungsdynamiken umzugehen und Multikausalität, Nichtwissen und unsicheres Wissen als Merkmale wissenschaftlicher Erklärungen zu verstehen und entsprechend zu berücksichtigen.

Ein fachlich adäquater Umgang mit Komplexität, Individualität, Nichtwissen und unsicherem Wissen hat dabei in zwei Hinsichten auch eine politische Relevanz: Zum einen, wenn man das Phänomen der Wissenschaftsleugnung auf ein inadäquates Wissenschaftsverständnis zurückführt, bei dem die Wahrnehmung von Widersprüchen und Nichtwissen eher zu einem Vertrauensverlust gegenüber Wissenschaft führt. Zum anderen, wenn es darum geht, dass gerade die Biologie für die Individualität biologischer Phänomene sensibilisieren, zu einem Nachdenken über Vielfalt anregen und so aus einer fachinhärenten Perspektive rassistischen und sexistischen Positionen entgegenwirken kann.

Bei der Konfrontation mit Komplexität, Individualität, Nichtwissen und unsicherem Wissen – aktuell insbesondere präsent in der Auseinandersetzung mit klimatischen und ökologischen Entwicklungen – wird die Komplexität biologischer Phänomene zu einer Rahmenbedingung ethischen Bewertens. Somit stellt es auch für Lehrende und Lernende eine Herausforderung dar, in öffentlich geführten Kontroversen differenziert und fallbezogen zu argumentieren und angesichts von widerstreitenden Interpretationen oder Prognoseunsicherheit und nicht eingetroffenen Vorhersagen nicht zu resignieren. Insbesondere ein Verständnis dafür, dass Nichtwissen und unsicheres Wissen Teile wissenschaftlicher Erkenntnisprozesse sind und auch durch weitere Forschung mitunter nicht reduziert werden können, sowie die Fähigkeit, unterschiedliche Auffassungen und Interpretationen von Wissenslücken in öffentlichen Diskussionen zu erfassen, zeichnen sich als relevante Inhalte für eine zeitgemäße politische Bildung ab. Somit geht es im Umgang mit Komplexität und Nichtwissen in biologischen Erklärungen nicht nur um ein adäquates Fachverständnis. Es geht auch um eine Form der Resilienzförderung in politischen Diskursen über biologiebezogene gesellschaftliche Problemlagen. Schüler*innen wie auch Studierende sollten in die Lage versetzt werden, das in medialen Diskursen kommunizierte unsichere Wissen adäquat einzuordnen, um nicht Gefahr zu laufen, von Lobbygruppen oder Verschwörungsmythen vereinnahmt zu werden. Ein Verständnis der Be-

deutung von Nichtwissen und unsicherem Wissen in biologischen Erklärungen und ein Verständnis dessen, dass Komplexität und Individualität fundamentale Merkmale des Lebendigen sind, ist somit ein wissenschaftspropädeutischer Beitrag zur Förderung ethischer Bewertungskompetenz und politischer Bildung im Biologieunterricht und bereitet Schüler*innen auf eine wissenschaftsbasierte und entwicklungsoffene Zukunft vor. Vor diesem Hintergrund ist die *Nature of Bioscience*-Perspektive auch für die aktuellen Herausforderungen der Nachhaltigkeits- und Klimabildung von zentraler Bedeutung.

These 2: Biologische Konzepte und Erklärungen haben einen Einfluss auf das Selbst- und Weltverhältnis von Forschenden, Lehrenden und Lernenden und sind häufig mit ethischen Wertzuschreibungen verknüpft

Grundlegend zeigt sich die ethische Dimension der Biologie auch in der Bedeutung biologischer Konzepte und Erklärungen für das menschliche Selbstverständnis, das Verständnis der Natur sowie der verschiedenen Lebensformen. Hierauf bezogen greift der *Nature of Bioscience*-Ansatz die bildungsphilosophische Perspektive der transformatorischen Bildungstheorie auf (Koller, 2007) und betrachtet den Einfluss biologischer Forschung auf das Selbst- und Weltverhältnis der Akteur*innen, die sich biologisches Wissen aneignen oder als Expert*innen weitergeben. Biologische Erklärungen und Theorien verändern die Art und Weise, wie der Mensch sich selbst, andere Lebewesen sowie die Natur versteht und bewertet. Ein prominentes Beispiel hierfür sind bioethische Debatten über den moralischen Status nichtmenschlicher Organismen, bei denen auch auf biologische Daten zurückgegriffen wird. In unserem Kulturkreis profitieren beispielsweise Säugetiere davon, dass wir ihnen evidenzbasiert und aufgrund von Analogieschlüssen Leidensfähigkeit zuschreiben können. Invertebraten dagegen befinden sich bezüglich ihres Schutzstatus in einer ungünstigeren Position, da es uns deutlich schwerer fällt, sich vorzustellen, wie es beispielsweise ist, als Mücke oder Miesmuschel in der Welt zu sein. Andere Beispiele sind die Diskussionen über Willensfreiheit oder über den Einfluss von Erbe und Umwelt auf die Entwicklung menschlicher Eigenschaften. Die Wirkmächtigkeit biologischen Wissens wird als die *Deutungsmacht* der Biologie thematisiert und problematisiert (Hüttemann, 2008). Metzinger (2000) spricht von einer *Anthropologiefolgenabschätzung* als eine Reflexion der Auswirkungen biologischen Wissens auf das Menschen- und Weltbild und die damit verbundenen Wertzuschreibungen. Es gibt somit gute Gründe, beim Nachdenken über das Wesen der Biologie die in der Wissenschaftsethik und Risikoforschung etablierte *Technikfolgenabschätzung* um eine *Theoriefolgenabschätzung* zu ergänzen.

Im Sinne einer solchen Theoriefolgenabschätzung beschreibt der Wissenschaftsphilosoph Kurt Bayertz (1989) die Geschichte der Biologie als eine *Entmoralisierung des Lebendigen*, und in ihrem Aufsatz *Biology and Technology* skizzieren Bayertz und Nevers (1998) die historische Entwicklung der Biowissenschaften als einen Prozess der Verfügbarmachung: Während die naturkundliche, beobachtende Biologie bis ins 19. Jh. bio-

logische Phänomene im Einklang mit der Schöpfungslehre beschreibt, kommt es mit der Etablierung der Evolutionstheorie und dem experimentellen Zugriff auf biologische Phänomene zu einer Ausdifferenzierung der Biowissenschaften in ihrer heutigen Form. Diese ist dadurch geprägt, dass in Großlaboren an biologischen Phänomenen geforscht wird, ohne dass die Forschenden den Organismus, die Art oder den ökologischen Kontext kennen müssen, da dies beispielsweise für molekularbiologisch spezialisierte Forschungsfelder größtenteils irrelevant ist. Nach Bayertz und Nevers (1998) wird in der modernen, industriellen Phase der Biologie Leben durch gentechnische und molekularbiologische Methoden zunehmend modellierbar, und für die Forschung können Versuchstiere mit spezifischen Eigenschaften gezüchtet, Zellen im Labor kultiviert oder menschliches Gewebe in tierische Organismen verpflanzt werden.

Bei dieser Entwicklung – von einer theologiekonformen Naturkunde zu einer molekularbiologisch geprägten Laborwissenschaft – ist es nicht verwunderlich, dass im Vergleich mit anderen Naturwissenschaften ethische Aspekte in der Wissenschaftstheorie der Biologie stärker einbezogen werden. Ein auch schon im Titel anschauliches Beispiel ist die von Sterelny und Griffiths (2012) geschriebene Einführung: *Sex and Death – An Introduction to Philosophy of Biology*: Das der Analytischen Philosophie zuzuordnende Lehrwerk nimmt aus einer wissenschaftsphilosophischen Position unter anderem Bezug auf soziale Fragen, soziobiologische Erklärungen menschlichen Verhaltens, das Problem reduktionistischer Erklärungen oder auf die grundlegende Frage „Was ist Leben?“. Eine Förderung ethischer Bewertungskompetenz lässt sich wissenschaftspropädeutisch und fachinhärent somit allein schon dadurch begründen, dass in wissenschaftshistorischen und wissenschaftstheoretischen Analysen die ethische Dimension der Biologie eine große Rolle spielt und die Wissenschaftsforschung und Wissenschaftsphilosophie zentrale Referenzfelder für die Auswahl von *Nature of Science*-Inhalten sind.

Aus Bildungsperspektive erhält die Wissenschaftspropädeutik im Biologieunterricht damit eine besondere ethische Brisanz, da die Aneignung eines biologischen Menschen-, Natur- und Weltbildes Auswirkungen auf Konzepte wie das der Seele, auf die Vorstellung von der Existenz und dem Wert anderer Lebensformen oder die Beantwortung von Fragen nach Ursprung und Sinn des Lebens hat. Solche Antworten gehen weit über wissenschaftliche Konzeptualisierungen von Organismen, ökologischen Zusammenhängen oder der Evolution des Lebens hinaus. Sie können als kulturelle Folgen biologischer Forschung nicht ignoriert werden und sind wissenschaftsphilosophisch bezüglich der Wirkgeschichte biologischer Forschung interessant und zudem bildungsrelevant. Denn versteht man Bildung als eine Transformation des Selbst- und Weltverhältnisses, die in Irritationen und krisenhaften Erlebnissen ihren Ausgangspunkt haben kann (Koller, 2007), dann haben biologische Erklärungen und Konzepte das Potenzial, sich bildungsrelevant auf Schüler*innen, Studierende oder auch Lehrende auszuwirken: Wer bin ich als Mensch? Wie frei oder gebunden bin ich bezüglich meiner genetischen Dispositionen? Wie verstehe ich meine biologische Umwelt und nichtmenschliche Lebewesen und welche Verantwortung trage ich der Natur gegenüber?

Die hier dargestellte *Nature of Bioscience*-Perspektive ist somit insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass wissenschaftsphilosophische Reflexionen im schulischen und universitären Bildungskontexten stärker aus ethischer Perspektive eingefordert werden, als es bei den generalisierenden NOS-Konzepten der Fall ist. *Nature of Bioscience* knüpft damit an eine biologiedidaktische Tradition wissenschaftspropädeutischer Literatur an, in der die Auseinandersetzung mit ethischen Fragen – beispielsweise zur Legitimation von Tierexperimenten oder zu den möglichen Auswirkungen gentechnischer Manipulationen – wichtiger Bestandteil einer fachbezogenen Heranführung an ein Wissenschaftsverständnis ist (von Falkenhausen, 2000). Eine umfassende Reflexion des auf die Natur und die eigene biologische Existenz bezogenen Selbst- und Weltverhältnisses wird der ethischen Dimension der Biologie gerecht und sollte im Prozess der Aneignung eines biologischen Weltbildes Bestandteil wissenschaftspropädeutischer Bildung in Schule und Studium sein.

2.3 Fazit und Ausblick

Der hier skizzierte *Nature of Bioscience*-Ansatz verfolgt eine doppelte Zielsetzung: Es geht zum einen darum, die Behandlung ethischer und politischer Problemlagen aus der Binnenperspektive des Faches heraus zu begründen, da Komplexität, Nichtwissen, unsicheres Wissen und ethische Wertzuschreibungen den fachlichen Gegenständen inhärent sind. Denn es macht einen Unterschied, ob die Lerninhalte, die unter den Bereich der Bewertungskompetenz fallen, als fachübergreifende Fragen verstanden werden, oder ob man sie aus der Perspektive des Faches betrachtet und sich als Fachlehrkraft und somit Expert*in um eine adäquate Vermittlung ethischer Fragestellungen bemüht. Hiermit zusammenhängend geht es zum anderen darum, den Umgang mit multifaktorieller Komplexität und Nichtwissen als Standardsituation und durchgängiges Gestaltungsmerkmal des Biologieunterrichts zu implementieren. Schüler*innen sollen vom Primarschulalter an adäquat sowohl für die Vielfalt und Varianz biologischer Phänomene sensibilisiert werden als auch dafür, dass der Erfolg von Wissenschaft nicht im Widerspruch dazu steht, dass Wissenschaftler*innen permanent und ohne Drama mit Nichtwissen, Unvorhersehbarkeiten, alternativen Modellen und Interpretationen arbeiten.

Um den Krisen unserer Zeit und auch Phänomenen der Desinformation und Wissenschaftsleugnung konstruktiv zu begegnen, bedarf es biologiedidaktischer Forschung sowie Entwicklungsprojekten, die den Umgang mit Komplexität und Ethik im Kontext einer häufig stoff- und ergebnisorientierten Unterrichtskultur stärker in den Fokus nehmen. So stellen sich folgende Fragen: 1. Wie können Komplexität und Individualität als Merkmale des Biologischen stärker in den Unterricht eingebracht werden und wie kann hierbei eine Entdramatisierung von Nichtwissen und unsicherem Wissen auf unterrichtlicher Ebene gelingen? 2. Wie sollte eine Biologielehrkräftebildung gestaltet sein, die Lehrkräfte dazu befähigt, Nichtwissen zu kommunizieren, mit Ungewissheit konstruktiv umzugehen und ethische Perspektiven in den Fachunterricht zu integrieren?

Es gibt einen Bedarf, Unterrichtsmethoden und -ansätze zu entwickeln, in denen phänomenorientiert und fallbasiert die Individualität biologischer Phänomene, multifaktorielle Entwicklungen sowie die ethische und kulturelle Dimension der Biologie stärker im Vordergrund stehen. So sollte der Umgang mit Komplexität kein Thema der Oberstufe oder erst des Studiums sein, sondern Schüler*innen sollten früh an die Vielfalt biologischer Phänomene und das damit verbundene Nichtwissen herangeführt werden, um auf diesem Weg den Umgang mit Ungewissheit zu entdramatisieren, nicht um zu beschönigen, sondern um Schüler*innen sowie auch Studierende als zukünftige Lehrkräfte für eine immer schon ergebnisoffene Zukunft zu ermutigen und deren Gestaltungs Kompetenzen zu fördern.

In Zeiten einer ökologischen, ökonomischen und politischen Polykrise (Wintersteiner, 2020) ist Ungewissheit nicht wirklich ein ermutigendes Wort und Studierende lernen in Lehrbüchern, dass eine pessimistische Katastrophenpädagogik eher zu Abwehrmechanismen und Verdrängung führt. Auf der anderen Seite sind die aktuellen Bedrohungsszenarien und Bilder klimabedingt zerstörter Landschaften oder in Plastikmüll verendeter Meeres-tiere in den Medien sehr präsent und begründen sicherlich auch die hohe Steigerung der Ungewissheitsforschung in den Naturwissenschafts didaktiken, wo neben den Schlagwörtern *Kompetenz* oder *Digitalisierung* ein neuer Begriff unter Verdacht kommt, inflationär verwendet zu werden. Aber die umfangreichen Appelle, der Ungewissheit zukünftiger Entwicklungen auch im naturwissenschaftlichen Unterricht gerecht zu werden, sind legitim und erscheinen angesichts jahrzehntelanger Mahnungen wie denen des *Club of Rome* sowie zahlreicher Nachhaltigkeitsresolutionen und Klimagipfel längst überfällig.

Um aber Bedrohungsszenarien und den Herausforderungen unserer Zeit angstfrei und mit Zuversicht begegnen zu können, plädiert die hier dargelegte *Nature of Bioscience*-Perspektive für einen besonnenen und routinierten Umgang mit Nichtwissen und ethischen Fragen. Es wäre nur eine Variante der oben genannten Abwehrmechanismen, wenn der Biologieunterricht weiterhin auf eng gefasste Lehrplaninhalte und deren Ergebnis-sicherung fokussiert und Biologielehrkräfte sich im Unterricht nur solchen Lerninhalten zuwenden, bei denen sie sich sicher sind, auf alle denkbaren Fragen Antworten geben zu können. Aus der hier dargestellten *Nature of Bioscience*-Perspektive ist eine Lehrkräfte-bildung nötig, die bei angehenden Biologielehrkräften eine didaktische Haltung anbahnt, welche sich von Offenheit, Unvorhersehbarkeit oder Widersprüchen nicht irritieren lässt. Die Relevanz wissenschaftspropädeutischer Reflexionen über das Wesen und die Bedeutung der Biologie sind eben in ihrem Wesen selbst begründet, da ihr Gegenstandsbereich durch Individualität und Unvorhersehbarkeit oder – um ein positiveres Wort zu verwenden – durch Überraschungen geprägt ist.

Literatur

- Bayertz, K. (1989). Die Entmoralisierung des Lebendigen. In M. Gatzemeier (Hrsg.), *Verantwortung in Wissenschaft und Technik* (S. 220–238). BI-Wiss.-Verlag.
- Bayertz, K., & Nevers, P. (1998). Biology as technology. In K. Bayertz & R. Porter (Hrsg.), *From physio-theology to bio-technology* (S. 108–132). Rodopi.

- Carlson, R. H. (2011). *Biology is technology: The promise, peril, and new business of engineering life*. Harvard University Press.
- Dittmer, A. (2023). Vielfalt, Varianz und Prototypen. Diversität als Gegenstand eines wissenschaftspropädeutisch reflektierten und politischen Biologieunterrichts. *PraxisForschungLehrer*innen-Bildung. Zeitschrift für Schul- und Professionsentwicklung*, 5(2), 45–61. <https://doi.org/10.11576/pflb-6203>
- Ehras, C. (2024). *Perspektiven auf gute instruktionale Erklärungen im Biologieunterricht – Komplexität als didaktische Herausforderung* (unv. Diss.). Universität Regensburg.
- von Falkenhausen, E. (2000). *Biologieunterricht: Materialien zur Wissenschaftspropädeutik*. Aulis.
- Hüttemann, A. (2008). *Zur Deutungsmacht der Biowissenschaften*. mentis.
- Koller, H.-C. (2007). Bildung als Entstehung neuen Wissens? Zur Genese des Neuen in transformatorischen Bildungsprozessen. In H.-R. Müller & W. Stravoradis (Hrsg.), *Bildung im Horizont der Wissensgesellschaft* (S. 49–66). Springer VS.
- Kuhlmann, M. (2007). Theorien komplexer Systeme. Nicht-fundamental und doch unverzichtbar? In A. Bartels & M. Stöckler (Hrsg.), *Wissenschaftstheorie. Ein Studienbuch* (S. 307–356). mentis.
- Krohs, U., & Toepfer, G. (Hrsg.). (2005). *Philosophie der Biologie*. Suhrkamp.
- Larreamendy-Joerns, J., & Muñoz, T. (2010). Learning, identity, and instructional explanations. In M. K. Stein & L. Kucan (Hrsg.), *Instructional explanations in the disciplines* (S. 23–40). Springer.
- Maier, M., Guenther, L., Ruhrmann, G., Berkela, B., & Milde, J. (2018). Kommunikation ungesicherter wissenschaftlicher Evidenz – Herausforderungen für Wissenschaftler, Journalisten und Publikum. In N. Janich & L. Rhein (Hrsg.), *Unsicherheit als Herausforderung für die Wissenschaft. Reflexionen aus Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften* (S. 93–111). Peter Lang.
- Mainzer, K. (2008). *Komplexität*. Wilhelm Fink.
- Metzinger, T. (2000). Auf der Suche nach einem neuen Bild des Menschen. *Spiegel der Forschung*, 17(1), 58–67.
- Mitchell, S. D. (2008). *Komplexitäten. Warum wir erst anfangen, die Welt zu verstehen*. Suhrkamp.
- Potochnik, A. (2013). Biological explanation. In K. Kampourakis (Hrsg.), *The philosophy of biology. A companion for educators* (S. 49–65). Springer.
- Rhein, L. (2018). Thematisierung von Nichtwissen und Unsicherheiten in wissenschaftlichen Diskussionen. In N. Janich & L. Rhein (Hrsg.), *Unsicherheit als Herausforderung für die Wissenschaft. Reflexionen aus Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften* (S. 71–92). Peter Lang.
- Sterelny, K., & Griffiths, P. E. (2012). *Sex and death. An introduction to philosophy of biology*. The University of Chicago Press.
- Wintersteiner, W. (2020). Während, nach und wegen der COVID-19 Krise: Die Welt neu denken. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, 43(3), 4–8.

Prof. Dr. Arne Dittmer ist seit 2012 Professor für Didaktik der Biologie an der Universität Regensburg. In Hamburg absolvierte er das gymnasiale Lehramtsstudium mit den Fächern Biologie und Philosophie und war mehrere Jahre in verschiedenen Projekten und als Dozent am Fachbereich Erziehungswissenschaft der Universität Hamburg tätig. Seine Promotionsschrift widmet sich der Bedeutung der Wissenschaftsphilosophie in der Biologielehrkräftebildung. Bezogen auf die ethische und politische Dimension des Biologieunterrichts stehen Fragen nach der didaktischen Haltung von Lehrkräften und einer Förderung von Nachdenklichkeit und Diskussionskultur im Mittelpunkt seiner Forschung und Lehre.

Christina Ehras war von 2015 bis 2020 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Regensburg im Arbeitsbereich der Didaktik der Biologie. Nach dem in Regensburg abgeschlossenen Grundschullehrerstudium arbeitete sie im interdisziplinären Projekt FALKE (Fachspezifische Lehrkräftekompetenzen im Erklären). Hier widmete sie sich im Rahmen ihrer Promotion der Konzeptualisierung guter instruktionaler Erklärungen im Biologieunterricht aus didaktischer, sprachwissenschaftlicher und wissenschaftstheoretischer Perspektive sowie der empirischen Untersuchung von Qualitätskriterien. 2020 übernahm Christina Ehras die organisatorische Projektleitung für das innerhalb der Qualitätsoffensive Lehrerbildung vom BMBF geförderte Regensburger Projekt KOLEG2 (Kooperative Lehrkräftebildung Gestalten 2). Seit 2024 arbeitet sie am Lehrstuhl für Educational Data Science an der Universität Regensburg.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Charakteristika der Biologie – Bio-NOS als ein Impuls für die Lehrkräftebildung

3

Sophie-Luise Müller und Daniela Mahler

Inhaltsverzeichnis

3.1	Einführung	20
3.2	Diskurs	21
	These 1: Die Biologie zeichnet sich durch Charakteristika aus, die in einem Bio-NOS repräsentiert werden können	22
	These 2: Die Konzeptualisierung eines disziplinspezifischen Bio-NOS ist notwendig	24
3.3	Fazit und Ausblick	28
	Literatur	29

Zusammenfassung

Als angestrebtes Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts setzt die von Schüler*innen zu erwerbende *Scientific Literacy* (SL) ein adäquates Verständnis des Wesens der Naturwissenschaften (*Nature of Science* [NOS]) voraus. Um SL im Sinne eines Wissenschaftsverständnisses fördern zu können, benötigen auch Lehrkräfte selbst ein adäquates NOS-Verständnis. Bekannte Konzeptualisierungen von SL haben als viel rezipierter Ansatz zu NOS-Aspektlisten geführt. Diese disziplinübergreifenden NOS-Aspekte vermitteln ein generalisierendes Bild der Naturwissenschaften. Um dem Anspruch einer funktionellen SL gerecht zu werden und stereotypen Auffassungen zur Natur der Naturwissenschaften entgegenzuwirken, ist einer generalisierenden Konzeptualisierung eine disziplinspezifische Perspektive gegenüberzustellen. Durch Überlegungen aus der Wissenschaftsphilosophie wird deutlich, dass die einzelnen Naturwissenschaften be-

S.-L. Müller (✉) · D. Mahler
Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland
E-Mail: sophie-luise.mueller@fu-berlin.de; daniela.mahler@fu-berlin.de

stimmte Charakteristika aufweisen, die in einer disziplinspezifischen NOS-Konzeptualisierung repräsentiert sein können. In diesem Beitrag werden drei Charakteristika der Biologie für ein Bio-NOS vorgeschlagen, die Berechtigung eines disziplinspezifischen Bio-NOS für Biologielehrkräfte diskutiert sowie daraus resultierende Implikationen für die Lehrkräftebildung aufgeführt.

- ▶ **Abstract** As the envisaged goal of science education, students' scientific literacy (SL) requires an adequate understanding of the Nature of Science (NOS). As a requirement for the appropriate promotion of NOS in science education, teachers themselves must have an adequate understanding of NOS, which is often based on NOS aspect lists. To meet the requirements of a functional SL and counteract stereotypical views of the Nature of Science, current attempts are demanding a discipline-specific approach towards NOS. The philosophy of science already shows that the natural sciences have characteristics that should be represented in a discipline-specific conceptualization of NOS. Therefore, we suggest three characteristics of biology that could be represented as Bio-NOS and discuss the requirement of a discipline-specific Bio-NOS for the appropriate promotion of biology teachers' NOS views and its implications for teacher education.

3.1 Einführung

Eine *Scientific Literacy* (SL) von Schüler*innen setzt ein adäquates Verständnis von *Nature of Science* (NOS), welches sie in Problemkontexten anwenden können, inhärent voraus (Allchin, 2011; Hodson, 2009). Eine angemessene Förderung von NOS im Unterricht erfordert allerdings, dass die Lehrkräfte im Rahmen ihrer professionellen Handlungskompetenz selbst über ein angemessenes NOS-Verständnis verfügen (vgl. Lederman & Lederman, 2014). Ein inadäquates NOS-Verständnis bei Lehrkräften kann dazu führen, dass sie NOS-Inhalte nicht oder nur unreflektiert unterrichten (Capps & Crawford, 2013) oder inadäquate Vorstellungen von Schüler*innen nicht erkennen (Hartelt et al., 2022). NOS-Konzeptualisierungen, die zur Vermittlung von NOS bei Lehrkräften und in der Folge dann auch bei Schüler*innen eingesetzt werden, lassen sich weit verbreitet als Aspektlisten in der Literatur finden. Gemein haben diese, dass sie versuchen, generalisierende Aussagen über alle Naturwissenschaften zu treffen. Sie sind daher mit disziplinübergreifendem Anspruch formuliert (Neumann & Kremer, 2013). Diese Aspektlisten haben den Vorteil, auf einem breiten Konsens zu basieren, wie sich unter anderem auch in einer von Osborne et al. (2003) durchgeführten Delphi-Studie zeigt. Auch werden diese konsensfähigen Listen oft als Diagnoseinstrument eingesetzt (Lederman et al., 2002; Neumann & Kremer, 2013) und ermöglichen dadurch die Vergleichbarkeit der erhobenen Daten.

Trotz der Vorteile der Aspektlisten wird immer wieder Kritik an diesen geäußert. Dabei wird argumentiert, dass der disziplinübergreifende Ansatz zu generalisierend sei und zur

Bildung stereotyper Ansichten in den Naturwissenschaften führen kann (van Dijk, 2014). Konkrete disziplinspezifische Anpassungsvorschläge beziehen sich auf Debatten aus der Wissenschaftsphilosophie, besonders auf solche aus der Philosophie der Biologie (Mayr, 2007). Diese Debatten beschäftigen sich mit der Frage, welche ontologischen, epistemologischen, methodologischen und axiologischen (*Axiologie* = Wertlehre) Charakteristika die Biologie mit sich bringt, um sich der Frage der Biologie als autonomer Naturwissenschaft mit eigenen Voraussetzungen, Denk-, und Arbeitsweisen zu widmen (Mayr, 2007). Mayr (2007) begründet die Autonomie der Biologie darin, dass sie sich in ihren Paradigmen von denen der physikalischen Naturwissenschaften Physik und Chemie unterscheidet und daher nicht nur als ein weiterer Zweig der physikalischen Wissenschaften gezählt werden kann (s. auch Schizas et al., 2016). Daraus abgeleitet wird das Argument, dass die in den wissenschaftsphilosophischen Diskursen ausgearbeiteten Charakteristika auch in einem biologiespezifischen NOS repräsentiert sein müssen, um die Biologie adäquat im Unterricht und der Biologielehrkräftebildung repräsentieren zu können (Schizas et al., 2016). Auch im *Family Resemblance Approach* (FRA) wird die Auffassung vertreten, zusätzlich zu disziplinübergreifenden auch disziplinspezifische Aspekte in einem NOS-Ansatz auszudifferenzieren (Erduran & Dagher, 2014; Reinisch & Fricke, 2022). Aus diesen Überlegungen leiten wir die These ab, dass die Charakteristika der einzelnen Naturwissenschaften in einer disziplinspezifischen Konzeptualisierung, in unserem Fall einem Bio-NOS, repräsentiert werden können.

Die Frage bei all diesen Ansätzen bleibt allerdings, ob eine disziplinspezifische NOS-Konzeptualisierung für die einzelnen naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer überhaupt sinnvoll ist und sich dieser Anspruch aus Mayrs (2007) proklamierter Disziplinspezifität der Naturwissenschaften ableiten lässt. Lederman und Lederman (2014) kritisieren, dass eine Bezugnahme auf disziplinspezifische Merkmale nicht praktikabel sei, da ein solches Vorgehen zur Implementierung zu anspruchsvoller und gleichzeitig irrelevanter Inhalte im Unterricht führt. Daher stellt sich die Frage, ob auf Seiten der Lehrkräfte das Verständnis eines disziplinspezifischen NOS notwendig ist, wenn dessen Stellenwert im Unterricht an sich schon angezweifelt wird. Mithilfe der drei Kriterien, die Lederman aufgeführt, um die Relevanz eines NOS-Aspekts für den Unterricht zu bestimmen (Neumann & Kremer, 2013), prüfen wir daher die Berechtigung eines Bio-NOS für Lehrkräfte und unterstützen damit unsere These, dass die Konzeptualisierung eines disziplinspezifisch ausgeschärften Bio-NOS für Lehrkräfte möglich und sogar notwendig ist. Weiterhin diskutieren wir im Ausblick die Implikationen eines Bio-NOS für die Lehrkräftebildung.

3.2 Diskurs

Die Möglichkeit einer disziplinspezifischen Ausschärfung zu einem Bio-NOS wurde schon erörtert. Schizas et al. (2016) zeigten zum Beispiel anhand einer Diskussion zu zwei in den Naturwissenschaften vertretenen und grundverschiedenen Weltanschauungen, namentlich einer Newtonschen Weltanschauung und einer Neo-Darwinistischen Weltanschauung, dass die physikalischen Wissenschaften und die Biologie auf unterschiedlichen ontologischen,

epistemologischen und methodologischen Grundannahmen aufbauen. Um im Unterricht ein realistisches Bild der Biologie zu vermitteln, leiten sie daraus ab, dass einige Aspekte der NOS-Konsenslisten unvereinbar sind mit der in der Biologie vertretenen Weltanschauung. Dies ist zum Beispiel beim NOS-Aspekt, der das Verhältnis der verschiedenen Formen von Wissen in Form von Theorien und Gesetzen aufklärt, der Fall. Theorien und Gesetze sind laut Lederman und Kolleg*innen (2002) zwei verschiedene Wissensformen, die nicht ineinander transformiert werden können. Das heißt, dass eine Theorie nicht irgendwann zu einem Gesetz wird, nur weil genügend Belege für diese vorliegen, oder dass sie hierarchisch in einer Stufe unter Gesetzen zu verorten wäre (Lederman et al., 2002). Diese Auffassung mag in der Newtonschen Weltanschauung der physikalischen Wissenschaften zutreffen, jedoch liegen in der Biologie keine Wissensformen vor, die sich mit den deterministischen Gesetzen der physikalischen Wissenschaften vergleichen lassen (Schizas et al., 2016). So zeigt sich in diesem NOS-Aspekt, der Teil der Konsenslisten darstellt, dass ein alleiniger Fokus auf disziplinübergreifende Aspekte zu einer inadäquaten Repräsentation der in der Biologie vertretenen Wissensformen führen kann.

Auch die theoretische Basis des FRA liefert einen NOS-Ansatz, der zwar disziplinübergreifende Aspekte aller Naturwissenschaften adressiert, im Besonderen aber einen Analyserahmen für disziplinspezifische Aspekte der Naturwissenschaften bietet (Erduran & Dagher, 2014). Diese Perspektive greifen Reinisch und Fricke (2022) auf, indem sie das Ziel verfolgen, mittels Lehrbuchanalysen gezielt biologiespezifische Aspekte innerhalb des FRA zu differenzieren.

Mit These 1 stärken wir die Argumentation für eine Konzeptualisierung eines disziplinspezifischen Bio-NOS, indem wir drei Charakteristika der Biologie vorstellen, die aus Diskursen der Wissenschaftsphilosophie stammen und eine Disziplinspezifität bezüglich NOS nahelegen.

Um die Kritik von Lederman und Lederman (2014) zu disziplinspezifischen Ansätzen zu berücksichtigen, dass diese im Schulkontext überfordernd und irrelevant seien, prüfen wir unter These 2 das Konzept eines Bio-NOS direkt bezüglich dreier Kriterien angelehnt an Lederman (2006):

1. Inwiefern besteht ein Konsens über ein Bio-NOS?
2. Inwiefern ist ein Bio-NOS für Schüler*innen notwendig?
3. Inwiefern ermöglicht ein Bio-NOS eine Partizipation von Schüler*innen in der Gesellschaft?

These 1: Die Biologie zeichnet sich durch Charakteristika aus, die in einem Bio-NOS repräsentiert werden können

In einem Review wissenschaftsphilosophischer Literatur (z. B. Mayr, 2007; Vollmer & Mayr, 2010), welche die Autonomie der Biologie als Naturwissenschaft neben den physikalischen Naturwissenschaften und ihre Eigenschaften als solche erörtert, lassen sich sie-

ben Charakteristika der Biologie identifizieren: (1) *Ablehnung des Reduktionismus*, (2) *Variabilität biologischer Untersuchungsobjekte*, (3) *Offenheit und Komplexität biologischer Untersuchungsobjekte*, (4) *irreversible Entwicklung biologischer Untersuchungsobjekte*; (5) *Einfluss des Zufalls auf biologische Untersuchungsobjekte*; (6) *Doppelrolle der untersuchenden Person im Untersuchungsprozess* und (7) *Hang der Biologie zum naturalistischen Fehlschluss*. Im Folgenden werden beispielhaft drei Charakteristika näher vorgestellt.

Variabilität biologischer Untersuchungsobjekte

Aufgrund der Variabilität von biologischen Untersuchungsobjekten ergeben sich verschiedene Problematiken in der Biologie. Zum einen zeigt sich ein Kontrast zur essentialistischen Denkweise in der Physik und Chemie, in der sich die Untersuchungsgegenstände auf eine bestimmte Anzahl natürlicher Klassen reduzieren lassen. Als natürliche Klassen werden Einheiten von Objekten bezeichnet, die invariable Eigenschaften besitzen (Wilkins, 2013). Als Beispiel in der Physik oder Chemie können dazu unter anderem *Elektron* oder *Atom* als natürliche Klassen von Objekten herangezogen werden. Vollmer und Mayr (2010) schätzen, dass die Physik auf maximal Tausend Klassen von Objekten zu reduzieren und zu erschließen sei. Die Biologie hingegen sei nicht unter zwei Millionen natürlicher Klassen (sofern man diese definiert als Arten von Lebewesen) zu fassen, weshalb im Umkehrschluss die Bildung natürlicher Klassen über Objekte nicht dem Vorgehen der Biologie entspreche und sogar hinderlich sei. Viel eher steht das Individuum und somit das individualistische Denken in der Biologie im Vordergrund. Widerspiegeln tut sich dies zum Beispiel im Populationsdenken und der Idee, dass die Variabilität der Lebewesen auch erst die Voraussetzung für Evolution schafft (Mayr, 2007). Diese für die Evolutionsbiologie revolutionäre individualistische Auffassung von Arten wird auch unter der *Individuality Thesis* zusammengefasst (Wilkins, 2013), die auf drei Aussagen aufbaut: (1) Natürliche Klassen in der Biologie sind keine universellen, sondern historische Objekte; (2) als Individuen sind biologische Objekte kausal zusammenhängend und agieren als System üblicherweise in Form von Populationen; und (3) biologische Objekte präsentieren sich als einzigartige Kombination von beobachtbaren Eigenschaften.

Offenheit und Komplexität biologischer Untersuchungsobjekte

Zur Variabilität der biologischen Untersuchungsobjekte kommt außerdem ihre enorme Komplexität hinzu, weshalb biologische Untersuchungsobjekte immer komplexe Systeme darstellen (Vollmer & Mayr, 2010). So reicht diese Komplexität nicht nur über die Anzahl der Teile des Systems, sondern auch über die vielen Möglichkeiten ihrer Interaktion untereinander, bis hin zur Offenheit der Systeme in Interaktion mit anderen Systemen. Die Biologie ist auch deshalb in viele Teildisziplinen untergliedert, weil damit die verschiedenen Systemebenen fokussiert werden können. Erkennbar ist dies zum Beispiel in den Subdisziplinen der Molekularbiologie, welche auf zellulärer Systemebene forscht, und der Ökologie, welche auf Systemebene ganzer Ökosysteme forscht. In der Biologie muss zwischen Systemebenen gewechselt werden, in dem Bewusstsein, dass die betrachtete Ebene

in der Analyse zum einen ein eigenes System, zum anderen aber auch Teile eines über- oder untergeordneten Systems berücksichtigen muss (Schizas et al., 2016). Dabei ist es bei der Formulierung von Erklärungen biologischer Phänomene essenziell, diese Interaktion der Systemebenen beim Finden der Ursachen mit einzubeziehen (s. Kap. 4).

Doppelrolle der untersuchenden Person im Untersuchungsprozess

Der Mensch findet sich im biologischen Untersuchungsprozess in einer Doppelrolle wieder. Der Mensch ist Teil der belebten Umwelt, ist auch ein Lebewesen in einem biologischen System und weist als solches „grundsätzliche Gemeinsamkeiten“ (Köchy, 2020, S. 79) mit anderen Lebewesen auf. In der Untersuchung schöpft die untersuchende Person dabei aus ihren eigenen Erfahrungen, um die Beobachtungen, die sie tätigt, zu interpretieren (Köchy, 2020). Im Extremen zeigt sich dies in der Interpretation von Beobachtungen an dem Menschen sehr ähnlichen Lebewesen wie zum Beispiel Menschenaffen. Dort interpretiert die untersuchende Person basierend auf den eigenen menschlichen Erfahrungen und extrapoliert diese auf das Untersuchungsobjekt (Köchy, 2020). Die Verhaltensbiologie zeigt dabei eine besondere Anfälligkeit, eine Identifikation mit dem Untersuchungsobjekt herzustellen und so in der Interpretation von dessen Verhalten durch die eigenen Erfahrungen beeinflusst zu sein. Äußern tut sich dies dann unter anderem auch in Anthropomorphismen, bei denen nichtmenschlichen Lebewesen menschliche Eigenschaften zugesprochen werden, wie in etwa ein eigener Wille (Hartelt et al., 2022).

An den drei Charakteristika wird deutlich, inwiefern sich die Biologie von Perspektiven in der Physik und Chemie unterscheiden kann. Unter These 2 wird nun diskutiert, inwiefern bereits diese drei ausgewählten Charakteristika als potenzielle Bio-NOS-Aspekte die Notwendigkeit der Konzeptualisierung eines Bio-NOS konstituieren.

These 2: Die Konzeptualisierung eines disziplinspezifischen Bio-NOS ist notwendig

Inwiefern besteht ein Konsens über Bio-NOS?

In der Philosophie der Biologie wird schon seit längerem über die Autonomie der Biologie diskutiert. Dabei wird untersucht, inwiefern die Biologie überhaupt den Anspruch erheben kann, eine eigenständige Naturwissenschaft zu sein. Im Zuge dieser Diskussion treten reduktionistische Sichtweisen auf, also solche, die behaupten, die Biologie ließe sich vollständig auf die Gesetze und Denkweisen der Chemie und Physik reduzieren (Schizas et al., 2016). Die Philosophie der Biologie hat, wie oben gezeigt, bereits Charakteristika der Biologie herausgearbeitet, was die reduktionistische Sichtweise widerlegt und nahelegt, Bio-NOS-Aspekte abzuleiten (Schizas et al., 2016).

Bisher zeigt sich allerdings, dass in der biologiedidaktischen Literatur noch keine einheitliche Übersicht über den Einfluss der in der Wissenschaftstheorie erörterten Charakteristika auf die biologische Forschung besteht. So ist zwar über einige Charakteristika der Biologie bekannt, wie genau diese die einzelnen Subdisziplinen in ihrer Forschungspraxis beeinflussen (z. B. Verwendung ultimativer Erklärungen als Erkenntnismethode in der Sub-

disziplin Evolutionsbiologie; Langlet, 2016), jedoch nicht, wie relevant Didaktiker*innen in den Naturwissenschaften die Repräsentation dieses Einflusses im Biologieunterricht einschätzen. Um die Auswirkungen relevanter Charakteristika eines Bio-NOS systematisch auf die Forschungspraxis zu konzeptualisieren, steht eine Prüfung aller sieben potenziellen Bio-NOS-Aspekte in einer Gruppe von aktiv forschenden Biolog*innen aus. Da nicht von einem einheitlichen Bild der Biologie auszugehen ist (Vollmer & Mayr, 2010), wird die Stichprobe so gewählt, dass verschiedene Subdisziplinen befragt werden, sodass die Perspektiven verglichen werden können. Ziel der Befragung ist, Aufschluss darüber zu gewinnen, inwiefern die biologische Forschung in den einzelnen Subdisziplinen durch die Bio-NOS-Aspekte beeinflusst wird, und daraus Instruktionsstrategien für den Biologieunterricht abzuleiten, die die Forschungspraxis in den Subdisziplinen widerspiegeln können. Weiterhin wäre auch die Beurteilung der Aspekte durch Didaktiker*innen der Naturwissenschaften vorzunehmen, um festzustellen, wie relevant jeder einzelne Bio-NOS-Aspekt für das Erreichen des Unterrichtsziels einer funktionalen SL ist.

Inwiefern ist ein Bio-NOS für Schüler*innen notwendig?

Wir argumentieren, dass ein Bio-NOS nicht nur für Schüler*innen verständlich, sondern auch notwendig ist, um bestimmte fachwissenschaftliche Inhalte des Biologieunterrichts erschließen zu können. Will man dies erreichen, ist es notwendig, dass Lehrkräfte über NOS-Verständnis verfügen, um dieses im Unterricht adäquat vermitteln zu können.

Da die Evolutionsbiologie sich besonders charakteristisch von den physikalischen Naturwissenschaften abgrenzt (Mayr, 2007) und der Bezug zur Evolutionstheorie als die Biologie vereinende Theorie besteht, lässt sich daran zeigen, weshalb ein Bio-NOS notwendig ist. Greift man auf die unter der ersten These erläuterten Charakteristika zurück, beruhen einige weit verbreitete Schüler*innenvorstellungen auf einem fachlich inadäquaten Verständnis eben dieser Charakteristika, namentlich essenzialistische, teleologische und anthropomorphe Vorstellungen. Diese drei Schüler*innenvorstellungen werden auch als Denkfiguren oder allgemeine Denkweisen zusammengefasst, da sie sich nicht nur auf ein spezifisches biologisches Phänomen beziehen, sondern übergreifend auf eine Reihe biologischer Phänomene angewendet werden (Hammann & Asshoff, 2019).

Die teleologische Denkweise fließt dabei als eine Art der Erklärung biologischer Phänomene ein (Hammann & Asshoff, 2019). Schüler*innen erklären das Vorhandensein von Strukturen von Organismen oder auch ganze Organismen als die Folge eines verfolgten Zweckes (*Zweckgerichtetheit*; Hammann & Asshoff, 2019, S. 28). So ist eine typische teleologische Erklärung für *Flügel*, dass sie zum *Fliegen* entstanden sind. Fachlich angemessen sind in der Biologie hingegen kausale und mechanistische Erklärungen oder teleonomische Erklärungen (*Zweckmäßigkeit*; Hammann & Asshoff, 2019, S. 28). Die Flügel in unserem Beispiel erwiesen sich nach ihrer Entstehung als zweckmäßig durch einen Vorteil, der aus ihrer Funktion *fliegen können* resultiert.

Die essenzialistische Denkweise beschreibt grundlegend die Annahme, dass biologischen Objekten bestimmte, nicht beobachtbare und unveränderliche Eigenschaften innewohnen, die eine Zugehörigkeit zu einer Kategorie nach sich ziehen (Hammann & Asshoff, 2019). Im Kontext der Evolutionsbiologie resultiert aus dieser Denkweise die

Schüler*innenvorstellung der Artkonstanz, also, dass es sich bei Arten um „unveränderliche, homogene und klar abgrenzbare Einheiten“ (Hamman & Asshoff, 2019, S. 45) handelt. Vergleicht man dies mit der *Individuality Thesis* (Wilkins, 2013) aus dem Bio-NOS-Aspekt *Variabilität biologischer Untersuchungsobjekte*, widerspricht diese Denkweise den oben genannten drei Aussagen, also die Individuen einer Art werden nicht (1) als veränderbare, historische Objekte, nicht (2) als Populationen und nicht (3) als einzigartige Kombination von beobachtbaren Eigenschaften betrachtet.

Bei der anthropomorph geprägten Denkweise handelt es sich um „Übertragungen von menschlichen Eigenschaften und Denkweisen auf die Natur. Dabei werden die Natur als Ganzes oder ihre Teile zu Akteuren, die Motive besitzen und wie Menschen denken und handeln“ (Hamman & Asshoff, 2019, S. 33). Ähnlich wie bei der teleologischen Denkweise erklären Schüler*innen hier evolutive Vorgänge wie die Anpassung von Organismen als eine aktive sowie mit Motiven behaftete und damit zweckgerichtete Handlung (Hamman & Asshoff, 2019).

Hartelt et al. (2022) und van Dijk (2009) untersuchten dazu, wie Biologielehrkräfte diese Vorstellungen im Unterricht aufgreifen. Voraussetzung ist, dass die Lehrkräfte diese Schüler*innenvorstellungen diagnostizieren können, wozu ein Wissen über die korrespondierenden NOS-Aspekte nützlich ist. Lehrkräfte sollen zum Beispiel erkennen, dass eine essenzialistische Denkweise bei Schüler*innen in Konflikt mit der Variabilität biologischer Untersuchungsobjekte und daraus resultierendem Populationsdenken steht (van Dijk, 2009). Ebenso zeigt sich, dass Vorstellungen zu adaptiven Prozessen zwar erkannt, allerdings nicht angemessen adressiert werden. Der Gedanke, dass sich evolutionäre Prozesse auf mehreren Systemebenen (vgl. Bio-NOS-Aspekt *Offenheit und Komplexität biologischer Untersuchungsobjekte*) abspielen, wäre hilfreich bei der Rekonstruktion von teleologischen Vorstellungen zu fachlich angemessenen Vorstellungen (z. B. mechanistische Erklärungen) (van Dijk, 2009). Zuletzt würde auch das kritische Reflektieren anthropomorph geprägter Vorstellungen zu zweckgerichteten und aktiven Handlungen von Organismen im Unterricht ein adäquates Verstehen von Evolutionsprozessen fördern (vgl. Hartelt et al., 2022). Dies setzt allerdings voraus, dass die Lehrkraft den Bio-NOS-Aspekt der *Doppelrolle der untersuchenden Person im Untersuchungsprozess* reflektieren kann. Hartelt und Kolleg*innen (2022) zeigten dazu auch empirisch, dass Lehrkräfte mit höherem Verständnis der Evolution signifikant häufiger in der Lage waren, Schüler*innenvorstellungen zu diagnostizieren und angemessen zu adressieren.

Fassen wir zusammen: Die drei Bio-NOS-Aspekte helfen Lehrkräften, Schüler*innenvorstellungen zu diagnostizieren und zu adressieren und, sofern im Unterricht expliziert, Schüler*innen eine Argumentationshilfe zu bieten, um adäquate Vorstellungen über Evolution zu entwickeln. Für andere potenzielle Bio-NOS-Aspekte ist deren Nützlichkeit zu prüfen.

Inwiefern ermöglicht ein Bio-NOS eine Partizipation von Schüler*innen in der Gesellschaft?

Zuletzt bleibt noch die wahrscheinlich wichtigste Frage, inwieweit ein Bio-NOS überhaupt nützlich für die Teilhabe in der Gesellschaft ist. Hierzu ziehen wir noch einmal All-

chin (2011) heran, um die Nützlichkeit eines Bio-NOS anhand des angestrebten Zieles einer funktionalen SL zu beantworten.

Die Funktionalität eines NOS-Verständnisses nach Allchin (2011) bedeutet nicht zwangsläufig, dass auch eine disziplinspezifische Konzeptionalisierung erforderlich ist. Er argumentiert lediglich, dass ein funktionales NOS-Verständnis bedeutet, NOS-Aspekte in bestimmten Kontexten auch anwenden zu können, also nicht nur über ein deklaratives, sondern auch über ein prozedurales Wissen zu diesen Aspekten zu verfügen. Hodson (2009), der auch die Auffassung einer funktionalen SL vertritt, stellt sich dazu die Frage, inwiefern von einer übergreifenden *literacy* oder von mehreren spezifischen *literacies* auszugehen ist. Dabei kritisiert er unter anderem, dass zu viel von dem, was die Naturwissenschaften charakterisieren soll, eigentlich nur die Physik charakterisiert und dass Physik eine atypische Naturwissenschaft sei („[...] too much of what is said to characterize science is really about physics, and physics is an atypical science“; Hodson, 2009, S. 233). Er geht davon aus, dass SL abhängig vom jeweiligen Kontext ist und ein elaboriertes NOS-Verständnis das Wissen darum beinhaltet, dass die naturwissenschaftlichen Disziplinen in ihren Erkenntnismethoden und ihrer *nature of knowledge* in Abhängigkeit von Inhalt, Kontext und Zweck variieren. Beispielhaft stellt er dazu die *environmental literacy* für eine *literacy* im konkreten Kontext der Umweltbildung vor. Diese beinhaltet laut Hodson (2009) das Wissen und Verständnis über die Umwelt und den Einfluss der Menschen darauf, die Einstellungen und Werthaltungen, die einen sensiblen Umgang mit der Umwelt bewirken, und eine Entwicklung eines Verantwortungsgefühls zur Erhaltung der Umwelt. Auch van Dijk (2014) plädiert für eine NOS-Konzeptionalisierung basierend auf konkreten Kontexten. Dies zieht unbedingt nach sich, spezifischere Ansätze zur Konzeptionalisierung zu verfolgen, um aktuellen Diskursen gerecht zu werden: „The development of a more diversified view of science is therefore believed to be important for students to understand the complexities and uncertainties surrounding socioscientific issues such as those concerning biodiversity conservation and climate change“ (van Dijk, 2014, S. 399). Dies führt zu der Annahme, NOS sollte kontextabhängig gelehrt und gelernt werden. Das bedeutet, dass zwangsläufig disziplinspezifische Ansätze aufgrund der historisch gewachsenen Forschungsdisziplinen verfolgt werden müssen. Wenn also eine funktionale SL als das Ziel des Unterrichts der naturwissenschaftlichen Fächer angesehen wird, ist eine funktionale und damit kontext- und disziplinabhängige NOS-Konzeptualisierung vonnöten.

Ein beispielhafter gesellschaftliche Diskurs, bei dem ein Verständnis über die drei unter These 1 vorgestellten Bio-NOS-Aspekte vorteilhaft ist, kann sich um das Verhältnis von naturwissenschaftlichen Theorien und religiös motivierten, pseudowissenschaftlichen Theorien abspielen. So führt Hodson (2009) aus, dass besonders Personen, die über ein geringes biologisches Fachwissen und inadäquates NOS-Verständnis verfügen, anfällig für Argumente der *Intelligent-Design*-Bewegung sind. Hier kann bereits ein Verständnis der Bio-NOS-Aspekte, wie unter dem vorherigen Kriterium erörtert, als ein Ansatz zur Einordnung dieser Argumente dienen. Diese beruhen vornehmlich auf teleologischen und essenzialistischen Annahmen zur Entstehung der biologischen Vielfalt und besagen, dass die Arten sich aus einer geringeren Anzahl von Grundtypen entwickelt haben, die von

einem intelligenten Designer erschaffen wurden. Wie dargelegt, zeigt sich, dass ein adäquates Bio-NOS-Verständnis unabdinglich für das Verständnis der Evolution als biologievereinender Theorie ist und dadurch erst dazu befähigt, Argumente der *Intelligent-Design*-Bewegung einordnen und entkräften zu können.

Unter Berücksichtigung der drei an Lederman (2006) angelehnten Kriterien sollen innerhalb einer biologiespezifischen Konzeptionalisierung von NOS alle sieben Aspekte in ihrer Wirksamkeit für den Unterricht überprüft werden. Dies soll nicht nur theoretisch, sondern vor allem empirisch geschehen, um ein konsensfähiges Bio-NOS im Sinne eines funktionalen Aspekts professioneller Kompetenz von Lehrkräften zu entwickeln.

3.3 Fazit und Ausblick

Um dem Ziel der Erlangung einer funktionalen SL nach Allchin (2011) oder Hodson (2009) gerecht zu werden, soll das NOS-Verständnis biologisch konzeptualisiert werden. Dazu wurden hier exemplarisch drei Charakteristika der Wissenschaft Biologie beschrieben, die unter mehreren zuvorderst ein Bio-NOS spezifizieren. Es wird argumentiert, dass eine Relevanz und damit Berechtigung besteht, diese Charakteristika in ein Bio-NOS zu übernehmen, weil es Lehrkräfte befähigt, Schüler*innenvorstellungen zu diagnostizieren, zu adressieren und darüber hinaus Schüler*innen eine Grundlage bietet, Evolution sachgerecht zu verstehen sowie auf die Teilnahme an Diskursen mit einem Biologiebezug vorzubereiten.

Es zeigt sich ein Handlungsbedarf in der Konzeptualisierung eines Modells zum Professionswissen von Lehrkräften, in dem der Wissensbereich des fachdidaktischen Wissens (PCK) disziplinspezifisch und nicht nur disziplinübergreifend für alle Naturwissenschaften konzeptualisiert wird. Van Dijk (2009, 2014) schlägt dazu vor, eine disziplinspezifische Ausschärfung auf Basis von sogenannten *Content Representations* (CoRe; Loughran et al., 2004) vorzunehmen, also das PCK in Form von Inhaltsbereichen zu differenzieren (Abb. 3.1).

So würde je nach Inhalt, im vorliegenden Beispiel zur Evolution, ein PCK konzeptualisiert, in welchem das Wissen über die zentralen Inhalte und fachlich belastbaren Vorstellungen, Schüler*innenvorstellungen (z. B. Essentialismus) und über Instruktionsstrategien repräsentiert ist. Lehrkräfte müssten zusätzlich über ein fachlich belastbares Wissen über NOS-Aspekte verfügen, die im Kontext Evolution eine Rolle spielen (z. B. *Variabilität der biologischen Objekte, Komplexität und Offenheit biologischer Objekte, Doppelrolle der untersuchenden Person im Untersuchungsprozess*).

Diese Analyse wäre auf andere Inhaltsbereiche der Curricula mithilfe von CoRes (Loughran et al., 2004) zu adaptieren, um ein umfassendes disziplinspezifisches PCK für Lehrkräfte zu formulieren und diese in ihrer Ausbildung gezielt auf die Förderung einer funktionalen SL vorzubereiten.



Abb. 3.1 PCK-Modell mit CoRe „Evolution“ zu kontextabhängigem NOS nach van Dijk (2014)

Literatur

- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518–542. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Capps, D. K., & Crawford, B. A. (2013). Inquiry-based instruction and teaching about nature of science: Are they happening? *Journal of Science Teacher Education*, 24(3), 497–526. <https://doi.org/10.1007/s10972-012-9314-z>
- van Dijk, E. M. (2009). Teachers' views on understanding evolutionary theory: A PCK-study in the framework of the ERTE-model. *Teaching and Teacher Education*, 25(2), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2008.09.008>
- van Dijk, E. M. (2014). Understanding the heterogeneous nature of science: A comprehensive notion of PCK for scientific literacy. *Science Education*, 98(3), 397–411. <https://doi.org/10.1002/sce.21110>
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education* (Bd. 43). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4>
- Hammann, M., & Asshoff, R. (2019). *Schülervorstellungen im Biologieunterricht: Ursachen für Lernschwierigkeiten*. Unterricht Biologie.
- Hartelt, T., Martens, H., & Minkley, N. (2022). Teachers' ability to diagnose and deal with alternative student conceptions of evolution. *Science Education*, 106(3), 706–738. <https://doi.org/10.1002/sce.21705>
- Hodson, D. (2009). *Teaching and learning science*. Sense.
- Köchy, K. (2020). Forschungsumwelten der Tierforschung. In F. Jaeger (Hrsg.), *Cultural animal studies. Menschen und Tiere* (Bd. 9, S. 75–92). J.B. Metzler. https://doi.org/10.1007/978-3-476-05625-2_5
- Langlet, J. (2016). Kultur der Naturwissenschaften. In H. Gropengießer, U. Harms, & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (S. 80–104). Aulis.
- Lederman, N. G. (2006). Syntax of nature of science within inquiry and science instruction. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Hrsg.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning and teacher education* (S. 301–317). Springer.
- Lederman, N. G., & Lederman, J. (2014). Research on teaching and learning of nature of science. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 600–620). Routledge.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature

- of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370–391. <https://doi.org/10.1002/tea.20007>
- Mayr, E. (2007). *What makes biology unique? Considerations on the autonomy of a scientific discipline* (1. Aufl.). Cambridge University Press.
- Neumann, I., & Kremer, K. (2013). Nature of Science und epistemologische Überzeugungen – Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 209–232.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What „ideas-about-science“ should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720. <https://doi.org/10.1002/tea.10105>
- 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>
- Schizas, D., Psillos, D., Stamou, G., & G. (2016). Nature of science or nature of the sciences? *Science Education*, 100(4), 706–733. <https://doi.org/10.1002/sce.21216>
- Vollmer, G., & Mayr, E. (2010). *Biophilosophie*. Reclams Universal-Bibliothek: Nr. 9386. Reclam.
- Wilkins, J. S. (2013). Essentialism in biology. In K. Kampourakis (Hrsg.), *History, philosophy and theory of the life sciences. The philosophy of biology* (Bd. 1, S. 395–419). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6537-5_19

Sophie-Luise Müller hat Englisch und Biologie für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und Gymnasien an der Freien Universität Berlin studiert. Sie ist seit 2022 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Biologie der Freien Universität Berlin in der Didaktik der Biologie. Ihr Forschungs- und Arbeitsschwerpunkt liegt in der Professionsforschung und im Speziellen in der Konzeptualisierung eines biologiespezifischen fachdidaktischen Wissens.

Prof. Dr. Daniela Mahler studierte Biologie und Geografie für das Lehramt an der Universität Hamburg und absolvierte in Hamburg den Vorbereitungsdienst. Anschließend arbeitete sie am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik in Kiel und schloss dort 2017 ihre Promotion ab. Seit 2021 ist Daniela Mahler an der Freien Universität Berlin als Juniorprofessorin für die Didaktik der Biologie tätig. Ihre Forschungsschwerpunkte beziehen sich auf die Lehrkräfteprofessionsforschung, digitale Medien in Biologieunterricht und Biologielehrkräftebildung sowie *Nature of Science*.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Wie lassen sich biologische Phänomene erklären? – Metawissen über biologische Erklärungstypen für den Biologieunterricht

4

Marcus Hammann, Friederike Trommler und Dirk Krüger

Contents

4.1	Einführung.....	32
4.2	Dikurs.....	35
	These 1: Die Vielfalt unterschiedlicher Erklärungstypen ist ein wesentliches Kennzeichen biologischer Erklärungen.....	35
	These 2: Ein Strukturschema hilft Lernenden beim Umgang mit der Vielfalt unterschiedlicher Erklärungstypen.....	37
	These 3: Lernende sollen Metawissen über die drei Erklärungstypen besitzen.....	39
4.3	Fazit und Ausblick.....	42
	Literatur.....	42

M. Hammann (✉)

Zentrum für Didaktik der Biologie, Universität Münster, Münster, Deutschland

E-Mail: hammann.m@uni-muenster.de

F. Trommler

Wilhelm-Ostwald-Gymnasium, Leipzig, Deutschland

E-Mail: friederike.trommler@wog.lernsax.de

D. Krüger

Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

E-Mail: dirk.krueger@fu-berlin.de

© Der/die Autor(en) 2024

B. Reinisch et al. (Hrsg.), *Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis*, https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2_4

31

Zusammenfassung

Dieser Beitrag thematisiert die Vielfalt biologischer Erklärungstypen, kontrastiert die Erklärungstypen gegeneinander und verdeutlicht das Entwickeln und Finden von Erklärungen als abduzierendes Schließen. Dies geschieht in der Annahme, dass das fachspezifische Wissenschaftsverständnis von Lehrenden und Lernenden entwickelt werden kann, indem sie Metawissen über die Entstehung und Vielfalt biologischer Erklärungstypen erwerben. Dabei sollen Fragestellungen, Vorgehensweisen bei der Beantwortung der Fragestellungen und korrespondierende Erklärungstypen im Zusammenhang miteinander unterrichtet werden. Drei Erklärungstypen werden in diesem Beitrag charakterisiert und der Mehrwert einer Differenzierung dieser Typen für den Biologieunterricht wird analysiert. Speziell wird argumentiert, dass fehlendes Metawissen über die Vielfalt biologischer Erklärungstypen bei Lernenden eine mögliche Ursache dafür darstellen kann, dass die Funktion eines Merkmals als die alleinige Ursache für die Entstehung des Merkmals im Laufe der Evolution angeführt wird. Hierbei handelt es sich um eine unangemessene teleologische Erklärung. Eine weitere aus fehlendem Metawissen resultierende Verwechslungsmöglichkeit besteht zwischen funktionalen und mechanistischen Erklärungen.

- ▶ **Abstract** This paper is concerned with the diversity of biological explanation types and the differences between the biological explanation types. Furthermore, this paper clarifies the development and finding of explanations as abductive inference. The main argument is that teachers' and learners' subject-specific understanding of science can be developed by acquiring meta-knowledge about the development and diversity of biological explanation types. In doing so, questions, procedures for answering the questions, and the corresponding types of explanation are to be taught in relation to each other. We characterise three types of explanations in this article and describe the added value of differentiating between these types of explanations for biology instruction. In particular, we argue that a lack of meta-knowledge about the diversity of biological explanation types among learners is a possible cause for citing the function of a trait as the sole cause for its emergence in the course of evolution. This is an inappropriate teleological explanation. Furthermore, functional and mechanistic explanations can easily be confused when meta-knowledge is lacking.

4.1 Einführung

Der vorliegende Beitrag bezieht sich auf den Themenschwerpunkt *Nature of Science und Theorie* der Tagung „Biologiedidaktische *Nature of Science*-Forschung: Zukunftsweisende Praxis“. Speziell leisten wir einen Beitrag zur Leitfrage der Tagung, inwiefern biologiespezifische Merkmale von *Nature of Science* (NOS) in theoretischen Konzeptualisierungen

und im Unterricht Berücksichtigung finden sollten. Unsere Thesen sind, dass die Vielfalt unterschiedlicher Erklärungstypen ein wesentliches Kennzeichen biologischer Erklärungen ist (These 1) und dass ein Strukturschema Lernenden beim Umgang mit der Erklärungsvielfalt hilft (These 2). Unsere zweite These beruht auf der Überlegung, dass Metawissen über das Wesen biologischer Erklärungen hilfreich ist, um wichtige Erkenntnisinteressen der Biologie zu unterscheiden sowie Passungen zwischen Erkenntnisinteresse und Erklärungstyp herzustellen.

Wesentliches Kennzeichen biologischer Erklärungen ist ihre Vielfalt, die unter anderem der Diversität biologischer Phänomene und der sich daraus ergebenden Pluralität unterschiedlicher Forschungszugänge geschuldet ist. Wichtige Typen biologischer Erklärungen sind funktionale, mechanistische, historische und evolutive Erklärungen (Brailard & Malaterre, 2015). Obwohl die Philosophie der Biologie die Erklärungsvielfalt als ein Kennzeichen der Biowissenschaften herausgestellt hat (Brailard & Malaterre, 2015) und in der Vielfalt unterschiedlicher Erklärungstypen der Biowissenschaften einen wesentlichen Unterschied zu den Erklärungen in der Physik und Chemie sieht, fehlen momentan weitgehend unterrichtliche Ansätze zur Vermittlung eines biologisch geprägten Verständnisses von NOS in dieser Dimension. Daher werden Lernende auf einen angemessenen Umgang mit der Vielfalt biologischer Erklärungstypen durch den Biologieunterricht unzureichend vorbereitet.

Erschwerend kommt hinzu, dass das Finden tragfähiger Erklärungen für ein bisher unerforschtes Phänomen anspruchsvoll ist (Krüger & Upmeyer zu Belzen, 2021). In der Wissenschaftstheorie werden das Suchen und Finden von Erklärungen dem logischen Schließen zugeordnet und Abduzieren genannt (Schurz, 2008). Beim Abduzieren werden Erklärungen mit Rückgriff auf theoretisches Fachwissen selektiv gesucht oder – wenn entsprechendes theoretisches Wissen nicht verfügbar ist – kreativ erfunden (Schurz, 2008). Abduzieren ist gehalts- und erkenntniserweiternd (Meyer, 2009) und damit der Prozess, der neue Ideen in die Wissenschaft bringt. Abduzieren ist unabhängig davon, ob es selektiv oder kreativ erfolgt, die theoretische Grundlage für die oben benannten Erklärungstypen. Im problemorientierten Unterrichtseinstieg findet Abduzieren nahezu unbemerkt statt, wenn Lernende „Vermutungen“ zu einem Einstiegsphänomen formulieren und damit versuchen, Erklärungen für das Zustandekommen des Phänomens zu finden. Diese Erklärungsversuche (s. Kap. 9) der Lernenden gilt es mit ihnen zu evaluieren und sie herauszufordern, zunehmend tiefgreifende wissenschaftliche Erklärungen zu entwickeln.

Über die skizzierten Probleme hinaus wird der Begriff „Erklären“ im Unterricht in verschiedenen Bedeutungen unscharf genutzt (Rocksén, 2016; Trommler et al., 2018). Speziell weichen die alltagssprachliche und die pädagogische Bedeutung des Begriffs Erklären als Verständnis erzeugendes Erklären von der naturwissenschaftlichen Bedeutung evolutiver, funktionaler oder mechanistischer Erklärungen ab (Rocksén, 2016; Trommler et al., 2018). Darüber hinaus fehlt den Lernenden häufig Metawissen über die Unterscheidung verschiedener Bedeutungen und Typen von biologischen Erklärungen (Abrams & Southerland, 2001). Werden sie dann vage aufgefordert, ein Phänomen zu erklären, bleibt letztlich offen, ob die Lernenden wissen, was von ihnen erwartet wird und welche Art von Erklärung konstruiert werden soll.

In Übereinstimmung mit einer konstruktivistischen Lehr-Lern-Haltung sollen Lernende biologische Erklärungen nicht nur auswendig lernen, sondern die Erklärungen auch selbst entwickeln. Die didaktische Herausforderung liegt dabei darin, den Lernenden Daten und Theorien zur Verfügung zu stellen, die es ihnen erlauben, durch eigene Überlegungen zu einer Erklärung zu gelangen, die wissenschaftlich adäquat ist (Braaten & Windschitl, 2010). Den grundsätzlichen Abduktionsprozess des Suchens und Findens einer Erklärung gliedern Johnson und Krems (2001) in sieben Teilschritte ohne feste Reihenfolge: Zu einem Phänomen, das beobachtet wird (1), werden Daten gesammelt (2) und eine Erklärung entwickelt (3). Diese Erklärung wird mit neuen Daten auf Konsistenz geprüft (4) und im Falle von Unstimmigkeiten zwischen Erklärung und Daten wird die Erklärung angepasst (5). Gibt es mehrere mögliche Erklärungen, werden diese vergleichend bewertet (6), und es wird eine konsistente, am besten zu den Daten passende Erklärung ausgewählt (7). Versuchen die Lernenden dabei, Erklärungen auf Grundlage einer oder mehrerer theoretischer Bezüge zu entwickeln, nennt man diese Form des Abduzierens selektiv, weil aus möglichen theoretischen Optionen ausgewählt wird. Erfinden die Lernenden hingegen eine Erklärung, die ohne deutlichen Bezug zu bekanntem theoretischem Wissen gebildet wird, abduzieren sie kreativ. Die Unterscheidung zwischen den beiden Formen des Abduzierens gelingt im Unterricht sicherlich nicht trennscharf, und es können Mischformen auftreten. Lernende können dabei teilweise auf bestehendes fachliches Vorwissen zurückgreifen und dies mit kreativen Elementen weiterführen. Grundsätzlich hilft es, die beiden Formen des Abduzierens als Lehrkraft zu kennen und soweit möglich Erklärungen der Lernenden zu kategorisieren. Damit ließe sich begründen, warum im weiteren Unterricht eher die auf Wissen basierenden Erklärungsmöglichkeiten, also überwiegend selektiv abduzierte Erklärungen, weiterverfolgt werden. Deren Attraktivität für den Unterricht liegt darin, dass deren theoretische Fundierung oft auf den Sachverhalt zielt, der vermittelt werden soll. Dagegen resultieren erfundene, also kreativ abduzierte Erklärungen oft aus unverstandenen wissenschaftlichen Konzepten und eingeschränktem Zugang zu empirischen Daten (Braaten & Windschitl, 2010) und helfen in Vermittlungsabsicht meist nicht weiter. Sie können allerdings Ideen für ein interessantes Forschungsprojekt für Schüler*innen enthalten. In der Wissenschaft sind gerade kreative Erklärungen potenzielle Motoren wissenschaftlichen Fortschritts, wenn Erklärungen für noch nicht (ausreichend) erforschte Phänomene erfunden werden. Insbesondere beim retrospektiven Schließen in evolutionären Zusammenhängen haben abduktive kreative Schlüsse der Biologie entscheidende Forschungsimpulse gegeben (vgl. die Theorien von Lamarck und Darwin), indem Erklärungen für nicht mehr empirisch reproduzierbare Geschehnisse entwickelt wurden (Kind & Osborne, 2017). Lernende benötigen einerseits Scaffolding, um domänenspezifische Erklärungen generieren zu können, und andererseits denkerischen Freiraum für das abduktive Schließen, um selbstständig biologische Erklärungen generieren zu können.

Erklärungen sind ein wesentlicher Bestandteil der Naturwissenschaften. Die Frage, was genau man unter Erklärungen versteht, ist somit von großem Interesse. Besonders einflussreich auf Debatten zum Erklärungs begriff war das 1948 von Hempel und Oppenheim

entwickelte deduktiv-nomologische Modell. Demnach lässt sich ein Phänomen (Explanandum) erklären, wenn man es auf mindestens eine Prämisse (Explanans) zurückführen kann, die naturgesetzlichen Charakter besitzt bzw. einen kausalen Zusammenhang als Ursache für das Explanandum beschreibt. Dieses Erklärungsverständnis ließ zunächst Zweifel daran aufkommen, ob die Biologie eine genuine Naturwissenschaft sei. Besonders umstritten war in dem Zusammenhang die gängige biologische Praxis, organismische Strukturen und Prozesse funktional – und damit in Bezug auf einen Zweck statt auf eine Ursache – zu erklären (Braillard & Malaterre, 2015).

Die Philosophie der Biologie analysierte den Konflikt zwischen Charakterisierungen des Erklärungsbegriffs, die sich überwiegend an der physikalischen Praxis orientierten, und Erklärungen, die in der biologischen Praxis Anwendung fanden. In der Biologie lässt sich der Erklärungs begriff nicht universalistisch charakterisieren, vielmehr gibt es eine Vielzahl an Erklärungstypen. Dieser Erklärungspluralismus ist darauf zurückzuführen, dass in der Biologie eine Vielzahl an Organisationsebenen mit einer Vielzahl an Methoden erforscht wird, die nicht durch vereinheitlichende Prinzipien umfassend beschrieben werden können (Braillard & Malaterre, 2015).

4.2 Dikurs

These 1: Die Vielfalt unterschiedlicher Erklärungstypen ist ein wesentliches Kennzeichen biologischer Erklärungen

Die Vielfalt biologischer Erklärungstypen resultiert aus der Mehrperspektivität unterschiedlicher Fragestellungen, mit denen die verschiedenen Teildisziplinen der Biowissenschaften biologische Phänomene untersuchen. Die grundlegende Unterscheidung zwischen proximat und ultimat Ursachen lässt sich damit begründen. Ernst Mayr (1961) unterschied in „Cause and Effect in Biology“ grundlegend zwischen proximat und ultimat Ursachen. Er argumentierte anhand des Phänomens des Vogelzugs, dass *Wie*-Fragen, also *Wie funktioniert das*-Fragen, auf proximate Ursachen aus der Perspektive der Physiologie auf Individualebene fokussieren. Hingegen sind *Warum*-Fragen, also *Warum ist das entstanden*-Fragen bzw. *Welche Bedeutung hat das*-Fragen, auf ultimate Ursachen aus der Perspektive der Evolution auf Populationsebene ausgerichtet. Mayr argumentierte, dass die resultierenden physiologischen und evolutionären Erklärungen Antworten auf unterschiedliche Fragestellungen und keine sich gegenseitig ausschließenden Alternativen darstellen. Dabei stellt eine proximate Ursache einen direkten, mechanistischen Einfluss auf ein Merkmal dar, beispielsweise der Einfluss der Tageslänge auf die Hormonkonzentration im Gehirn des Vogels, wobei die Hormonkonzentration bedeutsam für die Zugunruhe ist, die zum Vogelzug führt. Ultimate Ursachen sind im Unterschied hierzu Bestandteil evolutionärer Erklärungen. Sie erklären die Evolution eines Merkmals in Bezug auf Evolutionsfaktoren, z. B. den Fortpflanzungsvorteil für Vögel, der sich ergibt, wenn sie für die Aufzucht von Jungvögeln in klimatisch günstige Regionen ziehen. Aufbauend auf

Mayrs Unterscheidung zwischen proximat und ultimat Ursachen leistete Nikolaas Tinbergen (1963) mit seinen vier Fragen zur Erklärung des Verhaltens von Tieren einen grundlegenden Beitrag zum Verständnis, dass biologische Phänomene nie monokausal erklärbar sind, sondern stets multikausal.

Braillard und Malaterre gaben 2015 den Band *Explanation in Biology: An Enquiry into the Diversity of Explanatory Patterns in the Life Sciences* heraus, welcher angefangen vom deduktiv-nomologischen Modell bis zur Überzeugung, dass jede Domäne spezifische Erklärungstypen aufweist, den philosophischen Hintergrund zum Erklärungs-begriff aufarbeitet. Typisch für die Andersartigkeit der Erklärungen in der Biologie im Vergleich zu Erklärungen in der Physik sind Braillard und Malaterre (2015) zufolge historische Erklärungen, funktionale Erklärungen und mechanistische Erklärungen, welche im Folgenden kurz charakterisiert werden.

Historische Erklärungen

Historische Erklärungen beziehen sich auf weitgehend zufällige und singuläre Ereignisse in der Vergangenheit und nicht auf evolutionsunabhängige Gesetzmäßigkeiten (Braillard & Malaterre, 2015; van Dijk & Kattmann, 2009). Sie werden daher auch als „*historical narratives*“ bezeichnet. In historischen Erklärungen werden Geschichten über eine Folge von einzigartigen Ereignissen (Explanans; das Erklärende) erzählt, die ein bestimmtes Phänomen (Explanandum; das zu Erklärende) verursacht haben können. Der Verlauf der Evolution ist durch Zufälle bestimmt, beispielsweise Asteroideneinschläge, die zu Massenaussterben führen. Stephen Jay Gould zufolge würde die Evolution nicht noch einmal so verlaufen, wie sie verlaufen ist, wenn man die Evolution wie einen Film zurückspulen und erneut ablaufen lassen könnte (Gould, 1989; zitiert in van Dijk & Kattmann, 2009). Die im Bereich der Evolutionsbiologie abduktiv entwickelten Erklärungen haben in der Entwicklung der Evolutionstheorie durch ihr hohes kreatives Potenzial die theoretische Entwicklung der Biologie wesentlich erweitert. Unabhängig von den evidenzbasierten theoretischen Grundlagen bietet das Themenfeld Evolutionsbiologie großes Potenzial für Lernende, abduktiv kreative Erklärungen zu entwickeln.

Funktionale Erklärungen

In der Biologie werden abweichend von der Physik und Chemie funktionale Erklärungen verwendet. Dabei wird die Zweckmäßigkeit (angemessene Teleologie) biologischer Strukturen und Prozesse analysiert, ohne gleichzeitig eine Erklärung für die Ursachen des Phänomens zu implizieren (unangemessene Teleologie). Einerseits lassen sich Funktionen aus evolutionsbiologischer Sicht betrachten. Dabei lässt sich die Funktion eines Merkmals bestimmen, indem der Selektionsvorteil des Merkmals für die Vorfahren der Organismen bestimmt wird. Andererseits lassen sich Funktionen auch aus einer nicht-evolutionären systemischen Perspektive betrachten. Dabei wird gefragt, welchen Beitrag ein Merkmal zur Aufrechterhaltung der Organisation des Organismus in seinem jetzigen Zustand (z. B. Homöostase) hat. Die systemische Betrachtung von Funktionen im Sinne einer Zweck-Mittel-Relation beinhaltet zudem die Vorstellung der Zielgerichtetheit und damit der Teleologie (Toepfer, 2004). Durch ihre grundsätzliche Kausalität unterliegen die hinter

den funktionalen Erklärungen liegenden Prozesse den Gesetzen der Chemie und Physik. Allerdings stoßen funktionale Erklärungen in der Biologie an ihre Grenzen, denn das komplexe Netz der kausalen Zusammenhänge bleibt wegen emergenter Systemeigenschaften vorläufig unverstanden. Dies eröffnet sowohl Lernenden wie Forschenden die Möglichkeit, kreativ abduktive Erklärungen zu erfinden.

Mechanistische Erklärungen

Darüber hinaus werden in der Biologie mechanistische Erklärungen verwendet (Machamer et al., 2000). In mechanistischen Erklärungen wird aufgezeigt, von welchen interagierenden Komponenten und Aktivitäten eines Systems das Phänomen hervorgebracht wird. Beispielsweise lässt sich mechanistisch das Phänomen erklären, dass sich die Sprossachsen von Pflanzen dem Licht zuwenden (positiver Fototropismus), weil das Pflanzenhormon Auxin an der lichtabgewandten Seite der Sprossachse in einer höheren Konzentration vorliegt und dort zu einem stärkeren Wachstum durch Streckung der Zellen führt, sodass sich die Sprossachse zur lichtzugewandten Seite hin krümmt. Das Phänomen des positiven Fototropismus folgt damit keinem allgemeingültigen Naturgesetz, sondern lässt sich mechanistisch durch die Interaktionen spezifischer Komponenten erklären.

Mechanistische Erklärungen werden auch im Schulkontext auf der Basis soliden Fachwissens zu einem vorliegenden Phänomen vorwiegend theoretisch mit Rückbezug auf bekannte Erklärungsmuster oder über Analogiebildung abduziert. Erklären dabei mehrere Mechanismen das Phänomen, werden sie in Plausibilitätserwägungen gegeneinander abgewogen. In der Wissenschaft halfen bzw. helfen allerdings auch hier kreative Erklärungsversuche. Ein Beispiel, das heute mechanistisch erklärt werden kann, ist das Phänomen springender Gene (Transposons). Diese Erklärung basierte auf einem kreativen Lösungsgedanken von Barbara McClintock, den sie durch zytogenetische Beobachtungen stützen konnte.

These 2: Ein Strukturschema hilft Lernenden beim Umgang mit der Vielfalt unterschiedlicher Erklärungstypen

In Anlehnung an Craver (2013) entwickelten wir ein Strukturschema zur Unterscheidung wichtiger biologischer Erklärungstypen (Abb. 4.1) (Trommler & Hammann, 2020). Im Schema steht das Explanandum im Zentrum von drei Erklärungstypen, die mit unterschiedlichen Erkenntnisinteressen verbunden sind.

Die drei Erkenntnisinteressen beziehen sich auf

- die Entstehung und Herkunft des Explanandums (Frage: Wie entstand das Explanandum?; Typ 1),
- die biologische Funktion des Explanandums (Frage: Welche Funktion hat das Explanandum?; Typ 2) und
- den Mechanismus des Explanandums (Frage: Welcher Mechanismus bewirkt das Explanandum?; Typ 3).

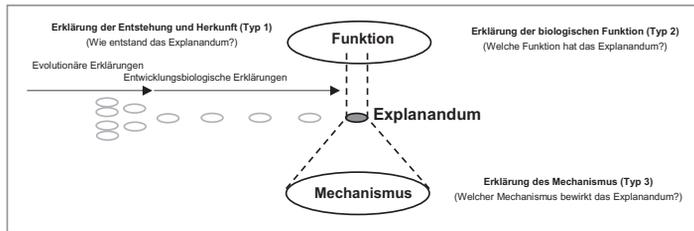


Abb. 4.1 Strukturschema zur Erklärungsvielfalt in der Biologie. Die Kreise oberhalb und unterhalb des Explanandums symbolisieren Organisationsebenen. Bei mechanistischen Erklärungen erfolgt oft ein Abstieg auf eine niedrigere Organisationsebene. Funktionen sind häufig auf einer höheren Organisationsebene zu beobachten. Die Ellipsen links neben dem Explanandum sind entwicklungsbiologische Vorstufen bzw. evolutionsbiologische Vorformen. Die Abbildung ist angelehnt an Craver (2013), bei dem die Ellipsen mechanistische Hierarchieebenen symbolisieren.

Die drei Erkenntnisinteressen ergänzen sich. Wie bei Mayr, Tinbergen sowie Braillard und Malaterre resultieren die verschiedenen Erklärungstypen bei Craver (2013) aus den unterschiedlichen Perspektiven, aus denen ein zu erklärendes Phänomen betrachtet werden kann. Dabei sind die historischen Erklärungen (s. Abschn. „[Historische Erklärungen](#)“) im Erklärungstyp 1 enthalten, funktionale Erklärungen im Erklärungstyp 2 und mechanistische Erklärungen im Erklärungstyp 3. Erst durch die Zusammenschau der drei Perspektiven wird ein Explanandum umfassend erklärt. Die drei Erklärungstypen und die korrespondierenden Fragen sollen in den folgenden Abschnitten näher charakterisiert werden. Die ursprüngliche Bezeichnung der drei Erklärungstypen (Craver, 2013) wird hier vereinfacht, um Begriffe vorzuschlagen, die in der Biologiedidaktik Verwendung finden können. Angemerkt sei auch, dass Erklärungen der Entstehung (Typ 1) und des Mechanismus (Typ 3) kausale Erklärungen sind, wohingegen Erklärungen der Funktion (Typ 2) angemessene teleologische Erklärungen darstellen, weil diese immer die Vorstellung einer Zweck-Mittel-Relation beinhalten (Toepfer, 2004; Trommler & Hammann, 2020).

Wie entstand das Explanandum? (Typ 1)

Diese Frage fokussiert auf die Entstehung und Herkunft des Explanandums. Die Frage nach der Entstehung und Herkunft eines Merkmals lässt sich aus Sicht der Evolution (Phylogenese, s. Abschn. „[Historische Erklärungen](#)“) und aus Sicht der Individualentwicklung (Ontogenese) beantworten, wobei Evolution und Individualentwicklung klar unterschieden werden müssen. Craver (2013) bezeichnet diesen Erklärungstyp als ätiologisch (von griechisch αἰτία = Grund, Ursache). Die Suchrichtung ist rückwärtsgerichtet, denn die Ursachen der Entstehung des Explanandums liegen in der evolutionären bzw. entwicklungsbiologischen Vergangenheit. Mit den Pfeilen, die in der Abbildung von links nach rechts zeigen, wird allerdings die Richtung der Verursachung dargestellt. Beispielhafte Fragen für den Biologieunterricht in diesem Bereich sind: Wie sind Chloroplasten im Laufe der Evolution entstanden? Wie ist der aufrechte Gang im Lauf der Evolution ent-

standen? Wie entstehen sekundäre Geschlechtsmerkmale im Verlauf der Pubertät? Die ersten beiden Fragen fokussieren auf evolutive Entstehung und Herkunft, die dritte Frage auf entwicklungsbiologische (ontogenetische) Entstehung und Herkunft.

Welche Funktion hat das Explanandum? (Typ 2)

Die Frage fokussiert die Identifikation der biologischen Funktion. Im Schema (Abb. 4.1) wird dieser Erklärungstyp durch den Kreis im oberen Teil der Abbildung illustriert. Die Suchrichtung der funktionalen Erklärung ist aufwärts auf eine höher gelegene Organisationsebene gerichtet. Es wird erklärt, welche biologische Funktion das Explanandum in einem Mechanismus auf einer höheren Organisationsebene hat bzw. welche Funktion das Explanandum für den Organismus hat. Beispielsweise kann nach der Funktion der Chloroplasten für die Pflanze gefragt werden. Die Frage mag trivial erscheinen, weil die Funktion der Chloroplasten längst bekannt ist und sich in einem Satz erklären lässt. Häufig sind die Funktionen in der biologischen Forschung allerdings zunächst unbekannt. Beispielsweise wurden microRNAs 1993 erstmals beschrieben. Die Funktion von microRNAs bei der Genregulation wurde 2000 im Modellorganismus *C. elegans* beschrieben. Bis heute sind eine große Anzahl an microRNAs identifiziert worden. Die biologischen Funktionen der meisten microRNAs sind allerdings noch unbekannt.

Welcher Mechanismus bewirkt das Explanandum? (Typ 3)

Kennt man die Funktion des Explanandums (z. B. Genregulation durch microRNAs), kennt man noch nicht den Mechanismus, wie die Funktion genau zustande kommt. Erklärungstyp 3 fokussiert also auf den Mechanismus, der die Funktion des Explanandums hervorbringt. Im Schema (Abb. 4.1) wird dieser Erklärungstyp durch den Kreis unterhalb des Explanandums illustriert. Die Suchrichtung ist abwärts gewandt, denn auf den tiefer gelegenen Organisationsebenen befinden sich die Komponenten und Aktivitäten, deren Interaktionen erklären, wie das Explanandum funktioniert. Für die mechanistische Erklärung der Funktionen von Chloroplasten müssen beispielsweise die biochemischen Reaktionen an den Fotosystemen, die innerhalb eines Chloroplasten liegen, erklärt werden.

These 3: Lernende sollen Metawissen über die drei Erklärungstypen besitzen

Trommler und Hammann (2020) argumentieren unter Verwendung empirischer Daten von Abrams und Southerland (2001), dass den Schüler*innen Metawissen über die im Schema visualisierten Erklärungstypen und die ihnen zugrunde liegenden Fragen fehlt. In der Folge nutzen Lernende bei Abwesenheit von Fachwissen die intuitiv zugänglicheren Funktionen (Typ 2), um Fragen nach der Entstehung (Typ 1) zu beantworten. Intuitiv rekurrieren Lernende auch auf biologische Funktionen (Typ 2), wenn ihnen Fragen nach dem Mechanismus gestellt werden (Typ 3).

Verwechslung von Erklärungen der Funktion (Typ 2) und der Entstehung (Typ 1)

Warum neigen Lernende zu vereinfachenden Schlüssen von der Funktion auf die evolutionäre Ursache, beispielsweise wenn sie argumentieren, dass die Funktion die alleinige Ursache für die Entstehung eines Merkmals im Laufe der Evolution ist? Ein Teil des Problems liegt im Funktionsbegriff, der an sich eine angemessene Form der Teleologie beinhaltet (Toepfer, 2004). Unter Bezugnahme auf eine Reihe neuerer Positionen aus der Philosophie der Biologie lässt sich argumentieren, dass Biolog*innen die Bedeutung des *Telos*-Begriffs (griech. Ziel, Endzweck) als erkenntnistheoretisches Werkzeug verwenden, wenn sie eine Struktur oder einen Mechanismus als funktional betrachten (Trommler & Hammann, 2020). Beispielsweise verwenden Biolog*innen Überleben und Reproduktion als erkenntnistheoretische Bezugspunkte, wenn sie Strukturen Funktionen zuordnen, ohne davon auszugehen, dass Überleben und Reproduktion naturimmanente Zwecke sind. Diese Form der Teleologie ist angemessen und kann als epistemologische Teleologie bezeichnet werden (Trommler & Hammann, 2020). Sie ist an der teleologischen Sprache erkennbar, mit der Biolog*innen über Funktionen reden und schreiben.

Die ontologische Teleologie hingegen ist die unangemessene Annahme, dass funktionale Strukturen und Mechanismen allein aufgrund ihrer Funktionalität entstanden sind (Trommler & Hammann, 2020). Mittel-Zweck-Analysen – als integraler Bestandteil der Biologie – können für Lernende irreführend sein, weil sie die Idee, dass Eigenschaften funktionieren und zum Überleben existieren (angemessene epistemologische teleologische Argumentation), mit der Idee verwechseln könnten, dass Eigenschaften zielgerichtet entstanden sind zum Zwecke des Funktionierens und der Aufrechterhaltung des Überlebens (unangemessene ontologische teleologische Argumentation). Dieses ontologisch-teleologische Denken ist unangemessen, weil es in der Natur keine solche zielgerichtete Verfolgung von „Zwecken“ gibt. Um Lernenden zu vermitteln, dass die Natur nicht auf Zwecke ausgerichtet ist, sollen sie Metawissen über Erklärungen erwerben. Damit soll erreicht werden, zwischen Erklärungen der Entstehung bzw. Herkunft (Typ 1) und Erklärungen der biologischen Funktion (Typ 2) zu unterscheiden und der Natur keine Zweckgerichtetheit mehr zu unterstellen (Trommler & Hammann, 2020).

Verwechslung von Erklärungen der Funktion (Typ 2) und des Mechanismus (Typ 3)

Warum neigen Lernende zu vereinfachenden Schlüssen von funktionalen Erklärungen auf mechanistische Erklärungen? Eine Antwort auf diese Frage liegt in der Tatsache, dass der Biologieunterricht über weite Phasen der Mittelstufe im Sinne des Basisbegriffs Struktur und Funktion beim Thematisieren von Strukturen deren Funktionen fokussiert, ohne auf die zugrunde liegenden – wesentlich komplexeren – Mechanismen einzugehen. Ähnliches vermuten Abrams und Southerland (2001) im Rahmen ihrer Analysen einer Interviewsequenz, in der eine Schülerin mit einer auf einen Mechanismus abzielenden *Wie*-Frage aufgefordert wurde, das Phänomen des positiven Fototropismus zu erklären. Die Schülerin beantwortete die Frage allerdings nicht mechanistisch, son-

dem funktional: „um Photosynthese zu betreiben“. Diese Antwort fokussiert die biologische Funktion des Explanandums. Grundsätzlich sind mechanistische Erklärungen wesentlich komplexer als die alleinige Identifikation der Funktion eines Phänomens. Darüber hinaus werden derartige mechanistische Erklärungen erst in höheren Jahrgängen vermittelt, im Fall des Auxins vermutlich erst im Leistungskurs oder im Studium. Das Beispiel verdeutlicht, dass es notwendig ist, Metawissen über die Vielfalt biologischer Erklärungstypen zu vermitteln.

Als wesentliches Instruktionsprinzip sollen die Lernenden an ein und demselben Phänomen erfahren, dass sich dieses auf unterschiedliche Art und Weise erklären lässt, dass sich die verschiedenen Erklärungen nicht gegenseitig ausschließen, dass die verschiedenen Erklärungen aus unterschiedlichen Erkenntnisinteressen resultieren und dass man im Unterricht anhand der Aufgabenstellung erkennen kann, welcher Erklärungstyp gefordert ist.

Spezifische Aufgabenstellungen zur Unterscheidung der drei Erklärungstypen

Über die Aufgabenstellung signalisieren Lehrkräfte im Unterricht, welcher Typ von Erklärung in einer spezifischen Situation gefordert ist.

Die allgemeine Formulierung „Erkläre das Phänomen!“ verdeutlicht Lernenden nicht, ob sie im pädagogischen oder naturwissenschaftlichen Sinne erklären sollen. In Unterrichtsgesprächen lassen sich die folgenden Bedeutungen von „erklären“ unterscheiden (Rocksén, 2016):

- Pädagogische Bedeutung: Nach der Präsentation eines biologischen Phänomens fordert die Lehrkraft auf: Erkläre das Phänomen! „Erklären“ wird verwendet, um Lernende zum Nachdenken anzuregen oder zur Mitarbeit zu motivieren. Eine korrekte Antwort wird nicht (unbedingt) erwartet. Der Begriff „erklären“ ist Teil einer Kommunikationsstruktur und hat primär auffordernd-motivierenden Charakter.
- Naturwissenschaftliche Bedeutung: Lebendige Phänomene werden sowohl hinsichtlich der Vielzahl ihrer Organisationsebenen als auch ihrer Entwicklungsgeschichte untersucht. Je nach Perspektive ist ein anderer biologischer Erklärungstyp gefordert. Folglich sollen Aufgabenstellungen im Biologieunterricht präzise auf den gewünschten Erklärungstyp abzielen.

Um Lernenden die Anforderungen von Aufgabenstellungen transparent zu machen, hat die Kultusministerkonferenz Operatoren festgelegt, beispielsweise erklären und beschreiben (KMK, 2020). Erklären wird laut der Operatorenliste im Biologie-, Chemie- und Physikunterricht gleichermaßen verwendet, um Phänomene auf allgemeingültige Aussagen zurückzuführen. Somit lässt sich der Operator „erklären“ nach aktueller KMK-Konvention für Aufgabenstellungen verwenden, die auf Erklärungstyp 1 (Erklärung der Entstehung) und 3 (Erklärung des Mechanismus) abzielen. Der in der Biologie vorkommende Erklärungstyp 2 hingegen wird durch die Operatoren „beschreiben“ oder „erläutern“ eingefordert.

Auf die biologischen Erklärungstypen aus dem Strukturschema (Abb. 4.1) von Trommler und Hammann (2020) zielen – unter Berücksichtigung der aktuellen Operatoren-Konventionen – die folgenden spezifischeren Aufgabenstellungen ab:

- Typ 1: Erkläre die Entstehung/Veränderung eines Merkmals im Verlauf der Ontogenese/Evolution.
- Typ 2: Beschreibe die Funktion der Struktur/des Prozesses./Erläutere den Struktur-Funktions-Zusammenhang.
- Typ 3: Erkläre die physiologischen/genetischen/etc. Ursachen des Phänomens.

Verfügen die Lernenden über Metawissen zu den Erklärungstypen der Biologie, können sie mithilfe der spezifischen Aufgabenstellungen überprüfen, inwiefern ihre Erklärungsversuche sich in die gewünschte biologische Perspektive einordnen lassen.

4.3 Fazit und Ausblick

Aktuelle empirische Untersuchungen zur Wirkung von Metawissen über die Vielfalt biologischer Erklärungstypen bei Lernenden fehlen momentan weitgehend. Erste empirische Untersuchungen zu den verschiedenen Typen von Erklärungen beim abduktiven Erklären als Grundlage der Förderung des Organisationsebenen übergreifenden Erklärens in biologiedidaktischen Kontexten werden bereits durchgeführt (Upmeyer zu Belzen et al., 2021). Halls et al. (2021) zeigten, dass das Diskutieren verschiedener Erklärungstypen mit jungen Schüler*innen (5–9 Jahre alt und 9–10 Jahre alt) deren Zustimmung zu unangemessenen teleologischen Erklärungen signifikant reduzierte und stattdessen deren Zustimmung zu wissenschaftlich angemessenen Erklärungen erhöhte. Über diese Ansätze hinaus sind weitere Schritte in biologiedidaktischer Entwicklung und Forschung notwendig, um besser zu verstehen, wie Lernenden Metawissen über die verschiedenen Typen von Erklärungen in der Biologie vermittelt werden kann und welche Wirkungen derartige Vermittlungsansätze haben.

Literatur

- Abrams, E., & Southerland, S. (2001). The how's and why's of biological change: How learners neglect physical mechanisms in their search for meaning. *International Journal of Science Education*, 23, 1271–1281.
- Braillard, P.-A., & Malaterre, C. (2015). *Explanation in biology: An enquiry into the diversity of explanatory patterns in the life sciences*. Springer.
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2010). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95, 639–669.
- Craver, C. F. (2013). Functions and mechanisms: A perspectivalist view. In P. Huneman (Hrsg.), *Functions: Selection and mechanisms* (S. 133–158). Springer.

- Halls, J., Ainsworth, S. E., & Oliver, M. (2021). Using dialogic interventions to decrease children's use of inappropriate teleological explanations. *International Journal of Science Education*, 43, 1–20.
- Johnson, T., & Krems, J. (2001). Use of current explanations in multicausal abductive reasoning. *Cognitive Science*, 25, 903–939.
- Kind, P., & Osborne, J. (2017). Styles of scientific reasoning: a cultural rationale for science education? *Science Education*, 101(1), 8–31.
- KMK. (2020). Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder. Aufgaben für die Fächer Biologie, Chemie und Physik. Einheitliche Operatorenliste. <https://www.iqb.hu-berlin.de/abitur/dokumente/naturwissenschaften>. Zugegriffen am 05.04.2024.
- Krüger, D., & Upmeier zu Belzen, A. (2021). Kompetenzmodell der Modellierkompetenz – Die Rolle abduktiven Schließens beim Modellieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 37, 127–137.
- Machamer, P., Darden, L., & Craver, C. F. (2000). Thinking about mechanisms. *Philosophy of Science*, 67, 1–25.
- Mayr, E. (1961). Cause and effect in biology. *Science*, 134, 1501.
- Meyer, M. (2009). Abduktion, Induktion – Konfusion. Bemerkungen zur Logik der interpretativen Sozialforschung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*, 12(2), 302–320.
- Rocksén, M. (2016). The many roles of “explanation” in science education: A case study. *Cultural Studies of Science Education*, 11, 837–868.
- Schurz, G. (2008). Patterns of abduction. *Synthese*, 164, 201–234.
- Tinbergen, N. (1963). On aims and methods of ethology. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 20, 410–433.
- Toepfer, G. (2004). *Zweckbegriff und Organismus: Über die teleologische Beurteilung biologischer Systeme*. Königshausen & Neumann.
- Trommler, F., Gresch, H., & Hammann, M. (2018). Students' reasons for preferring teleological explanations. *International Journal of Science Education*, 40, 159–187.
- Trommler, F., & Hammann, M. (2020). The relationship between biological function and teleology: Implications for biology education. *Evolution: Education & Outreach*, 13, 11.
- Upmeier zu Belzen, A., Engelschalt, P., & Krüger, D. (2021). Modeling as scientific reasoning – The role of abductive reasoning for modeling competence. *Educational Science*, 11(495), 261–271.
- van Dijk, E., & Kattmann, U. (2009). Teaching evolution with historical narratives. *Evolution: Education & Outreach*, 2, 479–489.

Prof. Dr. Marcus Hammann hat Biologie und Englisch (Lehramt an Gymnasien) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel studiert. Nach Abschluss des Referendariats promovierte er 2002 am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik zum Vergleichen als fachspezifische Arbeitsweise des Biologieunterrichts. 2005 wurde er an die Universität Münster auf eine Professur für Didaktik der Biologie berufen. Seine Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte sind breit gefächert und umfassen u. a. kognitive und affektive Aspekte des Evolutions- und Genetikunterrichts, insbesondere das Organisationsebenen übergreifende Denken.

Friederike Trommler ist Biologie- und Englischlehrerin an dem mathematisch-naturwissenschaftlichen Spezialgymnasium „Wilhelm-Ostwald“ in Leipzig. Das Thema Teleologie in der Biologie-didaktik, Psychologie und Philosophie beforchte sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Zentrum für Didaktik der Biologie an der Universität Münster. Ihr Lehramtsstudium absolvierte Friederike Trommler an den Universitäten Leipzig, Wolverhampton (Großbritannien) und Krakau (Polen).

Prof. Dr. Dirk Krüger hat Biologie und Mathematik (Lehramt an Gymnasien) an der Universität Hannover studiert und dort am Institut für Angewandte Genetik 1996 promoviert. Nach dem Referendariat unterrichtete er an einem Gymnasium in Hannover, bevor er als wissenschaftlicher Assistent an die Abteilung Didaktik der Biologie an die Universität Hannover wechselte. Seit 2003 vertritt er das Fachgebiet Didaktik der Biologie an der Freien Universität Berlin. Seine Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte liegen im Bereich Erkenntnisgewinnung und im Speziellen in der Diagnose und Förderung von Modellierkompetenz.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken als Reflexionsmöglichkeit für die Lehrkräftebildung

5

Ein Vorschlag zur Anwendung des Family Resemblance
Approach

Alexander Georg Büssing

Inhaltsverzeichnis

5.1	Einführung	47
5.2	Diskurs	48
	Begründung einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken	48
	These 1: Wissen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken ist Voraussetzung des professionellen Wissens	50
	These 2: Wissen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken wirkt sich auf den Transfer mit der Schulpraxis aus	52
	These 3: Die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken muss in der Lehrkräftebildung expliziert werden	54
5.3	Fazit und Ausblick	55
	Literatur	57

Zusammenfassung

Während die Förderung des professionellen Wissens grundsätzlich eine große Rolle innerhalb der Lehrkräftebildung spielt, wurden epistemische Aspekte dieses Wissens bisher nur unzureichend thematisiert. Gerade in Modellen wie dem *Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge* (RCM), welches eine Differenzierung unterschiedlicher Facetten des fachdidaktischen Wissens beschreibt, werden die entsprechenden epistemischen Voraussetzungen nicht beachtet. Dies betrifft insbesondere

A. G. Büssing (✉)

Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften, Technische Universität Braunschweig,
Braunschweig, Deutschland

E-Mail: alexander.buessing@tu-braunschweig.de

© Der/die Autor(en) 2024

B. Reinisch et al. (Hrsg.), *Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis*, https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2_5

45

die fachdidaktischen Wissensformen, für die bisher keine Systematisierung epistemischer Aspekte besteht. Hierfür könnte die *Nature of Science* (NOS) eine wichtige Perspektive bilden. Ein sinnvoller Ansatz könnte der *Family Resemblance Approach* (FRA) nach Erduran et al. (2019) darstellen, laut dem insgesamt elf Kategorien zur Charakterisierung von kognitiv-epistemischen und sozial-institutionellen Dimensionen von Wissenschaften unterschieden werden können. Im Beitrag wird eine solche Systematisierung als Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken vorgeschlagen und anhand von drei Thesen diskutiert. Dabei stellt Wissen über die Natur der Naturwissenschaften eine Voraussetzung für professionelles fachdidaktisches Wissen von Lehrkräften dar (These 1), da epistemische Aspekte des fachdidaktischen Wissens nur unzureichend durch NOS beschrieben werden. Dieses Wissen über die Natur der Naturwissenschaften wirkt sich in der Schulpraxis aus (These 2) und sollte daher expliziter in der Lehrkräftebildung thematisiert werden (These 3). Auch wenn die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken bisher nur theoretisch postuliert ist, kann eine solche Systematisierung der Komplexität naturwissenschaftsdidaktischen Handelns besser gerecht werden und sollte daher weiterverfolgt werden.

- ▶ **Abstract** While the promotion of professional knowledge plays a major role within teacher education, the epistemic aspects of this knowledge have so far been insufficiently addressed. Especially in models such as the Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge (RCM) which describes a differentiation of different facets of pedagogical content knowledge, the corresponding epistemic requirements are only insufficiently considered. Specifically, there are no epistemic aspects relating to the pedagogical forms of knowledge, for which a general systematization of epistemic aspects is still missing. The concept of Nature of Science (NOS) could provide an important perspective for this. More specifically, the Family Resemblance Approach (FRA) according to Erduran et al. (2019) could be a useful approach for this, in which a total of eleven categories for characterizing cognitive-epistemic and socio-institutional dimensions of science can be distinguished. The article proposes such a systematization as the nature of science education and discusses it based on three theses. The nature of the science education is related to professional competencies (Thesis 1), since epistemic aspects of pedagogical content knowledge are only inadequately described by NOS. This knowledge of the nature of science has an impact on school practice (Thesis 2) and should be addressed more explicitly in teacher training (Thesis 3). Even if the nature of science education has so far only been postulated theoretically, such a systematization could do better justice to the complexity of science education and should be further considered.

5.1 Einführung

Der Professionalisierung von Lehrkräften kommt eine zentrale Bedeutung in der universitären Lehrkräftebildung zu. Dabei spielen sowohl kognitive als auch affektive Dimensionen eine wichtige Rolle, die in unterschiedlichen Strukturmodellen definiert werden (Harms & Riese, 2018). Während bisher vor allem fachliche, pädagogische oder fachdidaktische Wissensfacetten sowie deren Zusammenspiel untersucht wurden (Großschedl et al., 2015), spielten epistemische Wissensaspekte bisher nur eine untergeordnete Rolle. So sind in Modellen wie dem *Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge* (RCM) zwar neben dem fachdidaktischen Wissen auch das Fachwissen und das pädagogische Wissen berücksichtigt, dabei werden jedoch epistemische Aspekte bisher nicht einbezogen (Carlson et al., 2019). Jedoch ist auch das professionelle Wissen von Lehrkräften mit epistemischen Voraussetzungen verbunden.

So konnten vorherige Studien aufzeigen, dass Lehrkräfte beispielsweise über epistemische Aspekte des Modellierens – einen zentralen Wissensbereich naturwissenschaftlichen Wissens – Kenntnisse benötigen, um professionell Fachwissen in diesem Bereich anwenden zu können (Erduran et al., 2007). Ebenso verhält es sich mit dem fachdidaktischen Wissen: Auch hier sind bestimmte epistemische Aspekte relevant, welche die Tragweite des Wissens und Methoden zu dessen Generierung betreffen. Bisher fehlt jedoch eine Systematisierung dieser epistemologischen Aspekte der Naturwissenschaftsdidaktiken.

Im vorliegenden Beitrag wird eine solche Systematisierung vorgeschlagen, welche auf der Adaptation des Konzeptes der *Nature of Science* (NOS) beruht. Während in der Vergangenheit in der Forschung zu NOS vor allem konsensbasierte Ansätze weit verbreitet waren, findet im vorliegenden Beitrag der auf Kategorien basierte Ansatz des *Family Resemblance Approach* (FRA) nach Erduran et al. (2019) Anwendung, um über eine Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken zu reflektieren. Die in diesem Ansatz vorgegebenen Kategorien lassen sich auf die Naturwissenschaftsdidaktiken übertragen, wodurch epistemische Aspekte wie Ziele, Methoden, aber auch Voraussetzungen für Wissensbestände expliziert und für die Lehrkräftebildung nutzbar gemacht werden können. Die Reflexion bezieht sich dabei vorerst auf die Biologiedidaktik, einige Aspekte dürften aber auch auf andere Naturwissenschaftsdidaktiken zutreffen.

Der Beitrag wurde auf der Tagung im Rahmen eines Posters vorgestellt. Folgende Leitfragen werden aufgegriffen:

1. Welcher Bereich professioneller Handlungskompetenz ist adressiert?
2. Inwiefern bietet das Lehramtsstudium Lerngelegenheiten für die Entwicklung eines adäquaten Verständnisses über *Nature of Science*?

Um diese Leitfragen zu beantworten, wird ausgehend von einer Definition des FRA und der Beschreibung der Notwendigkeit einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken innerhalb von drei Thesen die Anwendung des FRA auf die Naturwissenschaftsdidaktiken diskutiert. Dabei wird das Wissen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken als Voraussetzung für das professionelle fachdidaktische Wissen im RCM verortet (These 1) sowie über neue

Perspektiven durch die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken in Bezug auf das Theorie-Praxis-Verhältnis reflektiert (These 2). Da gerade sozial-institutionelle Aspekte der Natur der Naturwissenschaftsdidaktik bisher eher implizit vermittelt werden, wird mit der letzten These für die Notwendigkeit der expliziten Thematisierung der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken in der Lehrkräftebildung plädiert (These 3). Im abschließenden Fazit werden die Thesen verdichtet und kritisch diskutiert.

5.2 Diskurs

Begründung einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken

Die Forschung zu epistemischen Aspekten der Naturwissenschaften die mittels des Konzeptes NOS durchgeführt wurde, blickt auf eine heterogene Tradition zurück, was sich an einer Reihe unterschiedlicher Begrifflichkeiten und Konzeptualisierungen zeigt. Auch wenn im Deutschen schon die Beschreibung als „Natur“, „Wesen“ oder „Kultur“ der Naturwissenschaften diskutierbar ist (Dittmer & Zabel, 2019, S. 96), bezeichnet NOS allgemein das „Verständnis über naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung, über soziale Strukturen innerhalb der Naturwissenschaften und über den epistemischen Status naturwissenschaftlicher Aussagen“ (Heering & Kremer, 2018, S. 105). Dieses Wissen kann daraufhin über konsens- oder kategorienbasierte Ansätze systematisiert werden. Im vorliegenden Beitrag findet mit dem FRA ein kategorienbasierter Ansatz Anwendung.

Der FRA bezieht sich auf unterschiedliche wissenschaftstheoretische und philosophische Forschungslinien, die versuchen, Wissenschaften anhand bestimmter Kategorien zu beschreiben, wobei sich aus der Ähnlichkeit dieser Wissenschaften „Familien“ mit ähnlichen Charakteristiken ergeben (Heering & Kremer, 2018). Dabei werden insgesamt elf Kategorien beschrieben, die sich in eine kognitiv-epistemische (vier Kategorien: Werte und Ziele, wissenschaftliche Praktiken, Methoden und methodologische Regeln und wissenschaftliches Wissen) und eine sozial-institutionelle Dimension (sieben Kategorien: professionelle Aktivitäten, wissenschaftliches Ethos, soziale Zertifizierung und Verbreitung, soziale Werte von Wissenschaft, soziale Organisationen und Interaktionen, politische Machtstrukturen und Ökonomie der Wissenschaften) differenzieren lassen (Erduran et al., 2019). Während der FRA bereits zur Systematisierung anderer Disziplinen wie der Ingenieurwissenschaft (Barak et al., 2022) oder der Fachwissenschaft Biologie herangezogen wurde (Reinisch & Fricke, 2022), stellt gerade die sozial-institutionelle Dimension eine interessante Perspektive für das Verständnis der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken dar.

In Anlehnung an die allgemeine NOS-Definition nach Heering & Kremer (2018, S. 105) kann die *Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken* dabei generell als das Wissen über die Erkenntnisgewinnung innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktiken, über deren soziale Strukturen und den epistemischen Status ihrer Erkenntnisse verstanden werden. Während NOS also die epistemischen Aspekte des Fachwissens betrifft, bezieht sich die *Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken* nur auf das fachdidaktische Wissen. Dieses kann sich beispiels-

weise auf die unterschiedlichen Methoden beziehen, mit denen fachdidaktisches Wissen generiert wurde. So zeichnen sich die Naturwissenschaftsdidaktiken durch eigene Methoden wie qualitative Interviews aus, die sich in dieser Form von fachbiologischen Methoden sehr stark unterscheiden. Die epistemischen Aspekte dieser Methoden wie mögliche Widersprüche qualitativer und quantitativer Forschungsmethoden sind in der NOS nicht konzeptualisiert, da diese Methoden in der naturwissenschaftlichen Forschung keine Relevanz besitzen. Für diese Aspekte ist die Untersuchung der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken notwendig. Während im vorliegenden Beitrag drei konkrete Kategorien des FRA beispielhaft erläutert werden, sind in Tab. 5.1 alle Kategorien mit der Definition nach Erduran et al. (2019) sowie dem möglichen Transfer dieser allgemeinen Kategorien auf die Natur der Naturwissenschaftsdidaktik nach Büssing et al. (2023) beschrieben.

Tab. 5.1 Kategorien des *Family Resemblance Approach* (FRA) mit Definitionen nach Erduran et al. (2019) und Transfer dieser Kategorien auf die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken nach Büssing et al. (2023)

Bezeichnung und Definition		Möglicher Transfer
Kognitiv-epistemische Dimension		
1) Ziele und Werte	Beschreibt die (meist impliziten) Ziele und Werte wie Objektivität, Vorhersagbarkeit oder Überprüfbarkeit	Naturwissenschaftsdidaktiken stellen objektives und überprüfbares Wissen über naturwissenschaftliches Lernen bereit.
2) Wissenschaftliche Praktiken	Anwendung wissenschaftlicher Praktiken wie Beobachtungen, Experimente oder Modellierungen	Forschende nutzen vielfältige qualitative (z. B. Interviews), quantitative (z. B. Fragebögen) oder kombinierte Praktiken zur Datenerhebung und -auswertung (z. B. qualitative Inhaltsanalyse oder Statistik).
3) Methoden und methodologische Regeln	Befolgen methodischer Regeln, um wissenschaftliche Ergebnisse zu erzielen	Je nach Ansatz sind Regeln in der Stichprobengenerierung (speziell ausgewähltes Sampling oder Zufallsstichproben) und -ausgestaltung (Größe und oder Kontrollgruppen) zu befolgen.
4) Wissenschaftliches Wissen	Aus Theorien, Gesetzen und Modellen können sich kumulative Wissensbestände bilden	Forschende testen Hypothesen anhand von Daten oder nutzen theoretische Argumente, aus denen sich Theorien und Modelle unterschiedlicher Tragweite ergeben.
Sozial-institutionelle Dimension		
5) Professionelle Aktivitäten	Sozial-institutionelle Aktivitäten z. B. zur Kommunikation von Ergebnissen	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.

(Fortsetzung)

Tab. 5.1 (Fortsetzung)

Bezeichnung und Definition		Möglicher Transfer
6) Wissenschaftliches Ethos	Erwartungen über Normen der wissenschaftlichen Arbeit wie Skeptizismus, Offenheit, Freiheit oder Redlichkeit	Forschende befolgen ethische Maßstäbe der Forschung in Schulen, gehen vertraulich mit Daten um, setzen sich für die eigene Disziplin ein und handeln nach redlichen Maßstäben.
7) Soziale Zertifikation und Verbreitung	Qualitätssicherung und Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse durch andere	Naturwissenschaftsdidaktische Erkenntnisse werden sowohl von der Forschung als auch von der Praxis eingeschätzt.
8) Soziale Werte von Wissenschaft	Soziale Werte in Bezug auf das wissenschaftliche Vorgehen wie sozialer Nutzen	Erkenntnisse der Naturwissenschaftsdidaktiken werden zur Gestaltung fachlicher Lehr-Lern-Anlässe und der Aus-, Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften genutzt.
9) Soziale Organisationen und Interaktionen	Wissenschaft ist in unterschiedlichen Institutionen organisiert, die unterschiedlich miteinander interagieren	Forschende arbeiten in Universitäten, Pädagogischen Hochschulen und weiteren außeruniversitären Standorten, wobei sich unterschiedliche Schwerpunkte ergeben können; Forschende sind Gesetzmäßigkeiten innerhalb dieser Institutionen unterworfen (wie Befristungen an Universitäten oder Unterrichtsverpflichtungen an Schulen).
10) Politische Machtstrukturen	Wissenschaften unterliegen verschiedenen internen (innerhalb der Disziplinen) und externen politischen Prozessen	Forschende werden durch Machtstrukturen innerhalb der eigenen Community, der Politik und der Gesellschaft eingeschränkt.
11) Ökonomie der Wissenschaften	Ökonomische Aspekte wie die Rolle von Forschungsförderung	Naturwissenschaftsdidaktische Erkenntnisse werden in der Lehrpraxis angewendet und durch Vorgaben der (grundständigen) Forschungsförderung wie Drittmittelgeber beeinflusst.

These 1: Wissen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken ist Voraussetzung des professionellen Wissens

Die Frage danach, was eine gute Lehrkraft ausmacht, kann aus verschiedenen Perspektiven beantwortet werden. Auch wenn dabei unterschiedliche Paradigmen verfolgt wurden, hat sich in den letzten Jahren der Ansatz der professionellen Kompetenz durchgesetzt (Rothland et al., 2018). Diese wird über unterschiedliche Modelle konzeptualisiert, bei denen vor allem dem professionellen Wissen eine herausgehobene Rolle zukommt, welches in unterschiedliche Facetten wie fachliches, pädagogisches und fachdidaktisches Wissen differenziert wird (Harms & Riese, 2018). Da Studien gerade dem fachdidaktischen

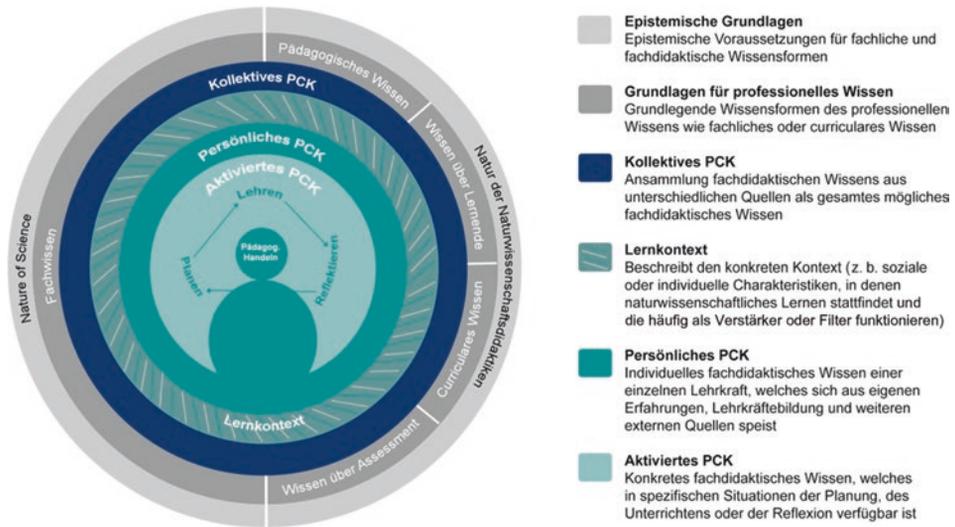


Abb. 5.1 Übersicht über das *Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge* nach Carlson et al. (2019) mit eigener Ergänzung epistemischer Aspekte als Voraussetzungen für die Wissensbereiche

Wissen (engl. *pedagogical content knowledge*; PCK) eine hohe Bedeutung für die Verbesserung des Unterrichts beigemessen haben, stand dieser Bereich besonders im Fokus neuerer Modellierungen (Harms & Riese, 2018).

Das bereits erwähnte RCM stellt eine solche Modellierung dar, in dem das fachliche, pädagogische und fachdidaktische Wissen verortet und in Bezug auf unterschiedliche Ausprägungen unterschieden werden (Carlson et al., 2019). Dabei werden auf der äußersten Ebene relevante Wissensbereiche dargestellt, aus denen sich das fachdidaktische Wissen speist (Abb. 5.1, nach Carlson et al., 2019). Hieraus ergeben sich ein kollektives fachdidaktisches Wissen (engl. *collective PCK*) als Gesamtheit allen fachdidaktischen Wissens sowie das persönliche fachdidaktische Wissen (engl. *personal PCK*) einzelner Personen. Während diese Bereiche durch unterschiedliche Verstärker und Filter (engl. *amplifiers and filters*; Carlson et al., 2019) getrennt sind, manifestiert sich in konkreten Unterrichts-, Planungs- oder Reflexionssituationen das aktivierte fachdidaktische Wissen (engl. *enacted PCK*).

Was im RCM bisher nicht abgebildet ist, sind epistemische Aspekte des fachlichen und fachdidaktischen Wissens. Während epistemische Aspekte des fachlichen Wissens über NOS abgebildet werden können, besitzt das fachdidaktische Wissen eigene epistemische Voraussetzungen, die bisher nicht konzeptualisiert sind, jedoch mittels einer Natur der Naturwissenschaftsdidaktik systematisiert werden können. Zum einen könnte dies einen Rahmen um die anderen Wissensformen darstellen (äußerer grauer Kreis). Andererseits könnten Überzeugungen zur Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken auch als Verstärker oder Filter wirksam sein (Lernkontext).

Im ersten Fall stellt die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken die epistemischen Voraussetzungen der fachdidaktischen Wissensformen dar. Dies bezieht sich beispielsweise

auf das Wissen darauf, wie die Vorstellungen von Lernenden erhoben oder wie die fachspezifische Leistungsbeurteilung valide mittels wissenschaftlicher Methoden gewährleistet werden kann. Für das fachliche Wissen würde das biologiespezifische NOS diese Voraussetzungen beschreiben (Reinisch & Fricke, 2022). Neben dieser Zuschreibung erscheint auch eine Filterfunktion der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken möglich, wobei hier eher von Überzeugungen gesprochen werden sollte (im Gegensatz zu Wissen im ersten Fall). So würde beispielsweise in einer konkreten Unterrichtsplanung vor allem das fachdidaktische Wissen abgerufen, welches mit den eigenen Überzeugungen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken konform ist. Um diese Unterscheidung weiter zu explizieren, wird die Kategorie Methoden und methodische Regeln beispielhaft thematisiert.

Die kognitiv-epistemische Kategorie *Methoden und methodische Regeln* bezieht sich auf das Wissen darüber, wie Forschende mittels disziplinspezifischer Methoden und methodischer Regeln zu wissenschaftlichen Ergebnissen kommen (Erduran et al., 2019). Dabei sind diese Methoden revidierbar und können mittels verschiedener Vorgehensweisen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen (Erduran et al., 2019). Übertragen auf die Naturwissenschaftsdidaktiken können Vorstellungen von Lernenden sowohl mit qualitativen als auch mit quantitativen Methoden erhoben werden (Schrenk et al., 2019). Beide Methoden könnten dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, gerade dann, wenn in einer qualitativen Studie zufällig alle Lernenden eine bestimmte Vorstellung berichten, die sich in der nachfolgenden quantitativen Studie nicht als prävalent zeigt.

Bezogen auf das RCM könnte es sich hierbei zum einen um ein konkretes Wissen handeln, wie Vorstellungen von Lernenden erhoben werden (äußerer Ring). Auf der anderen Seite wäre es möglich, dass sich Überzeugungen zur Tragweite dieser Methoden als Verstärker und Filter auswirken (Lernkontext), also nur dann kollektives Wissen in persönliches Wissen überführt werden würde, wenn die eigenen Überzeugungen dem zu erwerbenden Wissen nicht entgegenstehen. Hieraus ergäben sich unterschiedliche Implikationen, die später diskutiert werden.

These 2: Wissen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken wirkt sich auf den Transfer mit der Schulpraxis aus

Die zweite These greift die Rolle des Wissens über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken für die Schulpraxis auf. Dies wird besonders an der FRA-Kategorie *soziale Zertifikation und Verbreitung* deutlich. Die Kategorie beschreibt innerhalb der sozial-institutionellen Dimension die Vorgänge, bei denen wissenschaftliche Erkenntnisse eingeschätzt und verbreitet werden, was vor allem bei Konferenzen und innerhalb der Begutachtung von Artikeln passiert (Erduran et al., 2019). Dabei findet eine Form von sozialer Qualitätskontrolle statt, bei der eine Validierung von wissenschaftlichem Wissen stattfinden kann (Erduran et al., 2019).

Im Vergleich zu den anderen Domänen besitzen die Naturwissenschaftsdidaktiken heterogene Bezüge zu ihrem Praxisfeld, was sich zu anderen Disziplinen wie der Medizin

unterscheidet. Dabei findet neben den (angehenden) Lehrkräften auch durch Personal wie Mentor*innen an Schulen eine Einschätzung fachdidaktischer Erkenntnisse statt, bei der gemeinhin der praktischen Nutzbarkeit der Vorrang vor einer theoretischen Kohärenz gegeben wird (Caruso et al., 2022). Auch hier sind Aspekte der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken wirksam, da fachdidaktische Wissensbereiche entweder als relevant beschrieben werden oder nicht. Bisher gibt es jedoch nur wenige Möglichkeiten, diese Einschätzungen fachdidaktischer Erkenntnisse seitens der Praxis explizit zu machen – im Gegensatz zur expliziten Begutachtungspraxis von Forschenden.

Die mögliche Übertragung eines fachdidaktischen Ergebnisses in die Unterrichtspraxis kann einen Hinweis auf die Wirksamkeit des Ergebnisses darstellen, der jedoch meist eher spät und auch nur indirekt zu beobachten ist. Für die Zukunft könnte hier denkbar sein, expliziter die Perspektiven von Lehrkräften zu nutzen („Praxis-TÜV“), um einen gleichwertigen Diskurs zwischen beiden Feldern zu erleichtern – wofür jedoch eine weitere gegenseitige Anerkennung bestimmter Wissensdomänen eine Voraussetzung ist (Wilkes & Stark, 2023).

Neben der sozialen Zertifizierung spielt für die Praxis auch die Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse eine wichtige Rolle. Dieser zweite Aspekt der FRA-Kategorie kann auf die Verbreitung naturwissenschaftsdidaktischer Ergebnisse in den unterschiedlichen Publikationsformaten bezogen werden, wobei neben den auch in anderen Wissenschaften etablierten begutachteten Zeitschriften eine große Fülle weiterer praxisrelevanter Formate besteht (z. B. Unterricht Biologie). Wissenschaftlich betrachtet spielen begutachtete Publikationen auch in den Fachdidaktiken eine wichtige Rolle (Eilks, 2018). Dennoch bleiben diese für Lehrkräfte entweder aufgrund der abstrakten theoretischen Annahmen oder der nicht vorhandenen Zugänglichkeit durch Bezahlschranken oder englische Sprache häufig unzugänglich. Auch hier wird das Wissen über diese Publikationsformen im Rahmen der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken relevant: Wissen Lehrkräfte überhaupt über die Kulturen Bescheid, in denen entsprechende Erkenntnisse geteilt werden, und können diese nutzen? Kennen Lehrkräfte die Rolle der Begutachtung in der gemeinsamen Wissenskonstruktion der Wissenschaften und schätzen deswegen die Erkenntnisse dieser Publikationen anders ein? Gerade durch die Dynamisierung des Praxistransfers über neue Formate wie Podcasts oder Internetinhalte hat sich auch die Rolle von Publikationen verändert. Die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken könnte Anlass bieten, diese Themen zu explizieren und dadurch der weiteren Forschung zugänglich zu machen.

In der Bilanz zeigt sich, dass Wissen über die Art, wie die Ergebnisse der Naturwissenschaftsdidaktiken eingeschätzt und verbreitet werden, eine wichtige Rolle für den Transfer mit der Praxis spielen, ohne dass dies bisher Teil fachdidaktischer Betrachtungen war. Auch hier hilft das Konzept der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken, Anlässe zur Reflexion zu schaffen, welche auch in der Lehrkräftebildung konkret genutzt werden könnten. Diese Überlegungen könnten ebenfalls Anlass für die universitären Naturwissenschaftsdidaktiken bieten, um über die eigene Rolle zu reflektieren (eher Transfer „mit der“ als „in die“ Praxis).

These 3: Die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken muss in der Lehrkräftebildung expliziert werden

Neben dem Verhältnis von Wissen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken und dem professionellen Wissen (These 1) sowie der Möglichkeit der Befruchtung von Diskursen wie dem zwischen Theorie und Praxis (These 2) stellt sich die Frage, wie das Wissen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken erworben wird. In Anlehnung an die Vorgehensweise der NOS wäre es hierbei sinnvoll, über historische Beispiele explizite Reflexion anzuregen (Dittmer & Zabel, 2019). Reflexionsanlässe könnten dabei insbesondere Kurse bieten, bei denen über Charakteristika der Disziplin gesprochen werden kann. Innerhalb der Kurse könnten die anfangs impliziten Werte der Studierenden der Reflexion zugänglich gemacht werden. Gerade hierfür ist die weitere Untersuchung möglicher Methoden für die Lehrkräftebildung notwendig, wobei hier für den Diskurs kognitiv-epistemische und sozial-institutionelle Aspekte voneinander getrennt betrachtet werden müssen.

So sind insbesondere für die kognitiv-epistemischen Aspekte bereits Möglichkeiten der Vermittlung durch Lehrbücher zum Beispiel über Methoden der Naturwissenschaftsdidaktiken vorhanden (Krüger et al., 2014). Die Vermittlung von sozial-institutionellen Aspekten wiederum ist häufig Teil einer Sozialisation mit einer bestimmten (örtlichen) Kultur innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktiken. Eine wichtige Sozialisationsinstanz stellt hier das Studium dar, in dem Studierende über unterschiedliche Erfahrungen in und rund um naturwissenschaftsdidaktische Lehrveranstaltungen Wissen und Überzeugungen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken erwerben. Hierbei ergeben sich unterschiedliche Schwerpunkte an den jeweiligen Standorten, die sich meist an den Forschungsschwerpunkten oder der akademischen Biografie der Forschenden orientieren. Allein dieses Faktum zeigt den sozial-institutionellen Charakter der Naturwissenschaftsdidaktiken auf. Eine spezifische Kategorie, welche diese unterschiedlichen Kulturen verdeutlicht, sind die sozialen Werte der Wissenschaften.

Die *sozialen Werte der Wissenschaften* beschreiben eine FRA-Kategorie, die sich mit den Werthaltungen der entsprechenden Wissenschaft auseinandersetzt, welche sich auf sozialen Nutzen, Freiheit oder andere menschliche Bedürfnisse beziehen können (Erduran et al., 2019). Gerade in Bezug auf das Verhältnis von Forschung und Lehre bestehen in der Biologiedidaktik dabei unterschiedliche Wertsetzungen. Diese schwanken zwischen einer starken Rolle der Lehre und Praxis (Kattmann, 2021) oder einem Fokus auf hochwertige drittmittelgeförderte Grundlagenforschung (Harms, 2021). Eine Übersicht dieser mit der Biologiedidaktik verbundenen sozialen Werte sollte nicht als eine Normierung verstanden werden, sondern bietet vielmehr die Möglichkeit, die bestehende Heterogenität in diesem Feld zu verdeutlichen. Naturwissenschaftsdidaktiken wie die Biologiedidaktik sind sehr unterschiedlichen Anforderungen ausgesetzt, welche sich insbesondere auf die sozial-institutionellen Verfahrensweisen auswirken. Dies sollte auch in der Lehrkräftebildung beachtet werden.

Innerhalb der Lehrkräftebildung werden diese Aspekte bisher nicht explizit thematisiert, weshalb das Erwerben des Wissens um sozial-institutionelle Aspekte häufig nur un-

zureichend didaktisch aufbereitet ist. Zwar bearbeiten Studierende in fachdidaktischen Veranstaltungen und Abschlussarbeiten fachdidaktische Fragen und erwerben hier ebenfalls Handlungswissen über die Naturwissenschaftsdidaktiken (Büssing et al., 2016). Es ist jedoch unklar, ob sich hieraus ein Bild der Naturwissenschaftsdidaktiken ergibt und wie dieses Bild möglicherweise mit professionellen Kompetenzen zusammenhängt. Auch aus diesem Grund erscheint die weitere Erforschung entsprechender Überzeugungen und Möglichkeiten zu deren Förderung im Rahmen professioneller Kompetenzen notwendig.

5.3 Fazit und Ausblick

Die in diesem Beitrag beschriebenen Thesen haben aufgezeigt, dass Wissen über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken eine Voraussetzung für das professionelle fachdidaktische Wissen sein kann (These 1). Bereits jetzt ist die Rolle des Wissens über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken für den Transfer mit der Schulpraxis deutlich, was sich insbesondere auf die Einschätzung fachdidaktischer Erkenntnisse und deren Verbreitung bezieht (These 2). Zuletzt sollte aus diesen Gründen in der universitären Lehre die explizite Reflexion epistemischer Aspekte der Naturwissenschaftsdidaktiken angeregt werden (These 3). Auch wenn die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken neue Einblicke bieten kann, sind diese insbesondere aufgrund des noch explorativen Status dieses Feldes als vorläufig zu betrachten (Büssing et al., 2023). Aktuell scheinen insbesondere drei weitere Forschungsfragen relevant:

1. Wie ist die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken in den einzelnen Kategorien konkret ausgestaltet?
2. Welche Effekte ergeben sich durch ein adäquates oder weniger adäquates Verständnis der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken?
3. Wie kann das Wissen über die Überzeugungen zur Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken vermittelt werden?

In Bezug auf die erste Forschungsfrage konnten im Rahmen dieses Beitrags drei Kategorien etwas genauer beleuchtet werden, wobei als methodische Herangehensweise theoretische Annahmen aufgrund der Literatur beschrieben wurden. In einem nächsten Schritt erscheint eine empirische Erschließung der einzelnen Kategorien sinnvoll, um die Ausgestaltung der Kategorien zu verdeutlichen. Dabei stellt sich auch die Frage nach der Fokussierung auf einen bestimmten Bereich, wobei zu klären wäre, ob es wirklich um eine Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken oder nicht „nur“ um eine Natur der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung handelt. Leitend hierfür ist die Beantwortung der Frage, wie die auf die Naturwissenschaften ausgerichteten Kategorien des FRA sinnvoll auf ebenfalls praxisrelevante Felder wie die Naturwissenschaftsdidaktiken angewendet werden können. Hiermit eng verbunden ist auch die Frage nach den Konsequenzen, die sich aus der Wahl des FRA ergeben, der im Vergleich zu anderen Ansätzen Stärken, aber auch Schwächen besitzt.

Diese Frage nach der Systematisierung wirkt sich auch auf die zweite Forschungsfrage aus, die nach konkreten Effekten des Wissens über die Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken fragt. Hierbei scheint ein pauschales Urteil schwierig, da vielmehr innerhalb konkreter Kategorien zuerst einmal die relevanten Aspekte identifiziert werden müssen, um nachfolgende empirische Studien durchführen zu können. Dabei ist auch die genauere Definition relevanter Personenkreise herausfordernd, da Wissen und Überzeugungen zur Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken sowohl von (angehenden) Lehrkräften selbst, deren Mentor*innen, Forschenden, aber auch von anderen Personenkreisen relevant sein könnten. So werden auch in Berufungskommissionen von Forschenden anderer Disziplinen bestimmte Erwartungen an die Naturwissenschaftsdidaktiken formuliert. Ähnlich verhält es sich mit Politiker*innen, die in den Hochschulgesetzen der Länder ebenfalls über die politische Regelung wie Zugangsvoraussetzungen für Professuren zu einem gewissen Grad Erwartungen an die Naturwissenschaftsdidaktiken, wie die Erwartung von Praxis- oder Forschungserfahrungen, prägen können. Dies wird ebenfalls explizit innerhalb der FRA-Kategorie der politischen Machtstrukturen oder der Ökonomie der Wissenschaften deutlich.

Auch die letzte Forschungsfrage zur Vermittlung von Wissen über die Natur der Naturwissenschaften hängt nicht unerheblich von der Konzeptualisierung ab. Einen Teil des (deklarativen) Wissens kann man leicht innerhalb von universitären Lehrveranstaltungen adressieren, indem Aktivitäten von Forschenden der Naturwissenschaftsdidaktiken beispielhaft besprochen werden. Doch zeigen neuere Ansätze im Spannungsfeld von Forschung und Praxis die Relevanz impliziter Wissensformen auf, die sich im Spannungsfeld von Wissen und Können niederschlägt (Neuweg, 2022). Dieses implizite Wissen wird gerade in den späteren Phasen der Lehrkräftebildung erworben, was eine weitere Herausforderung darstellt. Auch stellt sich hier die Frage, wie fachspezifisch die Förderung stattfinden muss, da einige Aspekte für alle Naturwissenschaftsdidaktiken gelten, andere jedoch fachspezifisch differenziert sein dürften. Letztlich wirkt das auch die Frage auf, wie die unterschiedlichen Naturwissenschaftsdidaktiken selbst ihre eigene Natur darstellen. Dabei spielt auch die Sozialisation in den unterschiedlichen Fachverbänden wie der Fachsektion Didaktik der Biologie, der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik oder der Gesellschaft Deutscher Chemiker eine Rolle, in denen unterschiedliche sozial-institutionelle Praktiken verfolgt werden (wie die unterschiedliche Begutachtungspraxis von Tagungsbeiträgen).

Insgesamt scheint das Feld der Natur der Naturwissenschaftsdidaktiken ein noch junges Feld der Forschung zu sein, welches jedoch aufgrund der Bezüge zur Professionalisierung und der Möglichkeit der Befruchtung traditioneller Diskurse wie dem Spannungsverhältnis von Forschung und Praxis interessant erscheint. Dies wurde ebenfalls in den vielen Diskussionen auf der Tagung „Biologiedidaktische *Nature of Science*-Forschung: Zukunftsweisende Praxis“ deutlich. Dennoch bleiben diese Reflexionen vorläufig, da auch diese Betrachtungen selbst durch eine bestimmte Brille entstanden sind. Der weitere Diskurs, für den auch die Tagung prägend war, muss die weiteren Anwendungsmöglichkeiten und die Tragweite eines solchen neuen Forschungsfeldes aufzeigen.

Literatur

- Barak, M., Ginzburg, T., & Erduran, S. (2022). Nature of engineering: A cognitive and epistemic account with implications for engineering education. *Science & Education*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00402-7>.
- 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.
- Büssing, A. G., Nehring, A., & Bruckermann, T. (2023). Nature of Science als Grundlage einer Wissenschaftsdidaktik der Naturwissenschaftsdidaktiken. In G. Reinmann & R. Rhein (Hrsg.), *Wissenschaftsdidaktik Band II: Einzelne Disziplinen* (S. 293–314). transcript.
- Carlson, 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., et al. (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 Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2_2
- Caruso, C., Neuweg, G. H., Wagner, M., & Harteis, C. (2022). Theorie-Praxis-Relationierung im Praxissemester: Die Perspektive der Mentor*innen. Eine explorative Studie. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 25(6), 1481–1503. <https://doi.org/10.1007/s11618-022-01123-x>
- 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). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_6
- 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>
- Erduran, S., Bravo, A. A., & Naaman, R. M. (2007). Developing epistemologically empowered teachers: Examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. *Science & Education*, 16, 975–989.
- 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>
- 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>
- 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). Waxmann.
- Harms, U., & Riese, J. (2018). Professionelle Kompetenz und Professionswissen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 283–298). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_17
- Heering, P., & Kremer, K. (2018). Nature of science. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 105–119). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_7

- Kattmann, U. (2021). Lehren fürs Leben. Überlegungen eines Biologiedidaktikers zu Lehre und Forschung. *Zeitschrift für Schul- und Professionsentwicklung*, 3(5), 102–112. <https://doi.org/10.11576/pflb-4779>
- Krüger, D., Parchmann, I., & Schecker, H. (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0>
- Neuweg, G. H. (2022). *Lehrerbildung: Zwölf Denkfiguren im Spannungsfeld von Wissen und Können*. Waxmann.
- 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), 1357–1407. <https://doi.org/10.1002/sce.21729>
- Rothland, M., Cramer, C., & Terhart, E. (2018). Forschung zum Lehrerberuf und zur Lehrerbildung. In R. Tippelt & B. Schmidt-Herta (Hrsg.), *Handbuch Bildungsforschung* (S. 1011–1034). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-531-19981-8_44
- Schrenk, M., Gropengießer, H., Groß, J., Hammann, M., Weitzel, H., & Zabel, J. (2019). Schülervorstellungen im Biologieunterricht. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 3–20). Springer Spektrum. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_1
- Wilkes, T., & Stark, R. (2023). Probleme evidenzorientierter Unterrichtspraxis. *Unterrichtswissenschaft*, 51(2), 289–313. <https://doi.org/10.1007/s42010-022-00150-1>

Prof. Dr. Alexander Büssing hat Biologie, Germanistik, Philosophie und Bildungswissenschaften für das Lehramt an Gymnasien an der Universität Trier studiert und 2018 an der Universität Osnabrück mit einer Arbeit zu den affektiven Dimensionen der professionellen Handlungskompetenzen promoviert. Anschließend war er von 2019 bis 2023 wissenschaftlicher Mitarbeiter (Post Doc) an der Leibniz Universität Hannover. Nach Zwischenstationen an den Universitäten Wien für eine Gastprofessur und Trier als Vertretungsprofessor wurde er 2023 für das Fachgebiet Biologiedidaktik an die Technische Universität Braunschweig berufen. Aktuelle Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen der Digitalität des Biologieunterrichts, der Bildung für nachhaltige Entwicklung und der Wissenschaftsreflexion.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Umgang mit Ungewissheit als Charakteristikum von Nature of Science

6

Eine Begriffsbestimmung und Konzeptionalisierung für die
Integration in Lehr-Lern-Konzepte

Britta Lübke und Benedikt Heuckmann

Inhaltsverzeichnis

6.1	Einführung	60
6.2	Diskurs	61
	These 1: Ungewissheit und Unsicherheit lassen sich begrifflich unterscheiden	61
	These 2: Ungewissheit lässt sich als konstitutives Merkmal der Naturwissenschaften beschreiben	63
	These 3: Ungewissheit ist ein inhärenter Aspekt von NOS	66
6.3	Fazit und Ausblick	69
	Literatur	69

Zusammenfassung

Aus wissenschaftstheoretischer Perspektive lässt sich Ungewissheit als konstitutives und produktives Element der Naturwissenschaften beschreiben. In bisherigen *Nature of Science* (NOS)-Konzeptionen spielt Ungewissheit jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Für den deutschsprachigen Diskurs kommt erschwerend hinzu, dass sich der englische Begriff *uncertainty* sowohl mit Ungewissheit als auch mit Unsicherheit übersetzen lässt. In diesem Artikel wird eine Unterscheidung der Begriffe vorgeschlagen.

B. Lübke (✉)

Fakultät für Erziehungswissenschaft, Didaktik der gesellschaftswissenschaftlichen
und mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer, Universität Hamburg,
Hamburg, Deutschland

E-Mail: britta.luebke@uni-hamburg.de

B. Heuckmann

Zentrum für Didaktik der Biologie, Universität Münster, Münster, Deutschland

E-Mail: Benedikt.Heuckmann@uni-muenster.de

© Der/die Autor(en) 2024

B. Reinisch et al. (Hrsg.), *Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung:
Zukunftsweisende Praxis*, https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2_6

59

Der für den Kontext von NOS präferierte Begriff der Ungewissheit im Sinne eines Nicht-Genau-Wissens wird zudem ausdifferenziert, indem zwischen epistemischer und ontologischer Ungewissheit sowie zwischen technischer Ungewissheit und Konsens-ungewissheit unterschieden wird. Für die Frage nach der Integration in Lehr-Lern-Konzepte wird das Verhältnis von Ungewissheit und Vorläufigkeit vor dem Hintergrund der Unterscheidung Latours zwischen *ready-made-science* und *science-in-the-making* diskutiert. Zudem wird mit dem *Family Resemblance Approach* eine NOS-Konzeption auf mögliche Anknüpfungspunkte für die Thematisierung des Umgangs mit Ungewissheit in den Naturwissenschaften untersucht.

- **Abstract** From a philosophy of science perspective, uncertainty can be described as a constitutive and productive element of sciences. In previous Nature of Science (NOS) conceptions, however, uncertainty plays only a subordinate role. For the German-language discourse, this is complicated by the fact that the English term uncertainty can be translated as both *Ungewissheit* and *Unsicherheit*. In this article, we propose a distinction between the terms. The concept of uncertainty in the sense of not-knowing-exactly, which is best addressed by *Ungewissheit* for the context of NOS, is also further differentiated by distinguishing between epistemic and ontological uncertainty and between technical uncertainty and consensus uncertainty. For the question of integration in teaching-learning concepts, the relationship between uncertainty and tentativeness is discussed in light of Latour's distinction between ready-made-science and science-in-the-making. In addition, the Family Resemblance Approach to NOS is examined for possible points of contact for talking about uncertainty in science.

6.1 Einführung

Aktuelle gesellschaftliche Problemlagen wie der Klimawandel oder die Covid-19-Pandemie haben den Umgang mit Ungewissheit im Kontext der Naturwissenschaften stärker in den Fokus der Aufmerksamkeit gerückt. Gegenstand medialer und gesellschaftlicher Diskurse sind dabei Merkmale naturwissenschaftlicher Forschung wie sich widersprechende Evidenzen, unterschiedliche Interpretationen von und Schlussfolgerungen aus derselben Datenlage oder Ungewissheiten beim Explorieren komplexer Datenlagen. Auch die Bedeutung von Peer-Review-Verfahren und die Existenz von Preprint-Servern sowie der Umstand, dass Expert*innen ihr Wissen und ihre Einschätzungen im Verlauf der Zeit im Lichte neuer Erkenntnisse revidieren, demonstrieren die Notwendigkeit, den Umgang mit Ungewissheit im Rahmen naturwissenschaftlicher Forschung stärker als bislang in den Blick schulischer Bildung zu nehmen. Einen Rahmen dafür bietet die Diskussion um *Nature of Science* (NOS).

Das Lernen über die Charakteristika naturwissenschaftlichen Wissens und die diesem Wissen vorangegangenen Forschungsprozesse sind zentrale Elemente des Konzepts von NOS. Bestehende NOS-Konzeptionen rekurrieren bisher nur selten explizit auf die Begriffe Ungewissheit oder Unsicherheit, sondern verweisen implizit oder durch Umschreibungen auf diesen Aspekt. Lediglich der Whole-Science-Ansatz von Allchin (2013) verweist, unter Bezugnahme auf Latours (1987) Unterscheidung zwischen *ready-made-science* und *science-in-the-making*, bisher explizit und zugleich nicht systematisch auf „uncertainty“ (Allchin, 2013, S. 19). Ziel dieses Beitrages ist es zu untersuchen, inwieweit der Umgang mit Ungewissheit als Charakteristikum naturwissenschaftlichen Arbeitens im Sinne von NOS beschrieben werden kann. Dieser Beitrag bezieht sich damit auf die erste Leitfrage dieses Sammelbandes: Welche *Nature of Science*-Inhalte lassen sich im Sinne einer konsensfähigen theoretischen Konzeptualisierung in Lehr-Lern-Konzepten integrieren?

Die Argumentation folgt dabei drei aufeinander aufbauenden Thesen. Die erste These hat das Anliegen, die Bedeutung der Begriffe Ungewissheit und Unsicherheit zu klären, welche beide als Übersetzung des englischen Begriffs *uncertainty* genutzt werden. Dies macht eine grundlegende Begriffsklärung notwendig, um zu bestimmen, inwiefern Bedeutungsunterschiede zwischen den Begriffen Ungewissheit und Unsicherheit bestehen und einer der beiden deutschen Begriffe für den Kontext NOS geeigneter erscheint.

Davon ausgehend wird im zweiten Schritt analysiert, inwiefern der in diesem Artikel präferierte Begriff Ungewissheit als konstitutives Element der Naturwissenschaften beschrieben werden kann. Die zweite These argumentiert dabei vorrangig aus den Perspektiven von Wissenschaftstheorie, -philosophie und -kommunikation, welche – unabhängig von didaktischen Konzeptualisierungen – die Bedeutung von Ungewissheit für die Naturwissenschaften beschreiben.

In einem letzten Schritt werden in der dritten These die Erkenntnisse aus den vorherigen Argumentationen auf den Gegenstandsbereich des naturwissenschaftlichen Unterrichts bezogen. Dazu wird mit dem *Family Resemblance Approach* (FRA; Erduran & Dagher, 2014) eine NOS-Konzeption auf mögliche Anknüpfungspunkte für den Umgang mit Ungewissheit untersucht. Ziel ist es zu untersuchen, inwieweit Ungewissheit auch im Sinne von NOS als Charakteristikum der Naturwissenschaften beschrieben werden kann.

6.2 Diskurs

These 1: Ungewissheit und Unsicherheit lassen sich begrifflich unterscheiden

Der Umstand, dass der englische Begriff *uncertainty* im Deutschen sowohl mit Ungewissheit als auch mit Unsicherheit übersetzt werden kann, macht eine grundlegende Begriffsklärung notwendig. Aktuell werden im deutschsprachigen Diskurs beide Begriffe wenig differenziert und zum Teil synonym genutzt, um über naturwissenschaftliches Wissen und Forschungsprozesse zu sprechen.

Blickt man sprachanalytisch auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Begriffe Ungewissheit und Unsicherheit, wird zunächst deutlich, dass sich beide sprachlich dafür benutzen lassen, um eine Aussage über Gegenstände, Phänomene oder Situationen zu treffen („Etwas ist ungewiss/unsicher“). Der Begriff Unsicherheit wird jedoch darüber hinaus verwendet, um eine Aussage über das innere Erleben einer Person zu treffen: „Ich bin bzw. sie ist unsicher“ ist eine sprachlich wohlgeformte Äußerung, „Ich bin bzw. sie ist ungewiss“ hingegen nicht. Daraus ergibt sich eine erste Unterscheidungsmöglichkeit: Beide Begriffe können dafür verwendet werden, um eine Aussage über einen Gegenstand, ein Phänomen oder eine Situation zu treffen. Aber nur Unsicherheit, nicht aber Ungewissheit, kann auch als Auskunft über das innere Erleben – also die Emotionen – einer Person verstanden werden.

Eine sprachliche Analyse der unterschiedlichen Wortstämme der Begriffe hilft dabei zu untersuchen, ob die Begriffe gleichermaßen auf alle möglichen Gegenstände, Phänomene oder Situationen bezogen werden können. Unsicherheit ist sprachlich eine Negation von Sicherheit (Wortstamm: Sicher plus Suffix -heit). Ungewissheit ist dagegen eine Negation von Gewissheit (Wortstamm: Wiss(en) plus Präfix Ge- und Suffix -heit). Der Begriff Sicherheit bzw. dessen Verneinung (Unsicherheit) kann auf alle Gegenstände, Situationen oder Phänomene bezogen werden (z. B. Sicherheit des Autos, des Heimwegs, der Wettervorhersage ebenso wie Sicherheit des Wissens). Der Begriff Gewissheit bzw. dessen Verneinung (Ungewissheit) ist hingegen auf den Kontext Wissen beschränkt. Demnach ist Unsicherheit ein Begriff, der breiter verwendet werden kann, da er nicht auf den Kontext von Wissen beschränkt ist. In diesem Verständnis kann Ungewissheit auch als ein Unterbegriff von Unsicherheit beschrieben werden, der sich nur auf einen Teilbereich, nämlich auf alle Aussagen, die ein Nicht-Genau-Wissen beschreiben (Lantermann et al., 2009), beziehen lässt. Andersherum lässt sich argumentieren, dass Ungewissheit im Kontext von Aussagen über Wissen der genauere Begriff ist, da dieser sich im Unterschied zu Unsicherheit nicht in anderen Kontexten anwenden lässt (vgl. Lantermann et al., 2009). Sprachlich betrachtet können damit beide Begriffe synonym verwendet werden, sofern die Aussage auf den Kontext Wissen bezogen ist.

Zugleich lassen sich mit der obigen Differenzierung auf der inhaltlichen Ebene auch Argumente gegen eine Synonymsetzung formulieren. Der Begriff Unsicherheit kann prinzipiell in zwei unterschiedlichen Konnotationen gebraucht werden: erstens im Sinne von Zuständen des Nicht-Genau-Wissens, wobei hier nach Lantermann et al. (2009) der Begriff Ungewissheit der treffendere wäre. Zweitens kann Unsicherheit im Sinne von Gefahr und Bedrohung verstanden werden. Diese Konnotation lässt sich entscheidungstheoretisch herleiten (Dörsam, 2007) und findet auch in der Kognitionspsychologie Anwendung (Mousavi & Gigerenzer, 2014). In der Regel wird in der zumeist englischsprachigen Literatur dabei das Treffen von Entscheidungen unter *uncertainty* vom Treffen von Entscheidungen unter *risk* abgegrenzt. *Uncertainty* wird insofern als Gegenpol zu *risk* verstanden, als beim Begriff *risk* Informationen über (Auftretens-)Wahrscheinlichkeiten bekannt, bei *uncertainty* dagegen unbekannt sind. Dabei verbleibt der Begriff *uncertainty* sprachlich auf der gleichen Bewertungsebene wie der Begriff *risk* (siehe

z. B. bei Spiegelhalter, 2011).¹ Von *risk* – und folglich ebenso von *uncertainty* – wird entscheidungstheoretisch zumeist gesprochen, wenn ein negativ bewertetes Ereignis adressiert wird (Mousavi & Gigerenzer, 2014). Entsprechend kann Unsicherheit, als eine mögliche Übersetzung des Begriffs *uncertainty*, in diesem Sinne mit Gefahr und Bedrohung negativ konnotiert sein.

Dieser Artikel schlägt eine begriffliche Differenzierung vor: Ungewissheit als Zustand des Nicht-Genau-Wissens und Unsicherheit, wenn Nicht-Genau-Wissen zusätzlich mit Gefahr und Bedrohung assoziiert werden kann. Für den Teilbereich NOS ist der Begriff der Ungewissheit, so ließe sich folgern, der adäquatere, da hier – wie die Ausdifferenzierung von Ungewissheit im Kontext der Naturwissenschaften in der folgenden These zeigen wird – die Bedeutung eines Nicht-Genau-Wissens ohne Assoziationen zu Gefahr und Bedrohung intendiert ist.

These 2: Ungewissheit lässt sich als konstitutives Merkmal der Naturwissenschaften beschreiben

„The uncertainty inherent in the research process that teases, excites and challenges the researcher where it leads persists in a productive way“ (Nowotny, 2016, S. 7).

Aus der Perspektive von Autor*innen wie beispielsweise Nowotny (2016) oder Latour (1987) im Bereich der Wissenschaftstheorie sowie der Wissenschaftsphilosophie (z. B. Kampourakis & McCain, 2020) scheint Ungewissheit ein nicht ausschließlich negativ zu bewertendes Merkmal naturwissenschaftlichen Arbeitens. Die im obigen Zitat benannte Ungewissheit lässt sich zum einen als eine epistemische Ungewissheit – im Sinne eines Noch-Nicht-Wissens – beschreiben, die der Beginn eines jeden Forschungsprozesses ist. Zum anderen deutet das Zitat aber bereits an, dass sich Ungewissheit im Forschungsprozess nicht auf dieses Moment reduzieren lässt.

Mit Wehling (2006) lassen sich zwei Formen des Nichtwissens unterscheiden:² (a) ein überwindbares und zeitlich begrenztes Noch-Nicht-Wissen, was sowohl ein individuelles als auch ein kollektives Nichtwissen sein kann, und (b) ein kollektives Nicht-Wissen-Können, das aktuell nicht (und vielleicht auch nie) überwunden werden kann. Diese Unterscheidung zwischen einem temporären Noch-Nicht-Wissen und einem andauernden Nicht-Wissen-Können wird in anderen Ansätzen auch im Kontext von *uncertainty* beschrieben. So unterscheiden Dewulf und Biesbroek (2018) u. a. eine individuelle oder kol-

¹Als ein mögliches positives Äquivalent zum Begriff des Risikos kann der Begriff Chance genutzt werden. In diesem Sinne bezeichnet Risiko dann ein negativ konnotiertes Ereignis und Chance ein positiv konnotiertes Ereignis, deren Eintrittswahrscheinlichkeiten jeweils bekannt sind. Im Unterschied dazu und deswegen als Gegenpol bezeichnet, sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Ereignisses, welches als unsicher oder ungewiss bezeichnet wird, nicht bekannt.

²Ungewissheit im Sinne eines Nicht-Genau-Wissens lässt sich dabei als partielles Nichtwissen beschreiben. Die Überlegungen Wehlings (2006) beziehen sich zwar ursprünglich auf vollständiges Nichtwissen, sind aber an dieser Stelle übertragbar.

lektive überwindbare „[e]pistemic uncertainty [which] refers to uncertainty due to our lack of knowledge about a phenomenon and is therefore a characteristic of the human state of mind“ und eine kollektive, nicht überwindbare „[o]ntological uncertainty [which] refers to uncertainty due to inherent variability in the phenomenon of interest such that its chaotic behavior precludes full predictability. Ontological uncertainty is therefore a characteristic of the ‚state of the world‘ (the phenomenon of interest itself), rather than a ‚state of mind‘ (our knowledge about the phenomenon)“ (Dewulf und Biesbroek, 2018, S. 444). Diese unhintergehbare ontologische Ungewissheit wird in der Wissenschaftskommunikation auch als *scientific uncertainty* bezeichnet und als generelle Vorläufigkeit (*tentativeness*) von Wissen beschrieben (vgl. Gustafson & Rice, 2020).

Wie im Alltag werden auch in Forschungsprozessen ständig Entscheidungen unter Bedingungen des Nicht-Genau-Wissens getroffen. Mit Dörsam (2007) lassen sich drei Formen des Entscheidens unter Bedingungen des Nicht-Genau-Wissens (Dörsam spricht dabei von Entscheidungen unter Unsicherheit) unterscheiden:

1. Risiko (mögliche Ereignisse und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten sind bekannt),
2. Ungewissheit (mögliche Ereignisse sind bekannt, deren Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht) und
3. Unwissenheit (weder die möglichen Ereignisse noch deren Eintrittswahrscheinlichkeiten sind bekannt).

Gigerenzer (2019) weist darauf hin, dass nur im Falle des Vorliegens eines Risikos eine Entscheidung aufgrund statistischer Verfahren sinnhaft ist.³ Bei Entscheidungen unter Ungewissheit oder Unwissenheit seien hingegen „intelligente Heuristiken“ (S. 1) zielführender. Während im Falle eines Risikos in diesem Verständnis eindeutig ein temporäres und damit überwindbares Noch-Nicht-Wissen im Sinne einer *epistemic uncertainty* vorliegt, liegt im Falle von Ungewissheit und Unsicherheit im Sinne der Entscheidungstheorie unvollständiges bzw. kein Wissen vor, das sich streng genommen im Moment der Entscheidung nicht in sicheres Wissen überführen lässt, wenngleich der Rückgriff auf Heuristiken in den meisten Fällen dennoch zu tragfähigen Entscheidungen führt.

Für die Frage nach einer Charakterisierung von Ungewissheit im Kontext der Naturwissenschaften lässt sich festhalten, dass im Verlauf des Forschungsprozesses jederzeit neue und weitere epistemische Ungewissheiten auftreten können (vgl. Kampourakis & McCain, 2020). Latour (1987) hat diese Ungewissheiten explizit in seiner Konzeption von *science-in-the-making* betont und diese den (vorläufigen) Gewissheiten der sogenannten *ready-made-science* gegenübergestellt. Während im ersten Fall die im Forschungsprozess auftretenden Ungewissheiten sicht- und kommunizierbar sind, sind diese im zweiten Fall, im (vorläufigen) Endprodukt des Forschungsprozesses, welches zumeist als Text in einem

³Zudem weist Gigerenzer darauf hin, dass die wenigsten Entscheidungen, die Menschen treffen, in diese Kategorie fallen, und kritisiert daher die entscheidungstheoretische Forschung dafür, dass sie häufig dennoch Entscheidungen unter Risiko fokussiert.

Lehrbuch vorliegt, in der Regel nicht mehr sicht- und nachvollziehbar. In einer späteren Veröffentlichung findet sich diese Unterscheidung wieder, wenn Latour (1998) zwischen den Eigenschaften von *science* und *research* unterscheidet:⁴ „Science is certainty; research is uncertainty. Science is supposed to be cold, straight, and detached; research is warm, involving, and risky. Science puts an end to the vagaries of human disputes; research creates controversies. Science produces objectivity by escaping as much as possible from the shackles of ideology, passions, and emotions; research feeds on all of those to render objects of inquiry familiar“ (S. 208).

Die epistemischen Ungewissheiten des Forschungsprozesses sind im *ready-made-science* im Unterschied zum *science-in-the-making* (oder anderes gesprochen zum *research*) überwunden, das entstandene Wissen wird als vorläufig sicheres Wissen behandelt. Dies bedeutet aber nicht, dass die ontologische Ungewissheit überwunden ist, denn eine zukünftige Revision oder Weiterentwicklung bestehender Wissensbestände ist immer und grundsätzlich möglich.

Die Unterscheidung zwischen epistemischer und ontologischer Ungewissheit ermöglicht eine Differenzierung, die bezogen auf naturwissenschaftliches Wissen (*ready-made-science* bzw. *science* im Sinne Latours, 1998) und die Prozesse naturwissenschaftlicher Forschung (*science-in-the-making* bzw. *research* im Sinne Latours, 1998) im Hinblick auf die Verortung der Ungewissheit weiter ausdifferenziert werden kann: Gustafson und Rice (2019) unterscheiden die sogenannte technische Ungewissheit (*technical uncertainty*) und die Konsensungewissheit (*consensus uncertainty*). Die technische Ungewissheit liegt darin begründet, dass naturwissenschaftliche Erkenntnisse zumeist durch Experimente mit technischen Apparaturen gewonnen werden. Damit sind die Erkenntnisse nicht frei von Messabweichungen und Schätzungen, die in Modellannäherungen und statistische Verfahren eingehen. Diese Art der Ungewissheit wird zumeist quantifiziert und findet sich häufig in Publikationen im Angeben einer Wahrscheinlichkeit, mit der zum Beispiel ein Ereignis eintritt, in der Angabe eines Bereiches (z. B. in cm oder Grad) für einen bestimmten Wert sowie in Werten mit Konfidenzintervall oder Fehlerbalken wieder (vgl. Gustafson & Rice, 2019). Die zweite Form der Ungewissheit, die sogenannte Konsensungewissheit, zeichnet sich nach Gustafson und Rice (2019) dadurch aus, dass keine kollektive Einigkeit über einen Sachverhalt besteht, wobei diese Uneinigkeit entweder zwischen unterschiedlichen Personen oder in Form von sich widersprechenden Daten vorliegen kann. Diese Ungewissheit lässt sich in der Interpretation und im Umgang mit sich widersprechenden Daten verorten. Die Kategorien der technischen Ungewissheit und der Konsensungewissheit können in Beziehung zueinander stehen, da sich widersprechende

⁴Inwieweit diese zweite Unterscheidung sprachlich gelungen ist, ist zu diskutieren. Denn zumeist wird unter dem Begriff *science* als Oberbegriff auch der Begriff *research* subsummiert, da *science* ohne vorherigen *research* nicht existieren würde. Die Unterscheidung, auf die es unseres Erachtens ankommt, ist vielmehr die Unterscheidung zwischen Prozess und Produkt. Während Forscher*innen im Forschungsprozess selbst – wie im Folgenden gezeigt wird – beständig mit Ungewissheiten umgehen müssen, sind diese im (vorläufigen) Endprodukt eines Forschungsprozesses soweit möglich bearbeitet und reduziert worden.

Daten auch in nicht erkannten Messabweichungen begründet sein können, was zu einer Konsensungewissheit führt. Der Fokus letzterer Kategorie liegt jedoch im fehlenden Konsens und der damit einhergehenden Kontroverse.

Naturwissenschaftliche Phänomene weisen eine so hohe Komplexität auf, dass naturwissenschaftliche Modelle und Theorien stets Idealisierungen darstellen (Kampourakis & McCain, 2020, S. 176). Da diese Modelle und Theorien ebenso wie alle ihnen zugrunde liegenden naturwissenschaftlichen Praktiken (von Denk- und Arbeitsweisen wie dem Beobachten, dem Experimentieren oder der Literaturrecherche bis hin zu Praktiken der Kooperation und des Argumentierens) durch Menschen (mit spezifischen individuellen und gesellschaftlichen Vorannahmen, Erwartungen und Erfahrungen) vollzogen werden, können diese nie eine finale Gewissheit über ein naturwissenschaftliches Phänomen hervorbringen. Dies ist jedoch kein Mangel der Naturwissenschaften, deren vorrangiges Ziel nicht das Erlangen von absoluter Gewissheit, sondern das Verstehen von naturwissenschaftlichen Phänomenen ist (vgl. Kampourakis & McCain, 2020, S. 166 ff.).

These 3: Ungewissheit ist ein inhärenter Aspekt von NOS

Wie in der bisherigen Argumentation deutlich wurde, ist Ungewissheit ein konstitutives und produktives Merkmal der Naturwissenschaften. Für eine Auseinandersetzung mit der dritten These gilt es nun zu klären, inwieweit sich die in These 2 herausgearbeiteten Ungewissheiten an den bestehenden Diskurs um NOS und deren Konzeptualisierungen anbinden lassen. In diesem Artikel geschieht dies exemplarisch anhand des Verhältnisses der Begriffe der Ungewissheit und der Vorläufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens sowie durch eine Betrachtung des FRA-Modells mit Blick auf mögliche Anknüpfungspunkte für die Thematisierung von Ungewissheit.

Die Vorläufigkeit naturwissenschaftlicher Modelle und Theorien und somit des naturwissenschaftlichen Wissens ist ein zentrales Element bestehender NOS-Konzeptionen (vgl. Reinisch & Krüger, 2018). Ungewissheit lässt sich mit Blick auf die vorherigen Thesen als inhärenter Aspekt des Konzepts der Vorläufigkeit beschreiben: Es ist – im Sinne einer ontologischen Ungewissheit – ungewiss, ob, wann und wie sich das bestehende naturwissenschaftliche Wissen verändern wird. Gleichzeitig beschränkt sich die Ungewissheit der Naturwissenschaften nicht nur auf die zukünftige Entwicklung der wissenschaftlichen Erkenntnisse. Ungewissheiten sowohl technischer als auch konsensueller Art sind für die Prozesse und Praktiken des Forschungsprozesses von hoher Relevanz (vgl. These 2). Diese Arten von Ungewissheit liefern einen Teil der Begründung, warum wissenschaftliche Erkenntnisse generell vorläufig bleiben werden: Die Möglichkeit von Messabweichungen oder unterschiedlicher Interpretationen derselben Daten lässt sich nicht ausschließen. Wenn also das Konzept der Ungewissheit bereits im Konzept der Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens enthalten ist, stellt sich die Frage, warum es dann als weitere NOS-Facette beschrieben werden sollte.

Die NOS-Facette zur Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens fokussiert das, was Latour *ready-made-science* bzw. *science* nennt. Trotz seiner generellen Vorläufigkeit ist dieses Wissen aus guten Gründen relativ stabil und von zahlreichen Evidenzen gestützt. Die epistemischen Ungewissheiten, die im Verlauf des Forschungsprozesses aufgetreten sind, wurden zumindest vorläufig überwunden, Konsensungewissheiten diskursiv verhandelt und technische Ungewissheiten quantifiziert und berichtet. Kurzum, auch wenn Ungewissheiten implizit Teil des Konzeptes der Vorläufigkeit sind, werden sie an dieser Stelle – im Unterschied zu *science-in-the-making* bzw. *research* im Sinne von Latour – nicht mehr explizit sichtbar.

Dieser Umstand lässt sich mit Blick auf den naturwissenschaftlichen Unterricht aus zwei Gründen kritisch diskutieren. Erstens vor dem Hintergrund der berichteten Erkenntnisse aus der Wissenschaftskommunikation, dass aktuell die Kommunikation von Ungewissheit, besonders von Konsensungewissheit (vgl. Gustafson & Rice, 2020), bei Nichtnaturwissenschaftler*innen zu einer ablehnenden Haltung gegenüber naturwissenschaftlichem Wissen führen kann. Im Sinne einer naturwissenschaftlichen Grundbildung hat der Unterricht den Auftrag, Schüler*innen zu befähigen, mündig und rational mit naturwissenschaftlichen Erkenntnissen in Lebenswelt und Gesellschaft umzugehen. Ein fundiertes Wissen zu den Unterschieden von *ready-made-science* und *science-in-the-making* sowie der Produktivität und Normalität von Ungewissheit in Forschungsprozessen könnte es nun den Schüler*innen ermöglichen, ontologische Ungewissheiten auf der einen Seite als normales und notwendiges Element naturwissenschaftlichen Wissens zu erfahren und auf der anderen Seite in der Lage zu sein, vermeintliche Konsensungewissheiten wie im gesellschaftlichen Diskurs zum Klimawandel zu erkennen und in ihrer Wirkung einzuordnen. Zweitens haben aktuelle NOS-Konzeptionen wie der FRA das Ziel, nicht nur deklaratives Wissen über Charakteristika naturwissenschaftlichen Wissens zu vermitteln, sondern auch einen Einblick in die Praktiken naturwissenschaftlichen Arbeitens und dessen Kontexte – oder, mit Latour gesprochen, in die Prozesse von *science-in-the-making* – zu geben (vgl. Erduran & Dagher, 2014). Damit geraten diverse epistemische Ungewissheiten in den Blick, welche Bestandteil naturwissenschaftlicher Praktiken sind und die in ihrem Vollzug im Verlauf des Forschungsprozesses produktiv bearbeitet werden.

Aspekte von *science-in-the-making* finden sich dementsprechend an verschiedenen Stellen des FRA-Modells. Das holistische Modell unterscheidet grundlegend zwei Systeme, die in ständiger Wechselwirkung zueinanderstehen: erstens Wissenschaft als kognitiv-epistemisches System (*Science as cognitive-epistemic system*) und zweitens Wissenschaft als sozial-institutionelles System (*Science as social-intitutional system*) (Erduran & Dagher, 2014, S. 28).

Dabei werden naturwissenschaftliche Praktiken (*Practices*) wie das Modellieren oder Argumentieren – denen Ungewissheiten stets inhärent sind (vgl. These 2) – als einer von vier Bestandteilen von Wissenschaft als kognitiv-epistemisches System beschrieben. Auch die wissenschaftlichen Methoden (*Methods and methodological rules*) als weiterer Bestandteil beinhalten Ungewissheiten. Neben der technischen Ungewissheit sind beispiels-

weise Beobachtungen nie frei von Ungewissheit, da sie zum einen von unseren Sinnesleistungen abhängen und zum anderen, weil sie – mit Kuhn gesprochen – ebenso wie die Interpretation einer Beobachtung stets unter der Perspektive des vorherrschenden Paradigmas erfolgen (vgl. Kampourakis & McCain, 2020).

Auch Bestandteile von Wissenschaft als sozial-institutionellem System aus dem FRA (Erduran & Dagher 2014, S. 28) können direkt auf den Umgang mit Ungewissheit bezogen werden. Hier sind Tätigkeiten der sozialen Zertifizierung und Verbreitung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen (*Social certification and dissemination*) und professionelle Aktivitäten (*Professional activities*) wie Konferenzteilnahmen und Peer-Review-Verfahren eine produktive Umgangsweise mit Konsensungewissheit.

Darüber hinaus kann die Beschreibung von Wissenschaft als sozial-institutionelles System, in welches das kognitiv-epistemische System eingebettet ist, insgesamt als Erklärung für einen Teil der darin lokalisierten Ungewissheit herangezogen werden: Wissenschaftler*innen werden von sozialen und politischen Machtstrukturen beeinflusst, denn ihre Forschung steht immer auch unter Finanzierungsvorbehalten und Publikationsdruck, und die in der jeweiligen Fachgesellschaft anerkannten Paradigmen, Normen und Werte haben stets Einfluss auf das wissenschaftliche Arbeiten. Dies führt unter anderem dazu, dass Beobachtungen auf die eine und nicht auf die andere Art interpretiert werden oder Daten, die eine Hypothese widerlegen würden, ggf. nur als Anomalie interpretiert werden (vgl. Kampourakis & McCain, 2020).

Mit Blick auf NOS lässt sich festhalten, dass Ungewissheit im Sinne einer ontologischen Ungewissheit inhärenter Teil der Naturwissenschaften ist. In bestehenden NOS-Konzepten wird dies mit der Betonung der Vorläufigkeit des Wissens, wenn auch zumeist ohne expliziten Bezug zum Konzept der Ungewissheit, aufgegriffen. Nimmt man darüber hinaus – wie im FRA angelegt – auch Prozesse des *science-in-the-making* in den Blick, lassen sich weitere Ungewissheiten (wie technische Ungewissheit und Konsensungewissheit) identifizieren, welche wiederum letztlich als Grundlage für die ontologische Ungewissheit und die Vorläufigkeit des naturwissenschaftlichen Wissens beschrieben werden können. Dabei lässt sich Ungewissheit zum einen als unhintergebares Moment des naturwissenschaftlichen Arbeitens beschreiben. Zum anderen gibt es Praktiken wie das Argumentieren oder das Peer-Review-Verfahren, die direkt auf den Umgang mit Ungewissheit gerichtet sind. Während der Begriff der Vorläufigkeit vor allem eine Aussage über naturwissenschaftliches Wissen als das vorläufige Endprodukt eines Forschungsprozesses trifft, fokussiert der Begriff der Ungewissheit auch den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess mit der Genese dieses Wissens. Der Begriff der Ungewissheit soll somit den Begriff der Vorläufigkeit nicht ersetzen, sondern stellt eine Erweiterung in der NOS-Konzeption dar, um auch die unterschiedlichen Formen von Ungewissheit im Prozess der Erkenntnisgewinnung zu explizieren.

6.3 Fazit und Ausblick

Der Umgang mit Ungewissheit lässt sich begründet als ein Teil von NOS beschreiben. Die beschriebenen Ungewissheiten sind dabei kein Mangel der Naturwissenschaften, sondern Teil ihres Wesens oder, in der NOS-Metapher gesprochen, ihrer „Natur“, auch wenn Ungewissheit im öffentlichen Diskurs (wie z. B. in Bezug auf den Klimawandel) oft genutzt wird, um wissenschaftliche Erkenntnisse zu diskreditieren. Eine Integration der unterschiedlichen Typen von Ungewissheit in NOS-Konzeptionen würde es – so eine empirisch noch zu prüfende These – ermöglichen, diese stärker im Unterricht zu explizieren und in der Wahrnehmung der Schüler*innen zu normalisieren. Auf konzeptioneller wie empirischer Ebene stellt sich mit Blick auf den FRA zudem u. a. die Frage nach der Disziplinspezifität. Der FRA argumentiert dafür, dass für eine Beschreibung von NOS sowohl domänenübergreifende Aspekte als auch Unterschiede zwischen den Naturwissenschaften im Sinne von domänenspezifischen Aspekten betrachtet werden müssen.⁵ Für den Umgang mit Ungewissheit gilt es somit zu klären, welche Formen und Umgangsweisen generisch sind sowie welche Unterschiede zwischen den Disziplinen selbst und im Unterricht dieser im jeweiligen Fachunterricht bestehen.

Hinweis zur Förderung: Benedikt Heuckmann dankt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung des Projekts siMINT (Projektnummer 16MF1070A).

Literatur

- Allchin, D. (2013). *Teaching the nature of science: perspectives & resources*. Ships Education Press.
- Dewulf, A., & Biesbroek, R. (2018). Nine lives of uncertainty in decision-making: Strategies for dealing with uncertainty in environmental governance. *Policy and Society*, 37(4), 441–458.
- Dörsam, P. (2007). *Grundlagen der Entscheidungstheorie*. PD-Verlag.
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education. Scientific knowledge, practices and other family categories*. Springer.
- Gigerenzer, G. (2019). Rationales Entscheiden unter Ungewissheit ≠ Rationales Entscheiden unter Risiko. In B. Fleischer, R. Lauterbach, & K. Pawlik (Hrsg.), *Rationale Entscheidungen unter Unsicherheit* (S. 1–14). De Gruyter.
- Gustafson, A., & Rice, R. (2019). The effects of uncertainty frames in three science communication topics. *Science Communication*, 41(6), 679–706.
- Gustafson, A., & Rice, R. (2020). A review of the effects of uncertainty in public science communication. *Public Understanding of Science*, 29(6), 614–633.
- Kampourakis, K., & McCain, K. (2020). *Uncertainty. How it makes science advance*. Oxford University Press.

⁵Erduran und Dagher (2014) verweisen z. B. auf die unterschiedliche Konzeptualisierung von Gesetzen zwischen den Naturwissenschaften.

- Lantermann, E., Doering Seipel, E., Eiertanz, F., & Gerhold, L. (2009). *Selbstsorge in unsicheren Zeiten. Resignieren oder Gestalten*. Beltz.
- Latour, B. (1987). *Science in Action. How to follow scientists and engineers through society*, Harvard University Press.
- Latour, B. (1998). From the World of science to the World of research? *Science*, 280(5361), 208–209.
- Mousavi, S., & Gigerenzer, G. (2014). Risk, uncertainty, and heuristics. *Journal of Business Research*, 67(8), 1671–1678.
- Nowotny, H. (2016). *The cunning of uncertainty*. Polity Press.
- Reinisch, B., & Krüger, D. (2018). Preservice biology teachers' conceptions about the tentative nature of theories and models in biology. *Research in Science Education*, 48(1), 71–103.
- Spiegelhalter, D. (2011). Quantifying uncertainty. In L. Skinns, M. Scott, & T. Cox (Hrsg.), *Risk* (S. 17–34). Cambridge University Press.
- Wehling, P. (2006). *Im Schatten des Wissens? Perspektiven der Soziologie des Nichtwissens*. UVK.

Dr. Britta Lübke ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Didaktik der Biologie an der Universität Hamburg und koordiniert dort u. a. den fakultären Forschungsschwerpunkt „Ungewissheit als Dimension pädagogischen Handelns“. Im WiSe 2023/24 vertrat sie die Professur Didaktik der Biologie an der Universität Kassel. Ihre Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte liegen im Bereich der schulischen Fachkulturenforschung und dort besonders auf dem Umgang mit Ungewissheit als einer Facette von *Nature of Science*. Weitere Projekte fokussieren das Lehren und Lernen an außerschulischen Lernorten sowie den Umgang mit Heterogenität im Fachunterricht.

Prof. Dr. Benedikt Heuckmann studierte an der Universität Münster Lehramt für die Fächer Biologie, Geografie und didaktische Grundlagen der Mathematik. Nach dem Referendariat promovierte er dort im Jahr 2020 am Zentrum für Didaktik der Biologie. Anschließend war er als Post-Doc am Institut für Didaktik der Naturwissenschaften an der Universität Hannover tätig, bevor er Ende 2021 die Professur für Biologie und ihre Didaktik an der Universität Trier vertrat. Im Jahr 2022 wurde er zunächst zum Juniorprofessor, im Jahr 2023 zum Universitätsprofessor für Didaktik der Biologie an die Universität Münster berufen. Dort untersucht er Kompetenzen von Lernenden und Lehrenden im Umgang mit Unsicherheit, Komplexität und Risiko unter Berücksichtigung neuer Möglichkeiten durch digitale Tools, insbesondere Computersimulationen und 3D-Modellierungen.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Mit Simulationen im Biologieunterricht das Verständnis von Nature of Science reflektieren und fördern

7

Potentiale von Computersimulationen zum Umgang mit Ungewissheit

Benedikt Heuckmann und Britta Lübke

Inhaltsverzeichnis

7.1 Einführung.....	72
Simulationen.....	73
Ungewissheit.....	75
Komplexität im Cynefin-Framework.....	76
7.2 Diskurs.....	77
Ungewissheit und Komplexität.....	77
Ungewissheit und Modellieren.....	79
7.3 Fazit und Ausblick.....	81
Literatur.....	81

Zusammenfassung

In den Naturwissenschaften werden Computersimulationen verstärkt eingesetzt, um neue Erkenntnisse zu gewinnen und diese in die Öffentlichkeit zu kommunizieren. Auch in der Biologie gelten Simulationen neben Theorie und Empirie inzwischen als drittes Standbein der Wissenschaft. Im Beitrag wird argumentiert, dass sich Computersimulationen im Biologieunterricht auch zur Förderung des Verständnisses von *Nature of Science* (NOS) eignen. Dies ist besonders der Fall, wenn mit Simulationen komplexe

B. Heuckmann (✉)

Zentrum für Didaktik der Biologie, Universität Münster, Münster, Deutschland

E-Mail: Benedikt.Heuckmann@uni-muenster.de

B. Lübke

Fakultät für Erziehungswissenschaft, Didaktik der gesellschaftswissenschaftlichen und mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland

E-Mail: britta.luebke@uni-hamburg.de

© Der/die Autor(en) 2024

B. Reinisch et al. (Hrsg.), *Biologiedidaktische Nature of Science-Forschung: Zukunftsweisende Praxis*, https://doi.org/10.1007/978-3-662-68409-2_7

71

naturwissenschaftliche Phänomene untersucht werden. Der Beitrag legt dafür ein spezifisches Augenmerk auf die Kombination unterschiedlicher Typen von Ungewissheit bei unterschiedlich komplexen Themen, die mithilfe des Cynefin-Frameworks konzeptualisiert werden, und betrachtet die Möglichkeiten, die Simulationen für die Auseinandersetzung mit Ungewissheit bieten.

- ▶ **Abstract** Computer simulations are being increasingly applied in scientific inquiry to gain new insights and communicate them to the public. In biology, simulations are now considered a third strand of science in addition to theory and empiricism. This chapter argues that computer simulations are a suitable format for reflecting Nature of Science (NOS). One particular advantage of computer simulations is that they can be used to investigate complex scientific phenomena. The chapter discusses the combination of different types of uncertainty and topics with varying complexities, conceptualized using the Cynefin Framework. We explore opportunities that computer simulations offer for dealing with uncertainty and discuss their potential for reflecting on the Nature of Science.

7.1 Einführung

Der Einsatz von Computersimulationen hat in der naturwissenschaftlichen Bildung eine lange Tradition (D'Angelo et al., 2014). Im schulischen Kontext dienen Simulationen dabei vor allem der Visualisierung naturwissenschaftlicher Phänomene (Dierkes, 2015). Im Biologieunterricht werden Simulationen unter anderem eingesetzt, wenn Phänomene aufgrund ihrer Eigenschaften gar nicht oder nur unter großem Aufwand im Unterricht untersucht werden können (z. B. Gefahrstoffe, nur schwer beobachtbare Prozesse wie etwa der globale Klimawandel oder Biodiversitätsverlust). Im wissenschaftlichen Kontext dagegen werden Simulationen im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung vermehrt als drittes Standbein der Wissenschaft neben Theorie und Empirie bezeichnet (Greca et al., 2014). Mit ihnen werden Erkenntnisse zu komplexen Fragestellungen gewonnen und zielgerichtet in die Öffentlichkeit kommuniziert (z. B. Klimamodellierungen; Sprenger et al., 2020). Damit rücken Simulationen als Werkzeug der Erkenntnisgewinnung in den Fokus der Betrachtung.¹

Werden Simulationen im Biologieunterricht als veränderbare, dynamische Modelle eingesetzt – und nicht nur als Medium zur Visualisierung von Phänomenen –, stehen epistemologische Aspekte zur Förderung von Kompetenzen im Bereich *Nature of Science* (NOS) mit Simulationen im Zentrum der Betrachtung (Seoane et al., 2022). Ein Lernen über die „Natur“ von Simulationen wird somit notwendig, wenn Personen befähigt werden sollen, die wissenschaftliche Qualität von Simulationen und die aus ihnen gewonnenen Erkennt-

¹Wird im Beitrag nachfolgend verkürzt nur von Simulation(en) geschrieben, sind in der Regel solche mit biologischem Kontext und/oder für den Biologieunterricht gemeint.

nisse einzuschätzen (Soeane et al., 2022; Petersen, 2012). Gleichzeitig wird damit eine wichtige Voraussetzung beschrieben, um an gesellschaftlichen Diskursen rund um Simulationen partizipieren zu können. Ein Beispiel ist die Nutzung von Simulationen zum Beginn der Corona-Pandemie im Jahr 2020 sowie die Notwendigkeit, deren Ergebnisse und die aus ihnen gezogenen Schlussfolgerungen kritisch zu reflektieren. Simulationen werden dann nicht nur genutzt, um mit ihnen ein naturwissenschaftliches Phänomen zu untersuchen (*Lernen mit Simulationen*), sondern zusätzlich auch, um den Erkenntnisprozess zu reflektieren (*Lernen über Simulationen*; Scheer, 2013). Gegenstand der naturwissenschaftlichen Bildung im Biologieunterricht sollen demnach auch die Charakteristika von Simulationen sein, die zur Reflexion der Charakteristika des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses und zur Förderung des Verständnisses dieses Prozesses beitragen.

In diesem Beitrag wird vor diesem Hintergrund die These aufgestellt, dass sich Simulationen zu biologischen Themen zur Reflexion von NOS eignen und als digitale Tools dabei spezifische Potenziale für eine Förderung des Verständnisses von NOS aufweisen. Im Zentrum des Beitrags steht dabei die Reflexion und Förderung des Umgangs mit Ungewissheit mit Simulationen. Ungewissheit wird dabei als ein inhärentes Merkmal des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses verstanden (Soeane et al., 2022) und als ein Zustand des Nicht-Genau-Wissens beschrieben (Kap.6). Ein kompetenter Umgang mit Ungewissheit ist ein Kernelement zukunftsfähiger naturwissenschaftlicher Bildung, die junge Menschen auf die Bewältigung komplexer Herausforderungen vorbereiten will (Tauritz, 2016). Bei der Arbeit mit Simulationen ist dabei ein kompetenter Umgang mit Ungewissheit notwendig, um über die Modellierung und inhaltliche Exploration hinaus Ungewissheiten in der Simulation sowie des dahinterliegenden Forschungsprozesses verstehen und Schlussfolgerungen entsprechend fundiert treffen zu können (Petersen, 2012; Soeane et al., 2022).

Simulationen

Simulationen stellen dynamische Formen von Modellen dar, mit denen Phänomene, Prozesse oder Systeme so nachgebildet werden, dass mit ihnen Erkenntnisse erlangt werden können, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind (Krüger & Upmeier zu Belzen, 2021). In einer Metaanalyse differenzieren D'Angelo et al. (2014) vier Arten von Simulationen für den naturwissenschaftlichen Unterricht: Neben virtuellen Laborsimulationen und virtuellen Simulationswelten, bei denen der spezifische virtuelle Ort des Geschehens die Simulation dominiert (z. B. eigenständiges Durchführen eines Gefahrstoffversuchs in einer virtuellen Laborumgebung), werden vor allem charakterbasierte Simulationen (d. h., Lernende steuern einen virtuellen Charakter in einer spielähnlichen Umgebung) und phänomenbasierte Simulationen unterschieden. Letztere zählen zu den häufigsten Simulationen in der naturwissenschaftlichen Bildung (Dierkes, 2015). Ein klassisches Beispiel aus dem Biologieunterricht für phänomenbasierte Simulationen sind Parametersimulationen zu Räuber-Beute-Populationsdynamiken, mit denen im schulischen Kontext populationsökologische Zusammen-

hänge wie die Lotka-Volterra-Regeln über Eingabemöglichkeiten (z. B. Schieberegler) modelliert werden. In der Regel findet dabei eine mediale Nutzung der Simulation statt, indem verschiedene Parameter verändert und deren Einfluss auf die Populationsdynamiken untersucht werden. Derartige Parametersimulationen gibt es in verschiedenen Visualisierungen, wobei die Anzahl der beteiligten Parameter und die Darstellung des Output-Formats (z. B. Wahrscheinlichkeiten, Häufigkeiten, biologiespezifische Repräsentationsformate wie Nachkommenschaften verschiedener Phänotypen) wechseln.

Innerhalb der phänomenbasierten Simulationen lassen sich von den Parametersimulationen Szenariensimulationen unterscheiden, in denen anhand eines vordefinierten Sets an Parametern zwei oder mehrere Szenarien miteinander verglichen werden. Ein Beispiel dafür ist die *Monash Simple Climate Model Simulation* (Sprenger et al., 2020). In diesem können basierend auf Klimadaten verschiedene Szenarien und ihre Auswirkungen auf die globale Klimaentwicklung modelliert und verglichen werden. Auf diese Weise kann beispielsweise untersucht werden, wie sich in Klimamodellen die globale Oberflächentemperatur bei verschiedenen Kohlenstoffdioxid-Konzentrationen der Atmosphäre entwickelt. Dafür werden Wechselwirkungen im Klimasystem anhand von nicht analytisch lösbaren Gleichungssystemen modelliert (Sprenger et al., 2020). Die Simulation ermöglicht damit, das Verhalten komplexer Systeme (Abb. 7.1) iterativ nachzubilden,

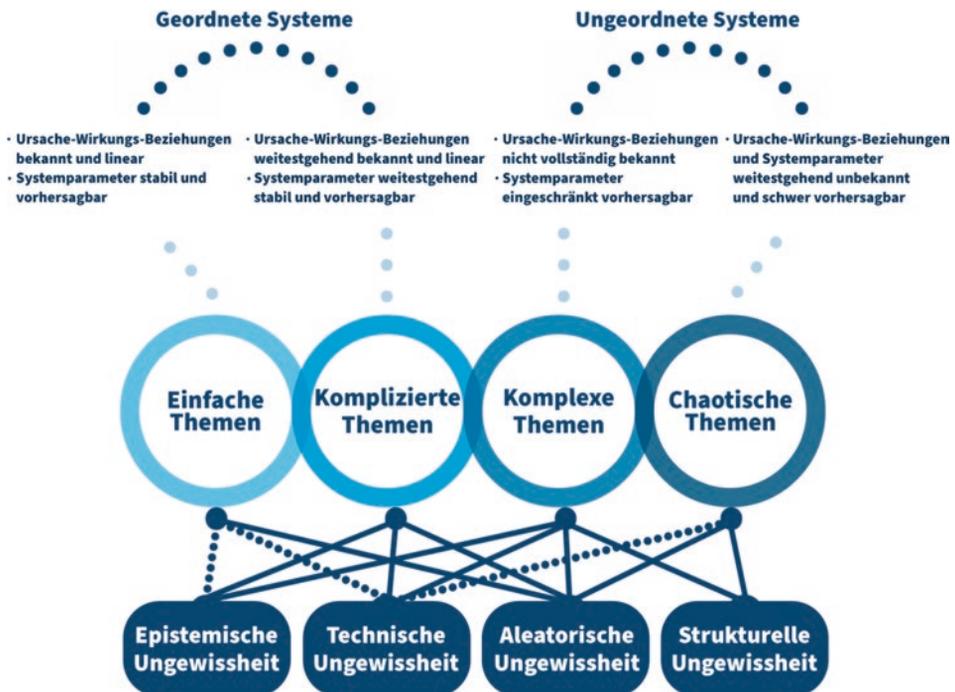


Abb. 7.1 Komplexität konzeptualisiert im Cynefin-Framework in Verbindung mit Typen von Ungewissheit (eigene Abbildung angelehnt an Zeyer, 2021 und Kurtz & Snowden, 2003). Durchgezogene Linie = hauptsächliche Zuordnung; gestrichelte Linie = nebenebenordnete Zuordnung

Hypothesen zu testen und Vorhersagen zu analysieren. Auf diese Art und Weise wird die Simulation als Werkzeug zur Erkenntnisgewinnung und nicht mehr nur zur medialen Nutzung eingesetzt (Krüger & Upmeyer zu Belzen, 2021).

Ungewissheit

Ungewissheit im Kontext der Naturwissenschaften kann als multidimensionales und polysemes Konstrukt verstanden werden (s. Kap. 6). Häufig wird dabei im Deutschen im naturwissenschaftlichen Kontext der international verwendete Begriff *uncertainty* mit den Termini *Ungewissheit* oder *Unsicherheit* übersetzt. Im vorliegenden Beitrag wird die Verwendung des Begriffs *Ungewissheit* befürwortet (s. Kap. 6). Damit soll sprachlich der Fokus darauf gelenkt werden, dass Ungewissheit im Kontext der Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsphilosophie vor allem auf fehlendes Noch-Nicht-Wissen bzw. Nicht-Genau-Wissen ohne unmittelbare Assoziationen zu Gefahr und Bedrohung verweist, welches im Kontext von NOS ein produktives Merkmal des Erkenntnisprozesses darstellt (vgl. Karpourakis & McCain, 2020; Latour, 1987).

Im Kontext von Simulationen sind verschiedene Typen von Ungewissheit besonders relevant (Tab. 7.1): Häufig wird epistemische Ungewissheit im Sinne eines überwindbaren Noch-Nicht-Wissen unterschieden von einer ontologischen Perspektive auf Ungewissheit im Sinne eines Nicht-Wissen-Könnens (*scientific uncertainty* nach Gustafson & Rice, 2020). Die ontologische Ungewissheit ist prinzipiell unüberwindbar (s. Kap. 6). Neben epistemischer Ungewissheit treten technische Ungewissheiten auf (Tab. 7.1), wenn der naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinn durch technische Apparaturen unterstützt wird. Ungewissheit hängt hier mit den Messinstrumenten, den messenden Personen oder den gemessenen Forschungsgegenständen zusammen (Gustafson & Rice, 2020). Weiterhin nehmen in vielen naturwissenschaftlichen Kontexten Zufallsprozesse eine zentrale Rolle ein (z. B. zufällige Mutationen der DNA). Im Kontext der Forschung zur Ungewissheit hat sich dabei der Begriff der aleatorischen Ungewissheit etabliert (Spiegelhalter, 2011). Für die Ungewissheit, die inhärentes Merkmal komplexer und chaotischer Systeme ist, wird auch die Bezeichnung der strukturellen Ungewissheit verwendet (Zeyer, 2021). Sie resultiert aus komplexen Beziehungen zwischen Variablen, die nicht linearen Dynamiken folgen, und tritt auf in ungeordneten Systemen, in denen Ursache-Wirkungs-Gefüge sowie relevante Systemparameter meist unbekannt und nicht determiniert sind (Fensham, 2012; Zeyer, 2021). Insgesamt kann konstatiert werden, dass bei der Betrachtung naturwissenschaftlicher Phänomene unterschiedliche Typen von Ungewissheit relevant sein können, wobei diese nicht exklusiv zu verstehen sind. So lässt sich ein Zufallseffekt als aleatorische Ungewissheit beschreiben, wobei zugleich auch eine strukturelle Ungewissheit in komplexen Systemen aufgegriffen werden kann.

Tab. 7.1 Übersicht verschiedener Typen von Ungewissheit mit Bezug zu biologischen Simulationen. (u. a. nach Gustafson & Rice, 2020; Kampourakis & McCain, 2020; Seoane et al., 2022; Zeyer, 2021)

Typen von Ungewissheit	Beschreibung der Ungewissheit
Epistemisch	Ungewissheit aufgrund eines Noch-Nicht-Wissens über ein Phänomen Es ist bekannt, dass etwas unbekannt ist. Epistemische Ungewissheit kann prinzipiell durch weitere Forschung oder neue Erkenntnisse überwunden werden.
Technisch	Ungewissheit aufgrund der Genauigkeit und Verlässlichkeit einer Messgröße, mit Messabweichungen bei der Datenerhebung oder -eingabe Technische Ungewissheit beschreibt auch Ungenauigkeiten des Messinstruments, die messende Person und – spezifisch für die Biologie – die Variabilität der Untersuchungsobjekte. Technische Ungewissheit kann nur in Teilen überwunden werden.
Aleatorisch	Ungewissheit aufgrund von Zufallsprozessen Es können keine Vorhersagen über Ereignisse getroffen werden, die vom Zufall beeinflusst sind. Aleatorische Ungewissheit entsteht in der Biologie z. B. durch zufällige Mutationen. Aleatorische Ungewissheit kann nicht reduziert werden.
Strukturell	Ungewissheit aufgrund Nicht-Wissen-Könnens Tritt auf in ungeordneten, chaotischen Systemen, die nicht linearen Dynamiken folgen und bei denen relevante Systemparameter unbekannt und nicht determinierbar sind, oder in komplexen Systemen, die durch eine Vielzahl an Parametern und deren Interaktionen sowie Emergenz gekennzeichnet sind. Strukturelle Ungewissheit führt zu einer Unvorhersagbarkeit eines Systems, die nicht überwunden werden kann.

Komplexität im Cynefin-Framework

Ein theoretischer Rahmen zur Beschreibung von Komplexität stellt das sogenannte Cynefin-Framework dar (Abb. 7.1; Zeyer, 2021). Dabei wird Komplexität zwischen einfachen, komplizierten, komplexen und chaotischen Themen differenziert, wobei die Übergänge zwischen den Kategorien nicht trennscharf sind. Die Begriffe „einfach“, „kompliziert“, „komplex“ und „chaotisch“ gehen zurück auf die Originalpublikation von Kurtz und Snowden (2003) und ihrer Adaptation von Fensham (2012) für die Naturwissenschaftsdidaktik. Die Ausgestaltung erfolgt entlang der Differenzierungsgrade „geordnete Systeme“ und „ungeordnete Systeme“ aus der Komplexitätswissenschaft, wonach in komplexen Systemen durch Selbstorganisation eine Ordnung aus der Interaktion verschiedener Entitäten emergiert (Kurtz & Snowden, 2003; Zeyer, 2021). Das Cynefin-Framework kann ebenfalls genutzt werden, um einen Zusammenhang zwischen Komplexität und Ungewissheit herzustellen, wie später ausführlich gezeigt wird.

Im vorliegenden Kapitel soll das Cynefin-Framework als eine Rahmung möglicher Themenfelder und Fragestellungen betrachtet werden, die im naturwissenschaftlichen Unterricht mit Simulationen untersucht werden können (Fensham, 2012).

7.2 Diskurs

In den Naturwissenschaften werden Simulationen als dynamische Modellierungen herangezogen, um neue Erkenntnisse zu gewinnen und diese zu kommunizieren (z. B. Sprenger et al., 2020). Bislang stand vor allem das Lernen von Biologie mit Simulationen und nicht ein Lernen über die Natur von Simulationen im Fokus des naturwissenschaftlichen Unterrichts (Dierkes, 2015). Werden Simulationen jedoch aus dieser Perspektive betrachtet, können sie ein Format zur Reflexion des Verständnisses von NOS sein (Greca et al., 2014; Seoane et al., 2022). Um diese These zu erläutern, sollen zwei Aspekte zusammengeführt werden: (1) Es gibt unterschiedliche Typen von Ungewissheit, die sich je nach betrachteter Komplexität des untersuchten Phänomens unterscheiden und unterschiedlich gut in Simulationen thematisiert werden können; (2) die Reflexion und Förderung des Umgangs mit Ungewissheit durch Simulationen kann vor dem Hintergrund von Überlegungen zur Förderung von Modellierkompetenz (Krüger & Upmeyer zu Belzen, 2021) diskutiert werden.

Ungewissheit und Komplexität

Abb. 7.1 stellt eine Zuordnung verschiedener Typen von Ungewissheit mit Bezug auf das Cynefin-Framework dar, womit ein Zusammenhang zwischen Komplexität und Ungewissheit dargestellt wird. Hauptergebnis dieser Zuordnung ist, dass verschiedene Grade von Komplexität mit unterschiedlichen Typen von Ungewissheit assoziiert werden können, aber nicht alle Typen von Ungewissheit in allen Themenfeldern des Cynefin-Frameworks in gleicher Weise relevant sind. Von den vier im Beitrag vorgestellten Typen von Ungewissheit lassen sich jedoch jedem Themenfeld des Cynefin-Frameworks mindestens drei Typen von Ungewissheit zuordnen. Dieser Hauptbefund soll nachfolgend tiefergehend beleuchtet werden. Für die Interpretation von Abb. 7.1 sollte ferner berücksichtigt werden, dass bei der Auseinandersetzung mit realen Themenfeldern und Fragestellungen häufig auch Mischformen der Typen von Ungewissheit berücksichtigt werden müssen. Beispielsweise stellte der frühe Zeitpunkt der Corona-Pandemie ein chaotisches Themenfeld dar, denn Folgeentwicklungen von SARS-CoV-2 (z. B. spezifische Eigenschaften der Varianten Delta oder Omikron, dafür notwendige Präventionsmaßnahmen, Einhaltung dieser durch die Bevölkerung) waren nicht vorhersehbar. Andererseits war aus anderen Kontexten der medizinischen Forschung zur Virenevolution bekannt, dass sich neue Subvarianten entwickeln und etablieren können. Für SARS-CoV-2 war aber noch nicht bekannt, welche dies sein würden und wie die verschiedenen Entitäten dieser frühen Phase zusammenwirken würden (d. h. *strukturelle* Ungewissheit, Tab. 7.1). Die Komplexität der frühen

Phase der Corona-Pandemie war auch stark durch aleatorische Ungewissheit geprägt, etwa wenn neue Mutationen im Spike-Protein von SARS-CoV-2 zufällig auftraten (mit Einfluss auf strukturelle Ungewissheit). Zudem bestanden technische Ungewissheiten, etwa bei der Genauigkeit, mit der ein Antigen-Schnelltest eine Infektion mit SARS-CoV-2 tatsächlich detektieren konnte. An diesem Beispiel wird zudem deutlich, dass sich Zuordnungen von Kontexten im Cynefin-Framework im Laufe der Zeit verändern können. So kann die Corona-Pandemie im Jahr 2022 bereits nicht mehr als chaotisch, sondern eher als komplex oder kompliziert charakterisiert werden. Der Komplexitätsgrad – und damit auch der Grad an Ungewissheit – kann sich somit im Laufe der Zeit u. a. durch die Überwindung zu Beginn bestehender (epistemischer) Ungewissheiten verändern.

Ein weiteres Ergebnis der Zuordnung von Themen im Cynefin-Framework zu Typen von Ungewissheit (Abb. 7.1) ist, dass einfache Themen in der Regel kaum mit epistemischer und nicht mit struktureller Ungewissheit besetzt sind, da hier – gemäß des Cynefin-Frameworks – Ursache-Wirkungs-Beziehungen sowie Systemparameter bekannt und meist (linear) vorhersagbar sind (vgl. gestrichelte Linien in Abb. 7.1). Entsprechend hat eine Aushandlung etwaiger epistemischer Ungewissheiten bereits stattgefunden, die dazu geführt hat, dass diese epistemischen Ungewissheiten im Sinne eines (Noch-)Nicht-Wissens durch Gewinnung neuer Erkenntnisse weitestgehend überwunden wurden. Per Definition sind im Komplexitätsgrad einfacher Themen auch keine strukturellen Ungewissheiten möglich, da es keine Aspekte gibt, die man nicht wissen könnte (sonst wäre es kein „einfaches Thema“ mehr). Diese Aussage sollte dabei vor dem Hintergrund eines Verständnisses der prinzipiellen Vorläufigkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse (*tentativeness*, Kampourakis & McCain, 2020) erfolgen. Dies umfasst das Wissen darüber, dass der naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess prinzipiell durch ein Nicht-Wissen-Können darüber geprägt ist, wie sich das Wissen weiterentwickeln wird (ontologische Perspektive auf Ungewissheit; Lübke & Heuckmann, in diesem Band).

Komplizierte und komplexe Themen können dagegen mit den meisten Typen von Ungewissheit assoziiert werden (Abb. 7.1). Dabei ist strukturelle Ungewissheit im Sinne eines Nicht-Wissen-Könnens vor allem im Bereich komplexer und chaotischer Themen zu erwarten (Fensham, 2012; Zeyer, 2021), weniger im Bereich komplizierter Themen. Ursächlich dafür ist, dass im Bereich komplizierter Themen zahlreiche Systemparameter und Ursache-Wirkungs-Ketten bereits bekannt sind. Technische Ungewissheiten betreffen komplizierte und komplexe Themen gleichermaßen, interpretiert man sie als ein (Noch-)Nicht-Genau-Messen. Für einfache Themen muss diese Aussage etwas eingeschränkt werden, weil die technische Ungewissheit aufgrund der fortgeschrittenen Erkenntnisse ggf. geringer ist. Aus physikalischer Perspektive sollte zudem berücksichtigt werden, dass auch im Bereich chaotischer Themen eine technische Ungewissheit besteht (z. B. Heisenberg'sche Unschärferelation), die jedoch prinzipiell nicht überwunden werden kann. Dabei zeigt sich eine Schnittmenge zwischen technischer Ungewissheit und struktureller Ungewissheit. Eine besondere Rolle nimmt in der Zusammenstellung von Abbildung 7.1 zudem die aleatorische Ungewissheit ein, da diese als einziger Typ von Ungewissheit allen vier Themenfeldern zugeordnet werden kann. Ursächlich ist, dass sich aleatorische Ungewissheit unabhängig davon zeigen kann, wie viel bereits bekannt oder (noch) unbekannt ist.

Ungewissheit und Modellieren

Für die Reflexion und Förderung von NOS bietet sich an, die Simulation als Modell zu verstehen und die Arbeit mit der Simulation mit der Arbeitsweise des Modellierens zu analogisieren. Dabei unterscheiden Krüger und Upmeier zu Belzen (2021) in ihrem Modell der Modellierkompetenz eine Herstellungsperspektive und eine Anwendungsperspektive des Modells, wobei jeweils ein wechselseitiger Abgleich zwischen Erfahrungswelt und Modellwelt erfolgt. Die Reflexion und Förderung des Umgangs mit Ungewissheit in Simulationen kann durch einen bewussten Wechsel von der Anwendungsperspektive (Berücksichtigung von Ungewissheit bei der Anwendung einer vorliegenden Simulation als Erkenntniswerkzeug) zur Herstellungsperspektive (Berücksichtigung von Ungewissheit bei der Herstellung der Simulation als Erkenntniswerkzeug; vgl. Krüger & Upmeier zu Belzen, 2021) erfolgen. Im ersten Fall erfolgt, ausgehend von einer bereits vorhandenen Simulation, aus der Anwendungsperspektive heraus ein Reflexionsprozess über Ungewissheit, indem man sich nachträglich Gedanken zur Entwicklung dieser vorhandenen Simulationen macht. Im zweiten Fall wird, ausgehend von der vorliegenden Simulation, eine Herstellungsperspektive eingenommen und die Simulation als dynamische (veränderbare) Modellierung begriffen. Die Herstellungsperspektive „zwingt“ dazu, Ungewissheiten in Modellen zu reflektieren und Strategien im Umgang mit Ungewissheit anzuwenden.

In der Forschungsliteratur zu Simulationen werden für beide Wege Teilkompetenzen beschrieben, mit deren Hilfe die Reflexion und Förderung von NOS in Bezug auf Ungewissheit mit Simulationen erfolgt: Ungewissheiten *identifizieren und erklären*, Quellen der Ungewissheiten *evaluieren*, zwischen verschiedenen Typen von Ungewissheit *differenzieren* sowie die Repräsentationsform von Ungewissheit in der Simulation *explizieren* (Greca et al., 2014; Petersen, 2012; Seoane et al., 2022). Die Reflexion des Umgangs mit Ungewissheit mit Simulationen kann durch einen bewussten Wechsel von der Anwendungsperspektive (Berücksichtigung von Ungewissheit bei der Anwendung der Simulation als Erkenntniswerkzeug) zur Herstellungsperspektive (Berücksichtigung von Ungewissheit bei der Herstellung der Simulation als Erkenntniswerkzeug; vgl. Krüger & Upmeier zu Belzen, 2021) erfolgen. In der Anwendungsperspektive kann dabei reflektiert werden, wie Ungewissheit bei der Anwendung der Simulation als Erkenntniswerkzeug berücksichtigt wird. In der Herstellungsperspektive kann reflektiert werden, wie Ungewissheit bei der Herstellung/Entwicklung der Simulation als Erkenntniswerkzeug einbezogen wird.

Damit Simulationen als Format zur Reflexion und Förderung von NOS bezogen auf Ungewissheit in Betracht gezogen werden können, ist es erforderlich, dass die simulierten Themen zumindest prinzipiell die Auseinandersetzung mit Ungewissheit ermöglichen. Im Sinne der Konzeptualisierung des Cynefin-Frameworks (Abb. 7.1) kann festgestellt werden, dass sich dann Simulationen nur zu bestimmten Themen für die Auseinandersetzung mit Ungewissheit eignen (z. B. strukturelle Ungewissheit nur bei komplexen und chaotischen Themen, Abb. 7.1). Beispielsweise werden technische Ungewissheiten in Simulationen häufig in Form von Konfidenzintervallen dargestellt. Sie können auf Ungenauigkeiten des Messinstruments, der messenden Person sowie in der Biologie auf die Variabilität des Unter-

suchungsobjekts zurückgeführt werden, die in die Simulation eingespeist werden. Findet dabei eine Berücksichtigung zufälliger Ereignisse statt, zum Beispiel wenn Ergebnisse zwischen Simulationsverläufen zufällig variieren, kann auch aleatorische Ungewissheit identifiziert und erklärt werden (Spiegelhalter, 2011). Für die Reflexion des Verständnisses von epistemischer und struktureller Ungewissheit muss jedoch davon ausgegangen werden, dass diese beiden Typen von Ungewissheit meist keine explizite Darstellungsform in einer Simulation finden. Eine Reflexion von epistemischer und struktureller Ungewissheit kann trotzdem erfolgen, indem ein Abgleich mit dem untersuchten Phänomen bzw. System im Herstellungsprozesses der Simulation erfolgt oder bei ihrer Anwendung Daten generiert und diese mit realen Daten verglichen werden (Krüger & Upmeier zu Belzen, 2021).

Eine noch zu klärende empirische Frage ist, inwiefern aus diesen Reflexionen auch valide Schlussfolgerungen über das NOS-Verständnis der Lernenden gezogen werden können. Zur eingangs formulierten These kann dann analog festgehalten werden, dass Simulationen, die sich komplizierten, komplexen oder chaotischen Themen widmen, auch prinzipiell als Format zur Reflexion von NOS bezogen auf den Umgang mit Ungewissheit herangezogen werden können.

Ein spezifisches Potenzial von Simulationen zur Reflexion und Förderung des Verständnisses von NOS bezogen auf den Umgang mit Ungewissheit ist es, dass Simulationen prinzipiell durch Variation der ihr zugrunde liegenden Programmierungen (Algorithmen) als Modelle verändert werden können (Krüger & Upmeier zu Belzen, 2021; Petersen, 2012). Exemplarisch soll dazu die Exploration und Aufnahme neuer Parameter in eine Simulation betrachtet werden. Auf diese Weise können etwa in komplizierten oder komplexen Themenfeldern neue Erkenntnisse gewonnen werden (Ross et al., 2013). Durch diese Form der simulationsbasierten Wissensgenese besitzen Simulationen das spezifische Potenzial, epistemische Ungewissheiten zu reduzieren (Seoane et al., 2022). Zudem ermöglichen es Simulationen durch die Approximation von zufallsbedingten Parametern (aleatorische Ungewissheit) und die dabei vorzunehmende gezielte Auswahl und Reduktion von geeigneten Parametern, komplexe Systeme sukzessive erfahrbar zu machen. Besondere Entfaltung findet dieses Potenzial, wenn Lernende eigene Simulationen gestalten (Chiel et al., 2010). Nehmen Lernende zunächst die Herstellungsperspektive (Krüger & Upmeier zu Belzen, 2021) ein und zielen darauf ab, mit Simulationen Erkenntnisse zu einem komplizierten, chaotischen oder komplexen Phänomen zu gewinnen, sind Entscheidungen im Umgang mit Ungewissheit zu treffen. Einerseits betreffen diese Entscheidungen, wie oben dargestellt, Ungewissheiten, die durch Kenntnisse von Strategien im Umgang mit Ungewissheit prinzipiell verringert werden können (z. B. Wissensgenese, Auswahl geeigneter Parameter, Reduktion von Parametern, Approximationen). In der Auseinandersetzung mit den eigenen Simulationen können Lernende aber auch den Umgang mit struktureller Ungewissheit in komplexen Systemen kennenlernen. Zur Förderung des Verständnisses von NOS trägt hier die Erfahrung bei, dass diese Form der Ungewissheit zwar nicht reduziert werden kann, aber es im Rahmen von Simulationen Strategien zum Umgang mit ihr gibt (Ross et al., 2013). Zu diesen zählt etwa der Rückgriff auf ähnliche Situationen (vgl. Beispiel zu Virenmutationen und

SARS-CoV-2) und die Exploration möglicher Parameter durch Approximation. Dabei können nach Möglichkeit auch verschiedene Szenarien generiert und miteinander verglichen werden (vgl. Szenariensimulation in Klimamodellierungen, Sprenger et al., 2020). Sicherlich muss dabei berücksichtigt werden, dass die beschriebenen Anforderungen an Lernende und Lehrende im Biologieunterricht als sehr hoch zu bewerten sind, u. a. weil die biologisch-inhaltliche Ebene mit der informatischen Ebene und speziellen Kenntnissen der Simulationsumgebung verbunden werden muss.

7.3 Fazit und Ausblick

Der Beitrag hat Simulationen als Werkzeug der Erkenntnisgewinnung dargestellt und eine Verbindung zur Förderung des NOS-Verständnisses bezogen auf den Umgang mit Ungewissheit eröffnet. Zentral ist dabei die Annahme, dass es unterschiedliche Typen von Ungewissheit gibt, die sich je nach Komplexität des betrachteten Themas unterschiedlich gut zur Reflexion und Förderung von NOS mit Simulationen eignen. Daran schließt sich das Desiderat an, das Verhältnis von Simulationen im wissenschaftlichen Kontext und im schulischen Kontext näher zu bestimmen (Seoane et al., 2022). Notwendig erscheint diese Auseinandersetzung zukünftig vor allem, weil Strategien zum Umgang mit Ungewissheit häufig spezialisierte Kenntnisse im Umgang mit Simulationssoftware erfordern, die über die im schulischen Kontext vermittelbaren Kenntnisse hinausgehen (Petersen, 2012; Ross et al., 2013). In Anlehnung an die etablierte Unterscheidung im NOS-Kontext zwischen *school science* und *professional science* (Voitle et al., 2022) sollte daher untersucht werden, inwiefern Unterschiede beim Kompetenzerwerb bezogen auf *Simulations in School Science* und *Simulation in Professional Science* bestehen.

Hinweis zur Förderung: Benedikt Heuckmann dankt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung des Projekts siMINT (Projekt-nummer 16MF1070A).

Literatur

- Chiel, H. J., McManus, J. M., & Shaw, K. M. (2010). From biology to mathematical models and back: Teaching modeling to biology students, and biology to math and engineering students. *CBE – Life Sciences Education*, 9(3), 248–265.
- D’Angelo, C., Rutstein, D., Harris, C., Bernard, R., Borokhovski, E., & Haertel, G. (2014). *Simulations for STEM learning: Systematic review and meta-analysis*. SRI International.
- Dierkes, P. (2015). Computergestütztes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 39(402/403), 4–14.
- Fensham, P. J. (2012). Preparing citizens for a complex World: The grand challenge of teaching socio-scientific issues in science education. In A. Zeyer & R. Kyburz-Graber (Hrsg.), *Science|Environment|Health* (S. 7–29). Springer.

- Greca, I. M., Seoane, E., & Arriasecq, I. (2014). Epistemological issues concerning computer simulations in science and their implications for science education. *Science & Education*, 23, 897–921. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9673-7>
- Gustafson, A., & Rice, R. E. (2020). A review of the effects of uncertainty in public science communication. *Public Understanding of Science*, 29(6), 614–633.
- Kampourakis, K., & McCain, K. (2020). *Uncertainty: How it makes science advance*. Oxford University Press.
- Krüger, D., & Upmeyer zu Belzen, A. (2021). Kompetenzmodell der Modellierkompetenz – Die Rolle abduktiven Schließens beim Modellieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27, 127–137.
- Kurtz, C. F., & Snowden, D. J. (2003). The new dynamics of strategy: Sense-making in a complex and complicated world. *IBM Systems Journal*, 42(3), 462–483.
- Latour, B. (1987). *Science in Action. How to follow scientists and engineers through society*. Harvard University Press.
- Petersen, A. C. (2012). *Simulating nature: A philosophical study of computer-simulation uncertainties and their role in climate science and policy advice* (2. Aufl.). CRC Press.
- Ross, T. J., Booker, J. M., & Montoya, A. C. (2013). New developments in uncertainty assessment and uncertainty management. *Expert Systems with Applications*, 40(3), 964–974. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.054>
- Scheer, D. (2013). *Computersimulationen in politischen Entscheidungsprozessen: Zur Politikrelevanz von Simulationwissen am Beispiel der CO₂-Speicherung*. Springer.
- Seoane, M. E., Greca, I. M., & Arriasecq, I. (2022). Epistemological aspects of computational simulations and their approach through educational simulations in high school. *Simulation*, 98(2), 87–102.
- Spiegelhalter, D. (2011). Quantifying uncertainty. In L. Skinns, M. Scott, & T. Cox (Hrsg.), *Risk* (S. 17–33). Cambridge University Press.
- Sprenger, S., Warnholz, B., Höttecke, D., Kremer, K. H., Menthe, J., & Dommenges, D. (2020). Wie das Klima erforscht wird. *MNU Journal*, 73(6), 491–501.
- Tauritz, R. L. (Hrsg.). (2016). A pedagogy for uncertain times. *Research and Innovation in Education for Sustainable Development. Exploring collaborative networks, critical characteristics and evaluation practices* (S. 90–105). Environment and school Initiatives – ENSI.
- Voitle, F., Heuckmann, B., Kampa, N., & Kremer, K. (2022). Assessing students' epistemic beliefs related to professional and school science. *International Journal of Science Education*, 44(6), 1000–1020. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2059821>
- Zeyer, A. (2021). Coping with structural uncertainty in complex living systems. In A. Zeyer & R. Kyburz-Graber (Hrsg.), *Science|Environment|Health – Towards a science pedagogy of complex living systems* (S. 11–29). Springer.

Prof. Dr. Benedikt Heuckmann studierte an der Universität Münster Lehramt für die Fächer Biologie, Geografie und didaktische Grundlagen der Mathematik. Nach dem Referendariat promovierte er dort im Jahr 2020 am Zentrum für Didaktik der Biologie. Anschließend war er als Post-Doc am Institut für Didaktik der Naturwissenschaften an der Universität Hannover tätig, bevor er Ende 2021 die Professur für Biologie und ihre Didaktik an der Universität Trier vertrat. Im Jahr 2022 wurde er zunächst zum Juniorprofessor, im Jahr 2023 zum Universitätsprofessor für Didaktik der Biologie an die Universität Münster berufen. Dort untersucht er Kompetenzen von Lernenden und Lehrenden im Umgang mit Unsicherheit, Komplexität und Risiko unter Berücksichtigung neuer Möglichkeiten durch digitale Tools, insbesondere Computersimulationen und 3D-Modellierungen.

Dr. Britta Lübke ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Didaktik der Biologie an der Universität Hamburg und koordiniert dort u. a. den fakultären Forschungsschwerpunkt „Ungewissheit als Dimension pädagogischen Handelns“. Im WiSe 2023/24 vertrat sie die Professur Didaktik der Biologie an der Universität Kassel. Ihre Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte liegen im Bereich der schulischen Fachkulturforschung und dort besonders auf dem Umgang mit Ungewissheit als einer Facette von Nature of Science. Weitere Projekte fokussieren das Lehren und Lernen an außerschulischen Lernorten sowie den Umgang mit Heterogenität im Fachunterricht.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Nature of Science im Kontext: Gestaltung von Lerngelegenheiten am Beispiel der Mystery-Methode

8

Kristina Fricke und Bianca Reinisch

Inhaltsverzeichnis

8.1 Einführung	86
8.2 Diskurs	91
Die „innere Logik“ von Lerngelegenheiten	91
Disziplinübergreifende und disziplinspezifische NOS-Inhalte	93
8.3 Fazit und Ausblick	95
Literatur	96

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden biologiedidaktische Forschung und Unterrichtspraxis verknüpft, indem der *Family Resemblance Approach* für *Nature of Science* (NOS) als theoretischer Rahmen präsentiert und am historischen Fallbeispiel der Primatologin Dian Fossey (1932–1985) kontextualisiert wird. Dies wird anhand der Mystery-Methode dargestellt, bei der Schüler*innen eine problematische Aussage auflösen, indem sie auf Kärtchen dargestellte Informationen in *Concept Maps* strukturieren. Anhand eines bereits vorliegenden Mysterys zur Erkenntnisgewinnung in der Sekundarstufe II werden in diesem Beitrag Möglichkeiten zur Kontextualisierung von NOS-Lerngelegenheiten diskutiert. Es zeigt sich, dass für ein effektives Lernen über NOS einerseits die „innere Logik“ entsprechender Lerngelegenheiten (z. B. deduktive Vorgehensweise) und

K. Fricke (✉)
Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland
E-Mail: k.fricke@fu-berlin.de

B. Reinisch
Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland
E-Mail: bianca.reinisch@uni-potsdam.de

andererseits disziplinübergreifende und -spezifische NOS-Inhalte auf unterschiedliche Weise berücksichtigt werden können. Damit knüpft der Beitrag an den Round Table „*Nature of Science in der Praxis*“ an, in dem darüber reflektiert wurde, inwiefern unterschiedliche Möglichkeiten der Kontextualisierung von NOS-Lerngelegenheiten zu einem effektiven Lehren und Lernen über NOS in der naturwissenschaftlichen Unterrichtspraxis beitragen können.

- **Abstract** In this contribution, biology education research and teaching practice are linked by introducing the Family Resemblance Approach to Nature of Science (NOS) as a theoretical framework and contextualizing it through the historical case of the primatologist Dian Fossey (1932–1985). For this purpose, we introduce the mystery method as a learning approach. In mysteries, students resolve a problematic statement by structuring information presented on cards into concept maps. Based on an existing mystery for the use in secondary schools, this paper discusses ways to consider the contextualization of NOS learning approaches. It is shown that for effective learning about NOS, two perspectives can be considered in different ways: first, the ‚inner logic‘ of corresponding learning approaches (e.g., deductive reasoning), and second, the integration of both NOS content which is relevant to all scientific disciplines, and NOS content which is specific to certain scientific disciplines. The contribution ties in with the Round Table „*Nature of Science in Practice*“, which reflected on different ways of contextualizing NOS learning approaches to enhance effective NOS learning in science class.

8.1 Einführung

In diesem Beitrag werden Möglichkeiten einer effektiven Förderung des *Nature of Science* (NOS)-Verständnisses für die Unterrichtspraxis auf Grundlage eines theoretischen NOS-Modells, dem *Family Resemblance Approach* (FRA), und anhand der Mystery-Methode diskutiert. In der Literatur wird deutlich, dass sich NOS-Lerngelegenheiten anhand unterschiedlicher zugrunde liegender theoretischer NOS-Konzeptualisierungen (z. B. *Consensus View*; Lederman & Lederman, 2014; *Family Resemblance Approach*, FRA; Erduran & Dagher, 2014), verschiedener fachwissenschaftlicher (biologischer) Kontexte sowie hinsichtlich vielfältiger Unterrichtsmethoden gestalten lassen (z. B. Höttecke, 2004; Scharmann et al., 2005).

In diesem Beitrag werden Möglichkeiten einer effektiven Förderung des NOS-Verständnisses für die Unterrichtspraxis auf Grundlage eines theoretischen NOS-Modells, dem FRA (vgl. unten), und anhand der Mystery-Methode diskutiert. Ein Mystery ist eine problemorientierte Lerngelegenheit, mittels derer Schüler*innen selbstständig eine problematische Aussage auflösen. Dies geschieht, indem sie auf Kärtchen dargestellte Infor-

mationen in individuellen *Concept Maps* strukturieren (Fridrich, 2015). Auf Grundlage von (kontextualisierten) Kärtchen können Schüler*innen Aussagen auf unterschiedlichen Wegen ableiten.

Studien zeigen, dass der Aufbau eines fachlich belastbaren NOS-Verständnisses bei Schüler*innen im naturwissenschaftlichen Unterricht effektiv gefördert wird, wenn entsprechende Lerngelegenheiten NOS-Inhalte kontextualisiert darstellen (Bell et al., 2016; Erduran et al., 2021; Kampourakis, 2016). Kontextualisierte NOS-Inhalte weisen inhaltliche Bezüge zur jeweiligen Fachdisziplin (z. B. Biologie) auf und zeigen somit die Bedeutung der adressierten NOS-Inhalte anhand konkreter Fallbeispiele auf. Dabei können NOS-Inhalte anhand einer graduellen Abstufung ihrer Kontextualisierung beschrieben werden. Bezogen auf den NOS-Inhalt „Beobachten als naturwissenschaftliche Arbeitsweise“ (Reinisch & Fricke, 2022) werden bei fehlender Kontextualisierung Eigenschaften und Bedingungen des Beobachtens (z. B. theorie- und kriteriengeleitetes Vorgehen; vgl. Krell & Krüger, 2022) ohne Bezug zu konkreten Fallbeispielen adressiert. Mit zunehmendem Grad einer Kontextualisierung wird der NOS-Inhalt in zunehmendem Maße anhand konkreter Forschungsfragen und -ergebnisse dargestellt, zum Beispiel durch tatsächliche Beobachtungsstudien der Biologie.

Für die Vermittlung von NOS-Inhalten liegen neben zu berücksichtigenden Merkmalen für die Unterrichtsgestaltung fachdidaktische NOS-Modelle als theoretische Grundlage vor, von denen der FRA exemplarisch im Fokus des Beitrags steht. Mit dem FRA (Abb. 8.1; Erduran & Dagher, 2014; Reinisch & Fricke, 2022) werden Eigenschaften und Bedingungen der Erkenntnisgewinnung in naturwissenschaftlichen Disziplinen in elf Kategorien beschrieben. Der FRA bietet dabei die Möglichkeit, die Eigenschaften und Bedingungen verschiedener naturwissenschaftlicher Disziplinen anhand unterschiedlicher disziplinbezogener Inhalte zu kontextualisieren. In diesem Sinne lassen sich die Inhalte von FRA-Kategorien für unterschiedliche naturwissenschaftliche Disziplinen ausschärfen (z. B. durch die Beschreibung unterschiedlicher Arbeitsweisen wie des Beobachtens oder des Experimentierens; Erduran & Dagher, 2014; Reinisch & Fricke, 2022). Für die Gestaltung von NOS-Lerngelegenheiten bietet der FRA das Potenzial, ausgehend von jeweils unterschiedlichen NOS-Inhalten naturwissenschaftlicher Fächer entsprechende Lerngelegenheiten zu entwickeln. Dabei können NOS-Lerngelegenheiten NOS-Inhalte beinhalten, die relevant für mehrere Disziplinen (d. h. disziplinübergreifend) sind, sowie NOS-Inhalte, die spezifisch für bestimmte Disziplinen sind. Mit dem FRA werden zwei Systeme der Naturwissenschaften beschrieben. Das kognitiv-epistemische System beschreibt die Prozesse und Strukturen der Erkenntnisgewinnung anhand von fünf Kategorien: kognitiv-epistemische Ziele und Werte (z. B. Objektivität), Arbeitsweisen (z. B. Beobachten), Denkweisen (z. B. deduktives Schlussfolgern), methodologische Regeln (z. B. Einsatz von Kontrollen) und Wissensformen (z. B. Theorien; Abb. 8.1: innerer Kreis; Reinisch & Fricke, 2022; vgl. Erduran & Dagher, 2014). Das sozial-institutionelle System beschreibt Eigenschaften und Bedingungen, welche sich auf sozialer und institutioneller Ebene ergeben und die kognitiv-epistemischen Prozesse und Strukturen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung von außen steuern bzw. beeinflussen.

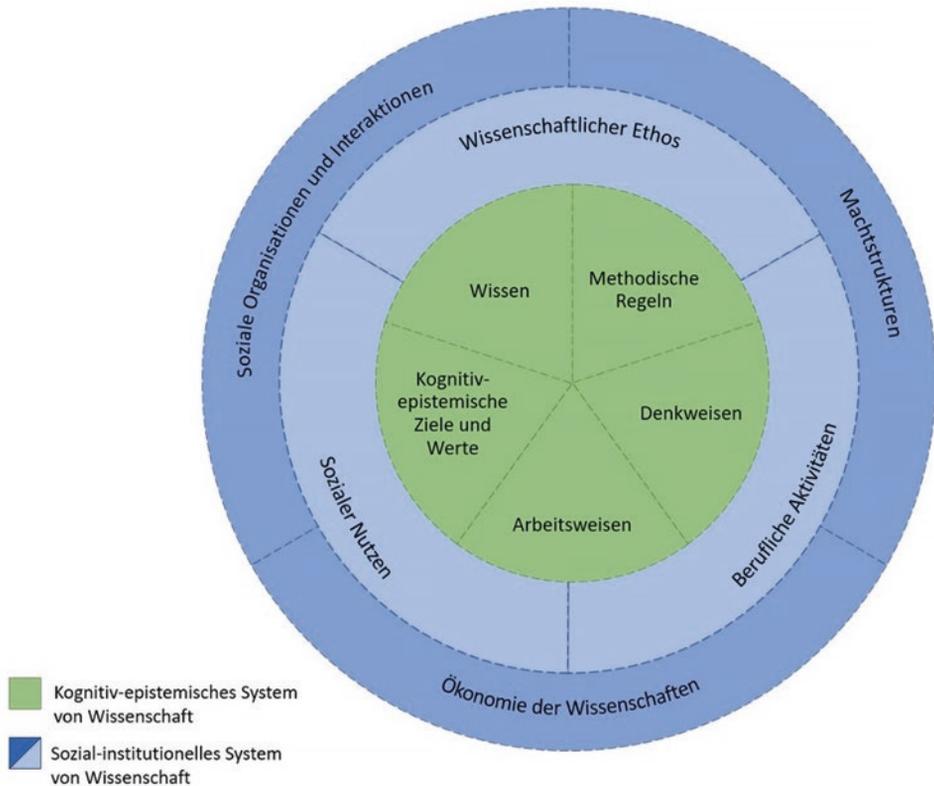


Abb. 8.1 Family Resemblance Approach für Nature of Science (erstellt nach Reinisch & Fricke, 2022; Erduran & Dagher, 2014)

Dafür werden sechs Kategorien beschrieben, beispielsweise Ökonomie der Wissenschaften (z. B. finanzielle Förderung) und Machtstrukturen (z. B. politische und gesellschaftliche Machtstrukturen; Abb. 8.1: die zwei äußeren Ringe; Reinisch & Fricke, 2022; vgl. Erduran & Dagher, 2014). Die Kategorien des sozial-institutionellen Systems beschreiben somit Faktoren, von denen die Prozesse des kognitiv-epistemischen Systems abhängen. Die FRA-Kategorien sind als „interaktiv mit porösen Grenzen“ (Erduran & Dagher, 2014, S. 28) zu verstehen, was ihren vernetzten Charakter und damit die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen NOS-Inhalten aufzeigt.

Erduran und Dagher (2014) argumentieren, dass FRA-Kategorien sowohl auf disziplinübergreifende als auch auf disziplinspezifische NOS-Inhalte angewendet werden können. In einer qualitativen Analyse von Biologieschulbüchern wurden FRA-Kategorien differenziert, die im Curriculum für das Unterrichtsfach Biologie enthalten und somit für die Vermittlung von NOS-Inhalten im Fach Biologie relevant sind (Reinisch & Fricke, 2022). Beispielsweise werden ein möglichst objektives Vorgehen in der wissenschaftlichen Praxis als ein kognitiv-epistemischer Wert in der Biologie und das Beobachten als eine biologische Arbeitsweise der Biologie beschrieben (Abb. 8.1; Reinisch & Fricke, 2022). Im

Beitrag werden exemplarisch für diese beiden NOS-Inhalte Möglichkeiten der Kontextualisierung beschrieben.

Der Nutzen des FRA zur theoretisch basierten Gestaltung von NOS-Lerngelegenheiten lässt sich beispielhaft am historischen Fall der Primatenforschung von Dian Fossey und ihrem Team (Fossey, 1970) in den 1970er-Jahren zeigen. Politische und gesellschaftliche Machtstrukturen, ökonomische Aspekte sowie soziale Interaktionen innerhalb des Wissenschaftsbetriebs hatten erheblichen Einfluss auf die Beobachtungen in der verhaltensbiologischen Forschung von Fossey. Die Wechselwirkungen von kognitiv-epistemischen und sozial-institutionellen NOS-Inhalten werden in diesem Beispiel dadurch deutlich, dass Auswirkungen von politischen und gesellschaftlichen Unruhen und Bürgerkriegen in afrikanischen Gebieten (z. B. im Rahmen der Kongo-Krise 1960–1965) Fossey dazu veranlassten, ihr ursprüngliches Forschungsgebiet Kongo zu verlassen und in Ruanda eine andere Gorillapopulation zu beobachten. Diese politischen und gesellschaftlichen Machtstrukturen bestimmten auch die Umweltbedingungen der Gorillas und prägten das Verhalten beider Populationsgruppen (Kongo, Ruanda). Folglich musste Fossey die Ergebnisse ihrer Forschung auch hinsichtlich dieser sozial-institutionellen Faktoren entsprechend dem Forschungsgebiet deuten. Ein anderer NOS-Inhalt betrifft die sozialen Interaktionen der Wissenschaftlerinnen Fossey und Jane Goodall: Erst der fachliche Austausch mit Goodall brachte Fossey dazu, einen für die Gorillas sichtbaren Beobachtungsposten einzunehmen und sich im Rahmen ihrer Beobachtungen ihnen immer weiter anzunähern und mit ihnen zu kommunizieren (Fossey, 1970). Diese Vorgehensweise steht im Widerspruch zu Definitionsversuchen des Beobachtens, wonach Forschende nicht in das System eingreifen sollten (vgl. Krell & Krüger, 2022). Dies muss beim Interpretieren der Verhaltensbeobachtungen durch Fossey berücksichtigt werden, indem etwa das Verhalten unterschiedlicher Gorillapopulationen auch in Abhängigkeit zur Durchführung der Beobachtungen gedeutet wird.

Eine Möglichkeit, NOS-Inhalte förderlich in den Unterricht zu integrieren und entsprechend das oben dargestellte Merkmal Kontextualisierung adäquat zu berücksichtigen, liefert der Einsatz der Mystery-Methode. Beim Einsatz dieser problemorientierten Methode zum Erschließen von NOS-Inhalten wird zunächst eine problematische oder zunächst paradox wirkende Aussage präsentiert, die die Schüler*innen im Verlauf selbstständig und sukzessiv auflösen (Fridrich, 2015). Für das Fallbeispiel von Fossey und ihrer Forschung an Gorillas lautet die problematische Aussage: „Was für ein Affenzirkus! Wissenschaft soll doch objektiv und unabhängig sein ...“ (Fricke & Reinisch, 2022, S. 130). Indem Schüler*innen mit dem normativen Anspruch an objektive und unabhängige Wissenschaft konfrontiert werden, eröffnet das Mystery „Dian Fossey und ihre Gorillas“ (Fricke & Reinisch, 2022) Möglichkeiten der Reflexion über NOS in der Sekundarstufe II. Beispielsweise lässt sich aus der problematischen Aussage ableiten, dass ein normativer Anspruch auf objektive und unabhängige Wissenschaft besteht, dieser aber aufgrund eines „Affenzirkus“ gegebenenfalls nicht umgesetzt werden kann. Der „Affenzirkus“ um Dian Fossey wird als historischer biologischer Kontext genutzt. Die problematische Aussage ist ein offener Impuls, der zum Nachdenken über die Bedingungen für objektive und unabhängige Forschungsprozesse anregt.

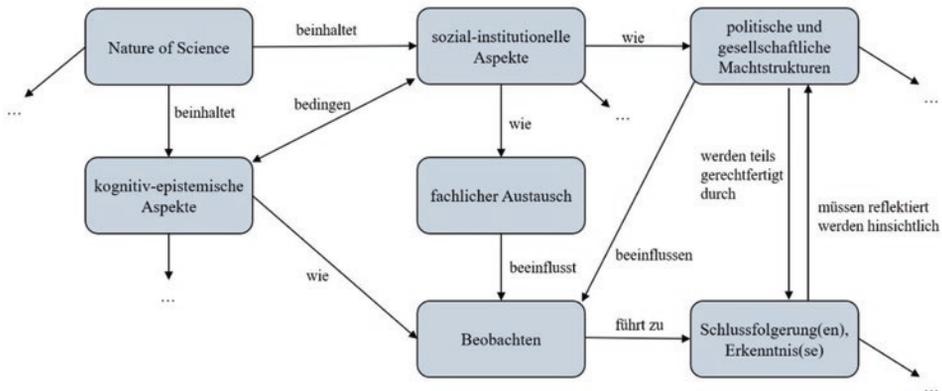


Abb. 8.2 Auszug aus einer exemplarischen *Concept Map* zum Thema NOS

Im Verlauf eines Mysterys werden auf Kärtchen dargestellte Informationen in individuellen *Concept Maps* strukturiert, indem die Kärtchen sinnvoll angeordnet und mit beschrifteten Pfeilen verbunden werden (Abb. 8.2). Mit der sukzessiven Entwicklung von *Concept Maps* werden individuelle Lösungswege in einer problemorientierten Lerngelegenheit von den Schüler*innen selbst erschlossen. Am Beispiel des „Affenzirkus“ erschließen sich die Schüler*innen anhand der Kärtchen, inwiefern biologische Forschung bzw. Naturwissenschaften generell in einem gegenseitigen Wechselspiel mit sozialen, politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Machtstrukturen stehen. Durch Auflösung der problematischen Aussage sollen die Schüler*innen schließlich erläutern, dass Forschende beim wissenschaftlichen Arbeiten Objektivität und Unabhängigkeit (als kognitiv-epistemische Werte in der Forschung) anstreben und Forschungsergebnisse hinsichtlich ihrer sozial-institutionellen Bedingungen und Wechselwirkungen interpretiert werden müssen. Eine exemplarische *Concept Map* als Musterlösung liegt für den „Affenzirkus“ vor.¹

Es zeigt sich, dass beim Einsatz von Mysterys im Unterricht die Kontextualisierung von NOS-Inhalten zur Förderung eines NOS-Verständnisses berücksichtigt werden kann. Dabei kann die Kontextualisierung – so wird im Folgenden postuliert – in der Unterrichtspraxis auf zwei Ebenen umgesetzt werden: einerseits auf der Ebene der „inneren Logik“ von Lerngelegenheiten (hier: der Mystery-Methode), auf der unterschiedliche Vorgehensweisen beim Schlussfolgern berücksichtigt werden, und andererseits hinsichtlich disziplinübergreifender und disziplinspezifischer NOS-Inhalte. Folgende These wird daher diskutiert: Für eine effektive Förderung eines NOS-Verständnisses sollten einerseits die „innere Logik“ der Lerngelegenheiten als auch disziplinübergreifende und -spezifische NOS-Inhalte berücksichtigt werden.

¹ Eine exemplarische *Concept Map* zum „Affenzirkus“ ist in Fricke und Reinisch (2022) enthalten und abrufbar unter: <https://www.cornelsen.de/codes/code/wotoqa>.

Am Beispiel des Mysterys „Dian Fossey und ihre Gorillas“ (Fricke & Reinisch, 2022) wird im Folgenden erläutert, welche konkreten Möglichkeiten sich für eine Berücksichtigung dieser zwei Ebenen einer Kontextualisierung von NOS-Inhalten ergeben.

8.2 Diskurs

Zwei Argumente stützen die genannte These: Das erste Argument bezieht sich auf die „innere Logik“ von Lerngelegenheiten, das zweite Argument auf die Berücksichtigung von disziplinübergreifenden und disziplinspezifischen NOS-Inhalten in Lerngelegenheiten.

Die „innere Logik“ von Lerngelegenheiten

Lerngelegenheiten weisen eine „innere Logik“ auf, nach der Schüler*innen ausgehend von einzelnen kontextualisierten Inhalten auf generelle abstrakte Inhalte, also zum Beispiel NOS-Inhalte, schließen können (induktives Vorgehen) und umgekehrt, also zum Beispiel auf Grundlage von abstrakten NOS-Inhalten auf konkrete potenzielle Forschungsszenarien schließen können (deduktives Vorgehen). Neben einer induktiven und einer deduktiven Vorgehensweise kann auch eine abduktive Vorgehensweise gewählt werden. Das abduktive Vorgehen umfasst das begründete Generieren von Erklärungen einer Beobachtung durch die Erschließung von kausalen Ursachen. Bei der Abduktion wird auf Grundlage von theoretischem Wissen mittels Retrodiktion (Ableiten von Aussagen über Ereignisse oder Zustände in der Vergangenheit) eine Beobachtung erklärt. Abduktives Schließen fragt nach möglichen Ursachen einer Beobachtung, mit der kausale Schlüsse gezogen werden können (ein Beispiel mit Bezug zu NOS-Inhalten ist unten dargestellt). Für die Gestaltung eines sinnstiftenden, problemorientierten Unterrichts sollte das abduktive Vorgehen berücksichtigt werden (abduktives Schließen; Brandl, 2012). Die drei Vorgehensweisen können bei der Lösung eines Mysterys und konkret beim *Concept Mapping* Anwendung finden, wenn etwa die Reihenfolge adressierter Kontexte berücksichtigt wird. Im Folgenden wird dies an verschiedenen Möglichkeiten zur Kontextualisierung verdeutlicht.

Hinsichtlich der fachlichen Kontextualisierungsmöglichkeiten von NOS-Inhalten in Lerngelegenheiten können inhaltliche Bezüge auf zwei Ebenen bestehen: abstrakt und damit ohne fachspezifischen Kontext, mit fachspezifischem historischem oder aktuellem Kontext. Diese beiden Ebenen lassen sich in einem Mystery mit Kärtchen wie folgt umsetzen: Begriffskarten enthalten allgemeingültige (abstrakte) Definitionen, Erzählkarten transportieren eine kontextualisierte (historische oder aktuelle) Geschichte (z. B. Fricke & Reinisch, 2022). Durch das selbstständige Erarbeiten der *Concept Maps* im Rahmen von Mysterys durch Schüler*innen ist prinzipiell nicht vorgegeben, in welcher Reihenfolge Begriffe zu Konzepten strukturiert werden. Das Mystery bietet mit der offenen Strukturierung von Konzepten in *Concept Maps* Möglichkeiten für induktives und deduktives

Schließen. Bei der induktiven Vorgehensweise schließen Schüler*innen vom besonderen Fall auf eine allgemeingültige Aussage (z. B. *Aus der Durchführung der Beobachtungen durch Dian Fossey kann auf wissenschaftliches Beobachten im Allgemeinen geschlossen werden.*). Bei der deduktiven Vorgehensweise schließen Schüler*innen vom Allgemeinen auf einen besonderen Fall (z. B. *Das wissenschaftliche Beobachten findet ohne Eingriffe in das zu untersuchende System statt, daher müsste auch Dian Fossey Gorillas beobachtet haben, ohne in ihr System einzugreifen*). Es kann sinnvoll sein, in einem Mystery ausgewählte Informationen gezielt nicht zur Verfügung zu stellen, um Raum für Interpretationen zu ermöglichen. Anhand der Informationen auf den Kärtchen können Schüler*innen selbst ableiten, dass die Art der Durchführung von Fosseys Beobachtungen nicht alle der für das wissenschaftliche Beobachten präsentierten Kriterien erfüllen. Daran kann ein Nachdenken über die Arbeitsweise des Beobachtens anknüpfen, was eine Aktivität zur Förderung von Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung darstellt. Krell und Krüger (2022) weisen darauf hin, dass zur Förderung von Erkenntnisgewinnungskompetenzen der Schwerpunkt einer Unterrichtsstunde in der Vermittlung von Bedingungen und Eigenschaften relevanter Arbeitsweisen und nicht von biologischem Fachinhalt liegt. Ein (explizites) Nachdenken über das Beobachten im Sinne der Förderung von Erkenntnisgewinnungskompetenzen würde bedeuten, dass nicht die Ergebnisse von Fosseys Beobachtungen (also das Verhalten von Gorillas), sondern Kriterien wissenschaftlichen Beobachtens mit Schüler*innen diskutiert werden (z. B. „Merkmalszusammenhänge (Korrelationen) [werden] ohne aktive Manipulation von Variablen untersucht“, „Beobachtung und Deutung sind voneinander getrennt“; Krell & Krüger, 2022, S. 379).

In der Literatur werden verschiedene Ansätze zur Kontextualisierung von NOS-Inhalten beschrieben und empirisch geprüft. Bell et al. (2016) untersuchten, inwiefern das NOS-Verständnis angehender Lehrkräfte als auch deren Bereitschaft, NOS-Lerngelegenheiten in der Unterrichtsplanung zu berücksichtigen, gefördert werden, wenn sie mit Lerngelegenheiten mit unterschiedlichen Graden an Kontextualisierung konfrontiert waren. Das NOS-Verständnis und die Bereitschaft wurden jeweils erfasst, bevor und nachdem die Teilnehmenden NOS-Aktivitäten mit unterschiedlichem Grad an Kontextualisierung durchgeführt haben. Die NOS-Lerngelegenheiten unterschieden sich in der graduellen Abstufung ihrer Kontextualisierung (ohne, gering, mittelmäßig, hochgradig). NOS-Lerngelegenheiten ohne Kontextualisierung beinhalteten zugängliche Analogien für das, was Naturwissenschaft charakterisiert, und enthielten wenig bis gar keine naturwissenschaftlichen Fachinhalte. In den hochgradig kontextualisierten Lerngelegenheiten hingegen lag der Schwerpunkt auf den enthaltenen naturwissenschaftlichen Fachinhalten oder auf Perspektiven der Geschichte der Naturwissenschaften. Die Ergebnisse zeigen, dass NOS-Lerngelegenheiten, die entlang unterschiedlicher Grade an Kontextualisierungen gestaltet werden, ein fachlich belastbares NOS-Verständnis fördern und daher in der Unterrichtsplanung berücksichtigt werden sollten. Hier sei anzumerken, dass in der Studie zunächst NOS-Lerngelegenheiten ohne Kontextualisierungen und im Verlauf der Intervention NOS-Lerngelegenheiten mit hochgradigen Kontextualisierungen eingesetzt wurden. Dies entspricht dem deduktiven Vorgehen; induktives und abduktives Vorgehen wurden in der Studie nicht berücksichtigt.

Beim problemorientierten Unterricht wird das induktive Vorgehen, mittels dessen Schüler*innen im Unterrichtsverlauf von einem konkreten Fall auf eine Allgemeingültigkeit schließen, gegenüber dem deduktiven Vorgehen oft vorgezogen (Brandl, 2012). Während Wissen deduktiv *geprüft* bzw. induktiv *abstrahiert* werden kann, argumentiert Brandl (2012) darüber hinaus für eine bewusste Berücksichtigung abduktiver Schlüsse in der Unterrichtsgestaltung. „Da es kein menschliches Denken und Lernen ohne Abduktion gäbe“ (Brandl, 2012, S. 42), sollte die Bedeutung abduktiven Schließens im Rahmen der Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Unterricht eine zentrale Position einnehmen (s. Kap. 9). Klassischerweise werden Prozesse der Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Unterricht anhand des hypothetisch-deduktiven Vorgehens dargestellt, nach dem die Deduktion gegenüber der Induktion dominiert, während die Abduktion reduziert ist. Eine bewusste Berücksichtigung der abduktiven Denkrichtung bei der Erschließung von NOS-Inhalten scheint jedoch lohnend, muss aber hinsichtlich möglicher Lerneffekte empirisch untersucht werden. Im Fossey-Mystery können Schüler*innen auf Grundlage der problematischen Aussage und den Karten die problematische Aussage auflösen. Beim *Concept Mapping* schließen sie abduktiv auf den Fall des „Affenzirkus“: Auf Grundlage von theoretischem Wissen (problematische Aussage: Wissenschaft soll objektiv und unabhängig sein) und Beobachtungen eines Falls (Begriffs- und Erzählkarten mit Kontext: Das Beobachten als wissenschaftliche Arbeitsweise und die Forschung Fosseys) können NOS-Inhalte begründet erklärt werden (z. B. „*Aus dem normativen Anspruch an objektive Wissenschaft und der Durchführung von Fosseys Forschung kann geschlossen werden, dass wissenschaftliche Forschung in einem Spannungsfeld zwischen Erkenntnisgewinnung und politischen und gesellschaftlichen Machteinflüssen abläuft*“).

Insgesamt bieten Mysterys viele Möglichkeiten zur bewussten Steuerung von kognitiven Denkprozessen bei der Erschließung von NOS-Inhalten. Durch die Vorgabe einzelner Begriffs- und Erzählkarten als Startpunkte der *Concept Maps* können Denkprozesse der Schüler*innen bewusst durch die Lehrkraft gesteuert werden. Mit Blick auf die besondere Bedeutung abduktiven Vorgehens bei der Auflösung der problematischen Mystery-Aussage zeigen sich mit dieser Methode verschiedene Ebenen der Kontextualisierung von NOS-Inhalten auf.

Disziplinübergreifende und disziplinspezifische NOS-Inhalte

Das zweite Argument zur Stützung der These bezieht sich auf die Bedeutung von NOS-Inhalten für unterschiedliche Fachdisziplinen. Mit dem FRA (Erduran & Dagher, 2014; Reinisch & Fricke, 2022) können Naturwissenschaften anhand ihrer Gemeinsamkeiten (d. h. disziplinübergreifender NOS-Inhalte) und Unterschiede (d. h. disziplinspezifischer NOS-Inhalte) beschrieben werden. Im Folgenden wird erläutert, inwiefern die Kontextualisierung von NOS-Inhalten unter Berücksichtigung disziplinübergreifender und disziplinspezifischer (z. B. biologiespezifischer) NOS-Inhalte erfolgen sollte.

Bezüglich der Bedeutsamkeit von NOS-Inhalten für verschiedene Fächer des naturwissenschaftlichen Unterrichts (z. B. Biologie und Physik) schlägt Kampourakis (2016) vor, zunächst disziplinübergreifende NOS-Inhalte einzuführen und diese dann entlang eines kontextuellen Kontinuums verschiedener Fachdisziplinen zu adressieren:

One could start from a conceptualization of general aspects of NOS, continue with instantiations of these in various disciplines, and conclude with the heterogeneity that characterizes science. The first part would explicitly address students' preconceptions about NOS, explain some general aspects of science which are not exclusive to it, contextualize them appropriately giving an authentic view of science, and finally highlight the specific characteristics of each discipline as well as the differences among them. (Kampourakis, 2016, S. 678)

In einem solchen Arrangement würden NOS-Inhalte, die allen naturwissenschaftlichen Disziplinen gemein sind, im Unterricht thematisiert werden, bevor anschließend etwa biologiespezifische NOS-Inhalte vermittelt werden. Somit könnten zur effektiven Förderung eines fachlich belastbaren NOS-Verständnisses unterschiedlich kontextualisierte Lerngelegenheiten, die auch förderlich für das NOS-Verständnis in anderen Fachdisziplinen (wie der Physik) sind, sinnstiftend in den Verlauf von Lerneinheiten eingebettet werden. Da oft die gleichen NOS-Inhalte (z. B. das Beobachten als Arbeitsweise) nicht nur isoliert für ein Fach, sondern mit teils unterschiedlichen Ausprägungen für mehrere naturwissenschaftliche Fächer relevant sind, ist anzunehmen, dass ein disziplinübergreifender Zugang zu diesen NOS-Inhalten im Unterricht lernförderlich ist. Wird ein Kontinuum der Kontextualisierung im Unterricht ausgehend von disziplinübergreifenden hin zu disziplinspezifischen NOS-Inhalten adressiert, ist anzunehmen, dass Schüler*innen fachrelevante Spezifika erschließen können. Erst mit dem Adressieren disziplinübergreifender NOS-Inhalte können Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede der Fachdisziplinen von Schüler*innen erschlossen werden. Durch eine Strukturierung der NOS-Inhalte entlang eines Kontinuums, so ist anzunehmen, werden Schüler*innen darin unterstützt, Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen naturwissenschaftlichen Disziplinen und damit fachspezifische (z. B. biologische) Ausprägungen zu erschließen.

In der Umsetzung eines solchen Vorgehens könnten biologiebezogene Mysterys wie „Dian Fossey und ihre Gorillas“ (Fricke & Reinisch, 2022) in eine Reihenplanung eingebettet werden. Zu Beginn könnten Arbeitsweisen wie das Beobachten thematisiert werden. Durch eine vergleichende Reflexion über Eigenschaften und Bedingungen der Erkenntnisgewinnung unterschiedlicher Fachdisziplinen wie der Biologie und der Physik können Besonderheiten einzelner Disziplinen kontrastierend dargestellt werden. Beispielsweise ist das Arbeiten mit und an Lebewesen in der Biologie besonders gegenüber der Arbeit mit (nicht lebendigen) Forschungsobjekten der Physik. Während Arbeitsweisen wie das Beobachten und Experimentieren zwar in beiden Fachdisziplinen relevant sind, ist die Berücksichtigung von Eigenschaften der jeweiligen Forschungsobjekte ebenfalls relevant für den Forschungsprozess (Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation). Im Fall von Fossey führte der fachliche Austausch mit Goodall zu einer Veränderung der Durchführung ihrer Beobachtungen. Diese entsprachen zwar nicht mehr vollständig den

prinzipiellen Kriterien wissenschaftlichen Beobachtens (vgl. Krell & Krüger, 2022), berücksichtigten aber die Eigenschaften der beobachteten Lebewesen, der Gorillas. Mit dem Mystery können disziplinübergreifende NOS-Inhalte (wie die Arbeitsweise des Beobachtens) anhand eines Fallbeispiels (wie der Durchführung von Beobachtungen durch Fossey) entsprechend den Besonderheiten einer Fachdisziplin (wie die der Verhaltensforschung in der Biologie) für diese Disziplin im Unterricht spezifiziert werden. Dies ebnet den Weg zu einer Reflexion über fachübergreifende (das Beobachten als wissenschaftliche Erkenntnismethode) und fachspezifische NOS-Inhalte (wissenschaftliches Beobachten in der Verhaltensbiologie; Reinisch & Fricke, 2022). Insofern kann ein Lernweg (Kampourakis, 2016) strukturierte und bewusst angeordnete Lerngelegenheiten beinhalten, die in ihrer Gesamtheit ein Kontinuum beginnend von disziplinübergreifenden hin zu disziplinspezifischen NOS-Inhalten abbildet.

In Rückbezug auf die These lässt sich zusammenfassen, dass die Kontextualisierung von NOS-Inhalten auf verschiedenen Ebenen erfolgen sollte: einerseits in der Berücksichtigung der Richtung kognitiver Denkprozesse beim Schlussfolgern (induktives, deduktives und abduktives Vorgehen) und andererseits in der Berücksichtigung eines Kontinuums von disziplinübergreifenden und disziplinspezifischen (z. B. biologiespezifischen) NOS-Inhalten. Mit der steuerbaren Organisation von unterschiedlich kontextualisierten NOS-Inhalten auf Begriffs- und Erzählkarten trägt die Mystery-Methode Potenziale zur Berücksichtigung beider Ebenen.

8.3 Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde anhand der Mystery-Methode sowie des spezifischen Mysterys „Dian Fossey und ihre Gorillas“ (Fricke & Reinisch, 2022) die Bedeutung des Merkmals Kontextualisierung von NOS-Inhalten für eine effektive Förderung eines NOS-Verständnisses diskutiert. Mit der Erarbeitung von *Concept Maps* im Rahmen von NOS-Mysterys können unterschiedliche Ebenen der Kontextualisierung berücksichtigt werden.

Das didaktische Potenzial von NOS-Mysterys liegt in dieser kontextualisierten Thematisierung von kognitiv-epistemischen Aspekten naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse (z. B. der Arbeitsweise Beobachten) und sozial-institutionellen Aspekten (z. B. gesellschaftlichen und politischen Machtstrukturen; Fricke & Reinisch, 2022). NOS-Mysterys bieten im Biologieunterricht Möglichkeiten, explizit darüber zu diskutieren, dass das Wissen über empirisch untersuchbare Phänomene im Kontext seiner Entstehungsgeschichte betrachtet werden muss (Höttecke, 2004).

Mit Blick auf die Unterrichtspraxis ergibt sich aus der Berücksichtigung der Kontextualisierung die Frage, inwieweit im Unterricht darauf geachtet werden sollte, explizit unterschiedliche Denkrichtungen auch unter Berücksichtigung der Suche nach Erklärungen zu fördern. Mit der Erarbeitung einer *Concept Map* wird eine Visualisierung unterschiedlicher Denkweisen beim logischen Schließen ermöglicht, die auch für eine ex-

plizite Reflexion des Lernprozesses genutzt werden kann. Für Sicherungsphasen könnte es gewinnbringend sein, mit Schüler*innen über unterschiedliche Denkrichtungen am entsprechenden kontextualisierten Fall zu reflektieren. Dies könnte auch im Sinne einer vernetzten Darstellung von NOS-Inhalten förderlich sein. Es gilt, empirisch zu prüfen, inwieweit insbesondere abduktives Schlussfolgern für ein effektives Lernen über NOS zu berücksichtigen wäre.

Im Sinne einer Kompetenzentwicklung in den Bereichen nachhaltiger Entwicklung und Lernen in globalen Zusammenhängen stellt sich die Frage, wie ein problemorientierter Unterricht Schüler*innen darin fördern kann, Herausforderungen des globalen Wandels im 21. Jahrhunderts zu begegnen (Höttecke, 2004). Es hat sich gezeigt, dass kontextualisierte NOS-Lerngelegenheiten entsprechende Möglichkeiten auf Ebene der Unterrichtsplanung bieten. Weiter ist zu diskutieren, welche Möglichkeiten sich zur Kontextualisierung von NOS-Inhalten hinsichtlich gegenwärtiger und zukünftiger disziplinübergreifender Problemstellungen ergeben. Dabei seien insbesondere mit Blick auf Interaktionen zwischen wissenschaftlichen Fachdisziplinen auch die jeweiligen Beiträge einzelner Disziplinen zu berücksichtigen.

Hinweis zur Förderung: Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Projekts Bio-NOS (Projektnummer 423393239). Die in diesem Beitrag geäußerten Ansichten, Erkenntnisse, Schlussfolgerungen oder Empfehlungen sind die der Autorinnen und spiegeln nicht unbedingt die Ansichten der DFG wider.

Literatur

- Bell, R. L., Mulvey, B. K., & Maeng, J. L. (2016). Outcomes of nature of science instruction along a context continuum. *International Journal of Science Education*, 38(3), 493–520.
- Brandl, W. (2012). Begriffe – Konzepte – Argumente. *Haushalt in Bildung & Forschung*, 1(3), 31–51.
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education*. Springer.
- Erduran, S., Ioannidou, O., & Baird, J.-A. (2021). The impact of epistemic framing of teaching videos and summative assessments on students' learning of scientific methods. *International Journal of Science Education*, 43(18), 2885–2910.
- Fossey, D. (1970). Making friends with Mountain Gorillas. *National Geographic Magazine*, 137(1), 574–585.
- Fricke, K., & Reinisch, B. (2022). Dian Fossey und ihre Gorillas. In L. Großmann, S. H. Nessler, & D. Krüger (Hrsg.), *Biosphäre Mysterys* (S. 130–136). Cornelsen.
- Fridrich, C. (2015). Kompetenzorientiertes Lernen mit Mysterys. *GW-Unterricht*, 140(4), 50–62.
- Höttecke, D. (2004). Wissenschaftsgeschichte im naturwissenschaftlichen Unterricht. In C. Höhle, D. Höttecke, & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaften*. Schneider.
- Kampourakis, K. (2016). The “general aspects” conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 667–682.
- Krell, M., & Krüger, D. (2022). Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht. *MNU-Journal*, 5, 376–382.

- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2014). Research on teaching and learning of nature of science. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 600–620). Routledge.
- Reinisch, B., & Fricke, K. (2022). Broadening a nature of science conceptualization. *Science Education*, 106, 1375–1407.
- Scharmann, L. C., Smith, M. U., James, M. C., & Jensen, M. (2005). Explicit reflective nature of science instruction. *Journal of Science Teacher Education*, 16(1), 27–41.

Kristina Fricke hat Biologie und Deutsch für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und Gymnasien an der Freien Universität Berlin studiert. Sie ist seit 2020 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Biologie der Freien Universität Berlin in der Didaktik der Biologie. Ihre Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen *Nature of Science* und Erkenntnisgewinnung in verschiedenen biologischen Kontexten.

Prof. Dr. Bianca Reinisch studierte Biologie und Deutsch für das Lehramt an der Freien Universität Berlin. Von Oktober 2013 bis September 2023 arbeitete sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Didaktik der Biologie an der Freien Universität Berlin. 2018 schloss sie dort ihre Promotion ab. Im Schuljahr 2022/2023 arbeitete sie nebenberuflich als Lehrkraft für das Fach Biologie am Droste-Hülshoff-Gymnasium in Berlin. Seit Oktober 2023 ist sie Juniorprofessorin für die Didaktik der Biologie an der Universität Potsdam. Ihre Forschungsschwerpunkte beziehen sich auf die Erfassung von Vorstellungen über das Berufsbild „Naturwissenschaftler*in“ bei Schüler*innen und angehenden Lehrkräften, Schulbuchforschung und Konzepte über *Nature of Science* mit Blick auf die Biologie.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Erkenntnisgewinnung (v)erklärt

9

Wie plant man hypothesengeleiteten Biologieunterricht?

Leroy Großmann und Dirk Krüger

Inhaltsverzeichnis

9.1 Einführung	100
9.2 Diskurs	102
Eine Hypothese ist eine Hypothese ist keine Erklärung	102
Erkenntnisse gewinnen über Erkenntnisgewinnung	104
9.3 Fazit und Ausblick	108
Literatur	109

Zusammenfassung

Die Hypothese bildet einen zentralen Bestandteil im Rahmen naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse. Ihr kommt als kognitiv-epistemischer Aspekt eines elaborierten *Nature of Science*-Verständnisses eine große Bedeutung zu. Der Begriff ist jedoch doppeldeutig: So wird der Begriff *Hypothese* einerseits sachangemessen für deduktiv aus einer soliden Wissensbasis abgeleitete, begründete und empirisch prüfbare Voraussetzungen eines Untersuchungsergebnisses genutzt. Wir schlagen vor, den andererseits in der Schule verwendeten Begriff *Hypothese* für vorläufige, häufig vage Ideen, mit denen man sich ein noch unbekanntes Phänomen zu erklären versucht, durch *Erklärungs-*

L. Großmann (✉)
Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland
E-Mail: leroy.grossmann@fu-berlin.de

D. Krüger
Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland
E-Mail: dirk.krueger@fu-berlin.de

versuch zu ersetzen. Die Nutzung des *Hypothesen*-Begriffs, einerseits mit dem Schwerpunkt im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung über Hypothesen zu reflektieren und andererseits mit Sachkompetenz eine fachangemessene Erklärung zu finden, wird in diesem Beitrag anhand einer exemplarischen Analyse zweier Staatsexamententwürfe im Fach Biologie illustriert. Abschließend werden Perspektiven für die empirische fachdidaktische Forschung aufgezeigt.

- **Abstract** The hypothesis is a central component of scientific inquiry. It is of great importance as a cognitive-epistemic aspect of a sophisticated understanding of nature of science. However, the term is ambiguous: On the one hand, the term *hypothesis* is appropriately used for empirically testable predictions that are deductively derived from a solid knowledge base. On the other hand, the term is used in school for initial, often vague ideas with which one attempts to explain a new phenomenon. In the latter case, we propose to replace the term *hypothesis* by *explanation attempt*. In this paper, we illustrate the use of *hypothesis* by an exemplary analysis of two lesson plans written by trainee biology teachers. Finally, perspectives for empirical educational research are pointed out.

9.1 Einführung

Möchte man im alltäglichen Sprachgebrauch ausdrücken, dass man annimmt, dass etwas so oder so sein könnte, wird dies oft als *hypothetisch* attribuiert (Kattmann, 2015). Gemeint ist damit in der Regel eine vage Annahme darüber, wie ein Phänomen zu erklären sei. Eine solche „Hypothese“ könnte zutreffen, sie kann ebenso falsch sein. Im Gegensatz zur Alltagssprache versteht die Wissenschaft unter dem Begriff *Hypothese* (gr. *hypóthesis*, d. h. Unterstellung) eine begründete Vermutung über Unterschiede, Zusammenhänge oder Veränderungen über die Zeit zwischen mindestens zwei Sachverhalten oder Variablen, die gerichtet oder ungerichtet aus Theorien abgeleitet werden (Döring & Bortz, 2016).

Innerhalb der Didaktik der Biologie wird folgendermaßen definiert: Hypothesen sind „*empirisch überprüfbar, grundsätzlich widerlegbar, eindeutig und widerspruchsfrei [und] werden stets durch Vorwissen bzw. theoretische Konstrukte (z. B. Theorien, Regeln, Modelle) begründet*“ (Krell & Krüger, 2022). Die Polysemie des Begriffs stellt Schüler*innen und Lehrende vor eine Herausforderung, schließlich zielt der Begriff *Hypothese* im Sinne der *Erkenntnisgewinnungskompetenz* (KMK, 2020) darauf ab, theoriegeleitet Hypothesen aufstellen zu können, diese empirisch zu testen und damit zu widerlegen oder zu stützen. Damit Schüler*innen diese Kompetenz entwickeln können, sollen Lehrende über das für die Vermittlung notwendige fachliche und fachdidaktische Professionswissen verfügen, um entsprechende wissenschaftspropädeutische Aspekte in ihrem Unterricht sachgerecht behandeln zu können. Das allerdings fällt sowohl angehenden (Gyllenpalm & Wickman, 2011) als auch erfahrenen Lehrkräften (Capps & Crawford, 2013) oft schwer. Wenn Schüler*innen einen re-

flektierten Umgang mit Hypothesen im naturwissenschaftlichen Sinne erlernen sollen (KMK, 2020), wäre es wichtig, dass Biologielehrkräfte und ihre Auszubildenden in der ersten und zweiten Phase selbst über ein elaboriertes Begriffsverständnis verfügen und den wissenschaftlichen *Hypothesen*-Begriff nicht mit dem unscharfen Alltagsbegriff vermischen. Allerdings findet sich die Gleichsetzung des *Hypothesen*-Begriffs mit der alltagssprachlichen Bedeutung sowohl in naturwissenschaftsdidaktischer Literatur (z. B. Gyllenpalm & Wickman, 2011) als auch in Staatsexamensentwürfen von Biologie-Referendar*innen. Für die Planung guten Biologieunterrichts im Sinne der Förderung von Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung erscheint es daher notwendig, das begriffliche Instrumentarium im Umgang mit Hypothesen auszuschärfen. Wir schlagen vor, den Begriff *Hypothese* nur für begründete, empirisch prüfbare Voraussagen zu nutzen, die aus einer theoretischen Basis heraus deduziert wurden. Wenn jedoch in einem problemorientierten Einstieg Ideen gesammelt werden, wie ein neues Phänomen zu erklären sei, sollten diese Ideen nicht *Hypothesen*, sondern *Erklärungsversuche* genannt werden. Die folgenden zwei Thesen werden im vorliegenden Beitrag diskutiert:

1. Der Begriff *Hypothese* wird im Biologieunterricht häufig missverständlich verwendet, denn statt als epistemisches Konzept im Sinne einer Voraussage eines Untersuchungsergebnisses (Krell & Krüger, 2022) wird er oft alltagssprachlich im Sinne eines vagen Erklärungsversuchs im Stundeneinstieg verwendet. Die Begriffe *Hypothese* (als begründete Voraussage aus Theorien deduziert) und *Erklärung* (aus Vorwissen abduziert) sollten voneinander unterschieden werden.
2. Es sollen explizit prozedurale und epistemische Aspekte der Begriffe *Hypothese* und *Erklärung* reflektiert werden, um Kompetenzen im Bereich *Erkenntnisgewinnung* zu fördern (*learning about science*, Hodson, 2014).

Im Round Table zu „*Nature of Science* in der Praxis“ wurde kritisch darüber reflektiert, welche Gestaltungsmerkmale ein Unterricht zur Förderung eines Verständnisses über *Nature of Science* (NOS) aufweisen muss und welche Konsequenzen die Berücksichtigung dieser Merkmale für die Gestaltung von Biologieunterricht hat. Der vorliegende Beitrag ist demnach innerhalb des *Family Resemblance Approach* als einer Konzeptualisierung von NOS (Erduran & Dagher, 2014) dem *scientific knowledge* (Reinisch & Fricke, 2022) zuzuordnen.

Zunächst werden die Bedeutungen der Begriffe *Hypothese* und *Erklärung* einander gegenübergestellt. Darauf aufbauend werden exemplarisch zwei geplante Biologiestunden skizziert, die im Rahmen einer Analyse von Staatsexamensentwürfen (Großmann & Krüger, 2022) untersucht wurden. Hierin werden einerseits die Herausforderungen deutlich, die angehende Biologielehrkräfte noch am Ende ihrer Ausbildung in Bezug auf den Umgang mit dem Begriff *Hypothese* haben. Andererseits wird kontrastiert, wie im Sinne von NOS mit Erklärungen bzw. Hypothesen im naturwissenschaftlichen Unterricht gearbeitet werden kann und warum Wissen über diesen kognitiv-epistemischen Aspekt von NOS (Reinisch & Fricke, 2022) für den Biologieunterricht relevant ist.

9.2 Diskurs

Eine Hypothese ist eine Hypothese ist keine Erklärung

Die Hypothese bildet insofern ein zentrales Konzept innerhalb des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung (z. B. KMK, 2020), als sie als Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Forschungsprozesse eine vorläufige Antwort auf eine Forschungsfrage darstellt, die es durch eine Untersuchung zu überprüfen gilt (Krell & Krüger, 2022; Lübeck, 2020). Hypothesen sollten logisch aus Theorie hergeleitet werden und präzise sowie begründet einen Zusammenhang zwischen Variablen beschreiben, der empirisch getestet werden kann (Döring & Bortz, 2016).

Mit einer Hypothese wird also begründet vorausgesagt, welches Ergebnis bei einer naturwissenschaftlichen Untersuchung (z. B. einem Experiment) erwartet wird. Damit kommt ihr im Rahmen des in den naturwissenschaftlichen Fächern weit verbreiteten hypothetisch-deduktiven Erkenntniswegs eine zentrale Rolle zu.

Diese vermeintliche Klarheit muss mit Blick auf den Diskurs in den Naturwissenschaften jedoch infrage gestellt werden: Keineswegs wird der Begriff *Hypothese* einheitlich im Sinne einer deduktiven, begründeten und in die Zukunft gerichteten Voraussage verstanden. Da die Annahme, dass Erklärungen und Voraussagen logisch betrachtet strukturgleich sind, nicht haltbar ist (Kormmesser & Büttemeyer, 2020, S. 139), wirkt die Verbindung von Erklärung und Voraussage unter dem *Hypothesen*-Begriff überdenkenswert. McComas (2020) zeigt auf, dass dem *Hypothesen*-Begriff keineswegs ein einheitliches Verständnis zugrunde liegt und der Begriff gleichermaßen für *predictions* (d. h. deduktive Voraussagen) sowie in den Wendungen *generalizing hypotheses* (d. h. Erklärungen, die zu naturwissenschaftlichen Gesetzen werden können) und *explanatory hypotheses* (d. h. Erklärungen, die zu Theorien werden können) genutzt wird. Für den Begriff *Hypothese* liegen somit mindestens drei verschiedene Definitionen vor: „*For that reason, the term ‚hypothesis‘ probably should be abandoned and replaced or at least used with caution*“ (McComas, 2020, S. 45).

Diesem Plädoyer schließen wir uns an. Wir schlagen vor, den Begriff *Hypothese* nur dann zu verwenden, wenn Voraussagen (*predictions*) über Zusammenhänge, Unterschiede oder Veränderungen messbarer Variablen deduktiv aus theoretischen, gut begründeten Aussagegefügen abgeleitet werden und ein zeitlich in der Zukunft liegendes Ergebnis vorausgesagt wird. Für Ideen, mit denen man versucht, sich ein Phänomen ad hoc zu erklären, schlagen wir vor, von *Erklärungsversuchen* zu sprechen. Diese Versuche können in Bezug auf theoretische Grundlagen oder durch Analogiebildung gefunden oder beim Fehlen von entsprechenden Erfahrungen kreativ erfunden werden (Schurz, 2008). Was diese Erklärungsversuche im Vergleich zu den in die Zukunft weisenden Hypothesen unterscheidet, ist, dass Erklärungen potenzielle Ursachen für das Zustandekommen eines Phänomens liefern, die vor dem bereits existierenden Phänomen liegen und zeitlich in die Vergangenheit reichen. Eine solche Schlussweise nennt man *Abduktion* (s. Kap. 4). Mit dem Begriff *Erklärungsversuch* soll deutlich werden, dass die gesammelten Erklärungen potenzielle Ursachen benennen, deren empirische Bestätigung, dann auf dem Wege der Hypothesenprüfung, noch aussteht.

Wie im Folgenden zu zeigen sein wird, werden die verschiedenen Lesarten des *Hypothesen*-Begriffs in der Unterrichtspraxis nicht unterschieden. Lehrkräfte nutzen ihn eher im Sinne eines didaktischen Lehr-Lern-Arrangements in Form problemorientierten Unterrichts und weniger im Sinne einer naturwissenschaftlichen Denkweise (Gyllenpalm & Wickman, 2011). So zeigen Capps und Crawford (2013) beispielsweise, dass selbst erfahrene Lehrkräfte in der Überzeugung unterrichten, Erkenntnisgewinnungskompetenzen zu fördern, ohne dies jedoch eigentlich zu tun. Zwar wird oft praktisch gearbeitet, allerdings wird in den untersuchten Stunden von 26 *Science*-Lehrkräften weder explizit noch implizit ein Verständnis über den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozess vermittelt. Auch eine Differenzierung zwischen *Hypothesen* und *Erklärungsversuchen* spielt dabei keine Rolle.

Krüger und Upmeyer zu Belzen (2021) zeigen am Beispiel des Modellierens die Bedeutung des abduktiven Schließens, also des Entwickelns von Erklärungen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess. Auf der Basis der entwickelten Ideen zur Erklärung eines Phänomens wird demnach ein gedankliches Modell entwickelt, aus dem wiederum deduktiv Hypothesen abgeleitet werden, die dann mit empirischen Arbeitsweisen getestet werden können. *Erklärungen* und *Hypothesen* stehen hier also in einem zeitlichen und logischen Verhältnis zueinander. Zumindest für die Lehrkräftebildung, möglicherweise aber auch für die Forschung, besteht hierin Potenzial der Erweiterung des *Scientific Discovery as Dual Search*-Modells (Klahr & Dunbar, 1988), dessen Potenziale für die biologie-didaktische Forschung von Hammann (2007) eingehend dargelegt wurden. Demnach bewegt man sich beim Lösen eines naturwissenschaftlichen Problems in zwei Räumen, dem Hypothesenraum und dem Experimentierraum. Zunächst wird im Hypothesenraum nach Hypothesen gesucht, die entweder aus dem Vorwissen oder aus vorhergehenden Untersuchungen abgeleitet werden können. Diese Hypothesen werden dann im Experimentierraum getestet und anschließend evaluiert, was zu einer neuen Suche nach Hypothesen im Hypothesenraum führen kann. Hier scheint implizit ebenfalls die doppelte Bedeutung des *Hypothesen*-Begriffs Anwendung zu finden, denn Klahr und Dunbar (1988) gehen offenbar auch nicht ausschließlich von einwandfrei formulierten, deduktiv hergeleiteten und begründeten *Hypothesen* aus, die im Hypothesenraum entwickelt werden, sondern beziehen auch *Erklärungen* mit ein. Hier könnte es nützlich sein, einen dritten Raum, den *Erklärungsraum*, zu postulieren, der der Suche im Hypothesenraum vorangestellt ist und bezüglich seiner Lage vor den „Hypothesenraum“ verortet wird. Vollmeyer und Burns (1999) nennen einen solchen dritten Raum „Modellraum“, der der Bedeutung des abduktiven Schließens beim Entwickeln von (kreativen) Ideen zur Erklärung eines Phänomens Rechnung trägt und der besser als das Zwei-Räume-Modell (Klahr & Dunbar, 1988) erklären kann, warum jemand bestimmte Hypothesen entwickelt und testet. Diese Differenzierung wäre vor allem auch mit Blick auf die Lehrkräftebildung von Bedeutung, da sie dazu beitragen könnte, die Doppeldeutigkeit des *Hypothesen*-Begriffs zu explizieren und (angehende) Lehrkräfte dabei zu unterstützen, die dem Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* innewohnenden Herausforderungen (Krell & Krüger, 2022) zu bewältigen. *Hypothesen* ergeben sich im problemorientierten Unterricht aus *Erklärungsversuchen* und sind nicht dasselbe – daher sollten diese Konzepte begrifflich konsequent voneinander unterschieden werden.

Professionstheoretisch gesprochen handelt es sich für Lehrkräfte hierbei um eine komplexe Aufgabe, da für die Gestaltung wissenschaftspropädeutischen Unterrichts im Sinne von NOS neben dem notwendigen fachlichen und fachdidaktischen Wissen auch Überzeugungen und Einstellungen notwendig sind, um kompetenzorientierten, hypothesengeleiteten Biologieunterricht zu planen, der dann in der Tat Kompetenzen im Bereich Erkenntnisgewinnung fördert. Zu den kognitiven Herausforderungen, die in der Planung zu bewältigen sind, zählen unter anderem die Formulierung klarer Lernziele, die Gestaltung von Aufgabenstellungen sowie die Entwicklung einer kohärenten Phasenstruktur (König et al., 2021). Die Verknüpfung dieser planungsrelevanten Elemente bringt in Bezug auf die Planung hypothesengeleiteten Biologieunterrichts Konsequenzen mit sich, die im Folgenden illustriert werden.

Erkenntnisse gewinnen über Erkenntnisgewinnung

Um im Rahmen kompetenzorientierten Unterrichts eine Kompetenzentwicklung bei Schüler*innen anzubahnen, sollten Lehrkräfte instruktionale Kohärenz herstellen (Neumann, 2020), d. h. die Gestaltung des Lehr-Lern-Prozesses (z. B. Aufgabenstellungen, Phasenstruktur) auf die angestrebten Lernziele hin abstimmen. Diese Aufgabe ist kognitiv herausfordernd (König et al., 2021). Mit Blick auf den Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* (KMK, 2020) ergibt sich die besondere Schwierigkeit, dass die Benennung des Kompetenzbereichs irritiert: *Erkenntnisgewinnung* meint nicht, mithilfe praktischer Tätigkeiten (z. B. Experimenten) neues Wissen über biologische Phänomene zu gewinnen, sondern Wissen über die naturwissenschaftlichen Arbeits- und Denkweisen zu erwerben (Krell & Krüger, 2022). Mit Hodson (2014) gesprochen meint *Erkenntnisse gewinnen* den Erwerb *ontologischen Wissens*, also biologische Sachkompetenz zu entwickeln (*learning science*). *Erkenntnisgewinnungskompetenz entwickeln* meint hingegen, einerseits *prozedurales Wissen* beim praktischen Anwenden naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen, wie beim Experimentieren, umzusetzen (*doing science*). Andererseits umfasst Erkenntnisgewinnungskompetenz *epistemisches Wissen*, also Wissen über den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess wie zum Beispiel über die Kennzeichen einer wissenschaftlichen *Hypothese* in Abgrenzung zu (wissenschaftlichen) *Erklärungen* (*learning about science*).

Die dargestellte Schwierigkeit, zwischen *Erkenntnisse gewinnen* und *Erkenntnisgewinnung* zu unterscheiden, scheint zu zwei gegensätzlichen Arten, Biologieunterricht zu strukturieren, zu führen. Für beide Arten wird im Folgenden jeweils ein Beispiel angeboten. Die Beispiele entstammen einer Analyse von Staatsexamensentwürfen im Fach Biologie und haben beide das Ziel, Erkenntnisgewinnungskompetenz zu fördern (Großmann & Krüger, 2022). Ordnet man allen den Stundenplanungen zu entnehmenden einzel-

nen Unterrichtsschritten jeweils zu, ob sie ontologisches (d. h. Sachkompetenz) oder prozedurales bzw. epistemisches Wissen (d. h. Erkenntnisgewinnungskompetenz) adressieren, lässt sich veranschaulichen, in welchem Maße die Stunden instruktional kohärent die angestrebten Kompetenzen fördern (Abb. 9.1, 9.2).

(1) *Erklärungen finden für fachliches Lernen*

Biologiestunden beginnen häufig damit, dass Schüler*innen im Einstieg mit einem Phänomen konfrontiert werden und zu diesem Phänomen „Hypothesen“ formulieren sollen, die dann im Verlauf der Stunde überprüft und in der Sicherung bestätigt bzw. widerlegt werden (Abb. 9.1).

In dieser Stunde wird das Ziel verfolgt, dass die Schüler*innen ein Experiment zur Ausprägung der Schwanzflosse bei männlichen Guppys auswerten. Dazu wurde der Standard „Daten, Trends und Beziehungen interpretieren, diese erklären und weiterführende Schlussfolgerungen ableiten“ aus dem Berliner Rahmenlehrplan ausgewählt (SenBJF, 2015, S. 19). Nachdem die Schüler*innen im Einstieg zunächst mit einem Bild von zwei Guppys konfrontiert werden (Abb. 9.1, ①), sollen sie „Hypothesen“ aufstellen, warum die beiden Guppys unterschiedlich gefärbte Schwanzflossen haben (②). Als Begründung dafür wird der problemorientierte Unterricht genannt, demzufolge zunächst Problemfragen zu entwickeln

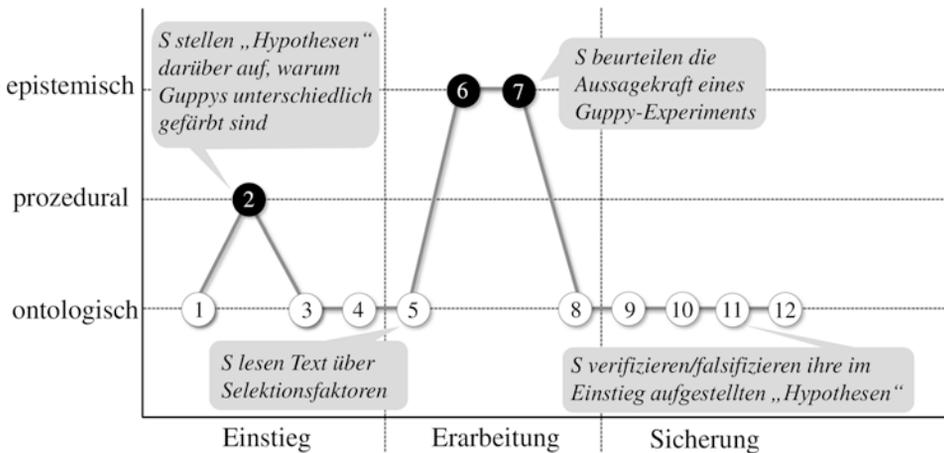


Abb. 9.1 Geplanter Verlauf einer Stunde zur Auswertung von Experimenten am Beispiel der Körperfärbung von Guppys. Von den zwölf Unterrichtsschritten fokussieren nur die Schritte ②, ⑥ und ⑦ den adressierten Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung, die weiteren Aufgaben in der Erarbeitungsphase (Schritte ⑤ und ⑧) sowie der Einstieg (Schritte ①, ③ und ④) und die gesamte Sicherungsphase (Schritte ⑨–⑫) fokussieren den zu vermittelnden biologischen Fachinhalt, d. h. den Einfluss von natürlicher und sexueller Selektion, auf die Färbung der Guppys (Sachkompetenz). S = Schüler*innen

und dann „Hypothesen“ zu formulieren seien. Über die Erwartung an diese „Hypothesen“ geben die drei antizipierten Antworten Aufschluss, die im Entwurf beschrieben werden:

„Es handelt sich um den Sexualdimorphismus. Dabei liegen in Hinblick auf Gestalt, Färbung und Verhalten deutliche Unterschiede zwischen den Geschlechtern vor.“

„Es muss eine Mutation bei einem der Guppys vorliegen.“

„Die Guppys kommen an unterschiedlichen Orten vor.“

Die Schüler*innen sollen also mithilfe des bereits erarbeiteten biologischen Fachwissens über die Evolution nicht *Hypothesen*, sondern zeitlich vor dem Phänomen liegende *Erklärungsversuche* zum Phänomen formulieren. Diese *Erklärungsversuche* werden insofern geprüft, als die Schüler*innen in der Erarbeitungsphase zunächst einen Informationstext über Guppys und verschiedene Selektionsfaktoren lesen sollen (5) und anschließend ein Experiment auswerten, in dem Guppys in zwei Teilgruppen getrennt gehalten werden – eine Gruppe mit, die andere als Kontrolle ohne einen Fressfeind. Neben der inhaltlichen Auswertung des Experiments sollen in einer weiteren Aufgabenstellung die Aussagekraft des Untersuchungsplans und dessen Umsetzung beurteilt werden (7), sodass die Schüler*innen sowohl mit der ontologischen als auch mit der epistemischen Ebene konfrontiert sind. Im letzten Schritt der Erarbeitung sollen die Schüler*innen dann jedoch eine Kurzpräsentation vorbereiten, „indem sie die Erkenntnisse aus der Auswertung der Versuchsergebnisse nutzen, um die Problemfrage zu beantworten“ (8). Damit wird der Unterrichtsgang wieder auf die ontologische Ebene zurückgeführt und schließt logisch an den Einstieg an, denn nun werden die neu gewonnenen Erkenntnisse aus dem Arbeitsmaterial besprochen und es wird geklärt, warum männliche Guppys unterschiedlich gefärbte Schwanzflossen haben (9, 10). Abschließend werden im Sinne einer didaktischen Klammer die im Einstieg formulierten *Erklärungsversuche* wieder aufgegriffen (11) und „reflektiert“. Es stellt sich die Frage, inwiefern die Reflexion über einen Vergleich der bereits gesicherten sachangemessenen Erklärung mit den im Einstieg gesammelten Erklärungsversuchen hinausgeht. Da die meisten Unterrichtsschritte in dieser Stunde der ontologischen Ebene zuzuordnen sind und dies auch Fokus der Sicherungsphase ist, ist davon auszugehen, dass die Schüler*innen in dieser Stunde Sachkompetenzen und allenfalls implizit Erkenntnisgewinnungskompetenzen entwickelt haben. Wir vermuten, dass in der geplanten Stunde der angestrebte Kompetenzzuwachs hätte präzisiert werden können, wenn begrifflich konsequent statt von „Hypothesen aufstellen“ von „Erklärungen für ein fachliches Problem finden“ gesprochen und als Lernziel explizit die Förderung von Sachkompetenz benannt worden wäre. Somit würde vermieden werden, wissenschaftliche Hypothesen für vage, spontan geäußerte Vermutungen zu halten.

(2) *Hypothesen aufstellen für eine Untersuchung*

Sollen in einer Biologiestunde explizit Erkenntnisgewinnungskompetenzen gefördert werden, sollten im Stundenverlauf die prozedurale oder epistemische Ebene konsequent erreicht werden (Abb. 9.2).

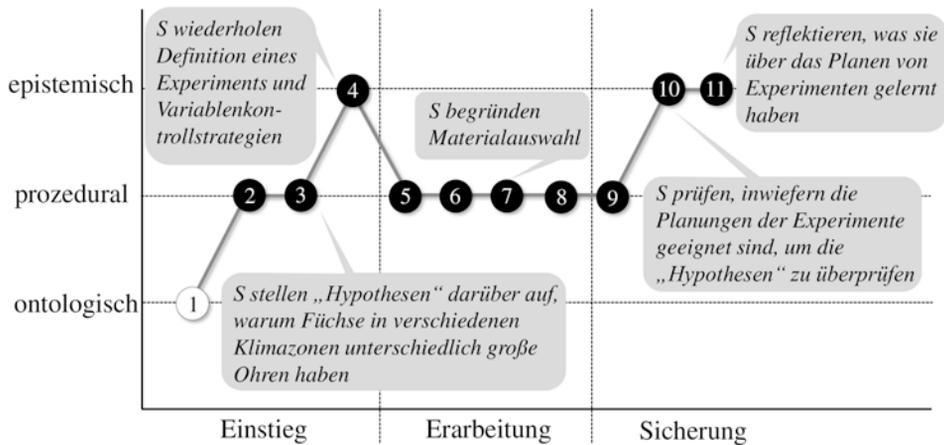


Abb. 9.2 Geplanter Verlauf einer Stunde zur Planung von Experimenten am Beispiel der Allen'schen Regel. Von den elf Unterrichtsschritten fokussiert nur Schritt ① als thematischer Aufhänger das biologische Fachwissen (Sachkompetenz). Darauf aufbauend wird Erkenntnisgewinnung adressiert, indem Hypothesen formuliert werden (③), ein Experiment selbst geplant und aus bereitgestellten Materialien ausgewählt (Schritte ⑤, ⑥, ⑦, ⑧) sowie letztlich reflektiert wird, inwiefern die geplanten Experimente tatsächlich zur Prüfung der Hypothesen geeignet sind (Schritte ⑩, ⑪). S = Schüler*innen

In dieser Stunde verfolgt die Lehrkraft das Ziel, dass die Schüler*innen ein Experiment zur Überprüfung der Allen'schen Regel planen. Dazu wurde der Standard „exemplarische Experimente zur Überprüfung von Hypothesen planen“ aus dem Berliner Rahmenlehrplan ausgewählt (SenBJS, 2006, S. 16).

Nachdem die Schüler*innen im Einstieg mit einer Weltkarte konfrontiert werden (①), in der drei Fuchsarten mit verschiedenen großen Ohren gezeigt werden, werden die Schüler*innen mit der Frage konfrontiert, warum beispielsweise der Wüstenfuchs viel größere Ohren hat als der Polarfuchs (③). Folgende „Hypothesen“ werden antizipiert:

„Kleinere Ohren haben eine kleinere Oberfläche zur Wärmeabgabe, sodass sie in kälteren Gebieten einen Vorteil haben.“

„Wenn die Ohren größer sind, dann ist auch die Oberfläche zur Wärmeabgabe größer. Füchse, die in wärmeren Regionen leben, haben dadurch einen Vorteil.“

Während die erste antizipierte „Hypothese“ einen *Erklärungsversuch* darstellt, in dem mithilfe von Vorwissen der Zusammenhang zwischen Oberfläche und Wärmeabgabe beschrieben wird, handelt es sich im zweiten Fall tatsächlich um eine deduktive *Hypothese*, für die eine „Wenn ... dann“-Konstruktion gewählt und somit der Zusammenhang zwischen zwei Variablen formuliert wird. Damit die Schüler*innen vor dem Hintergrund ihrer in Gruppen formulierten Hypothesen entsprechende Experimente planen können, wird im Ein-

stieg zunächst wiederholt, dass Experimente der Untersuchung eines kausalen Zusammenhangs zwischen zwei Variablen dienen, dass man zu diesem Zweck einen Kontrollansatz benötigt und dass sich der Kontrollansatz vom Experimentalansatz nur in der Variation einer einzigen unabhängigen Variablen unterscheiden soll (4). Erweiternd hätte hier der *Erklärungsversuch* explizit von der *Hypothese* abgegrenzt werden können. Dieser Übergang auf die epistemische Ebene ist sinnvoll, weil die Schüler*innen in der sich anschließenden Erarbeitungsphase eigenständig ein Experiment planen, mit dem ihre Hypothese untersuchbar wird. Dazu wählen sie aus bereitgestellten Materialien (z. B. Teelöffel, Esslöffel, warme Kartoffeln) begründet die benötigten Materialien aus (7). Die Schüler*innen stellen Analogien zum Phänomen her (z. B. warme Kartoffel entspricht Fuchskörper, Löffel entsprechen den Ohren) und denken bewusst über die Gestaltung des Experiments nach. Die Experimentaldesigns (8) werden dann von zwei Gruppen präsentiert (9). Dazu wird ausgeführt:

*„Hierbei werden bewusst zwei Gruppen mit unterschiedlichen oder mit fehlerhaften Planungen ausgewählt, damit diese im Plenum ausgewertet und dezidiert besprochen werden können. Die restlichen [Schüler*innen] erhalten einen Beurteilungsbogen, mit dem sie die Planungen einschätzen und reflektieren sollen.“*

Es wird deutlich, dass die Planung nicht auf die eine richtige Lösung abzielt. Stattdessen denken die Schüler*innen auf einer epistemischen Ebene darüber nach, inwiefern die von den Gruppen vorgestellten Ansätze zur Untersuchung der im Einstieg formulierten Hypothesen geeignet sind (10). Der Beobachtungsauftrag durch den Beurteilungsbogen aktiviert kognitiv auch die Schüler*innen, die ihre Planungen nicht vorstellen. Die Kompetenzfokussierung zeigt sich in einer abschließenden Selbstreflexion, in der die Schüler*innen ihren eigenen Kompetenzzuwachs auf einer vierstufigen Likert-Skala einschätzen sollen (11), z. B. *„Ich habe meine eigene Planung des Experiments kritisch reflektiert“*. Dem Entwurf ist zu entnehmen, dass die auf der Grundlage des Feedbacks modifizierten Planungen dann in der folgenden Stunde experimentell umgesetzt werden und dort die Entwicklung von Sachkompetenz über die Allen'sche Regel im Vordergrund stehen wird.

9.3 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend zeigt sich, dass der *Hypothesen*-Begriff in der naturwissenschafts-didaktischen Planungs- und Unterrichtspraxis angehender Biologielehrkräfte überstrapaziert wird. Es erscheint notwendig, die verschiedenen Lesarten des Begriffs klarer zu trennen. Wir schlagen vor, den Begriff *Hypothese* nur dann zu verwenden, wenn eine auf theoretischer Basis begründete, empirisch prüfbare Voraussage eines in der Zukunft potenziell empirisch zu untersuchenden Zusammenhangs gemeint ist. Wenn die Schüler*innen jedoch im Sinne eines problemorientierten Einstiegs Ideen sammeln, um ein Phänomen zu erklären, sollten diese Ideen nicht „Hypothesen“, sondern potenzielle und in der Vergangenheit liegende Ursachen *Erklärungsversuche* genannt werden.

Dies könnte Anlass bieten, das Prinzip der Problemorientierung im Biologieunterricht insofern kritisch zu reflektieren, als ihm im Rahmen kompetenzorientierten Unterrichtens eine Schwierigkeit innewohnt: Wenn das Ziel verfolgt wird, ein Phänomen zu verstehen

bzw. verständlich erklären zu können, wird Sachkompetenz (KMK, 2020) adressiert. Oft jedoch formulieren (angehende) Lehrkräfte ein Lernziel, das auf Erkenntnisgewinnungskompetenz (KMK, 2020) abzielt. Fokussiert man aber in der Sicherungsphase vor allem die fachliche Korrektheit der Erklärungen des biologischen Phänomens, liegt der Schwerpunkt auf dem Erwerb von Sachkompetenz. Erst ein explizites Nachdenken über „Basiskonzepte der Erkenntnisgewinnung“ (Lübeck, 2020) bzw. über das „Methodenwissen“ der Biologie (Krell & Krüger, 2022) fördert Erkenntnisgewinnungskompetenz. In solchen Stunden im Einstieg *Erklärungen* zu fordern, daraus *Hypothesen* abzuleiten und anschließend die Angemessenheit der Planung bzw. Durchführung einer Untersuchung zu reflektieren wird einem problemorientierten Einstieg mit *Erklärungsversuchen* und *Hypothesen* gerecht. Die Gleichsetzung vager Ideensammlungen mit theoretisch begründeten Voraussagen unter dem Begriff *Hypothese* erscheint uns hingegen problematisch.

Es sei mit Blick auf das erste Stundenbeispiel hervorgehoben, dass die Verfolgung des Standards des Berliner Rahmenlehrplans („*Daten, Trends und Beziehungen interpretieren, diese erklären und weiterführende Schlussfolgerungen ableiten*“) als fachliche Klärung interpretiert werden kann. Die Schwierigkeit besteht darin, dass die kurzen Standardformulierungen im Geiste des jeweiligen Kompetenzbereichs verstanden werden müssen.

Vor diesem Hintergrund sind die folgenden Fragen für die zukünftige biologie-didaktische Forschung von Interesse:

- Im Bereich der biologie-didaktischen Kompetenzforschung wäre zu untersuchen, inwiefern sich die Auftrennung des *Hypothesen*-Begriffs in abduktive *Erklärungen* und deduktive *Hypothesen* nicht nur beim Modellieren (Krüger & Upmeyer zu Belzen, 2021), sondern auch bei den Arbeitsweisen Beobachten, Vergleichen und Ordnen sowie Experimentieren reflektieren lässt.
- Im Bereich der biologie-didaktischen Professionsforschung wäre zu untersuchen, welche Variablen der professionellen Kompetenz von Lehrkräften (z. B. Fachwissen, fach-didaktisches Wissen, epistemologische Überzeugungen) als Prädiktoren für ein wissenschaftlich adäquates Verständnis zur Unterscheidung von Erkenntnisgewinnungs- und Sachkompetenz oder spezieller von *Erklärungen* und *Hypothesen* gelten können.

Hinweis zur Förderung: Das Projekt K2Teach (*Know how to teach*) wurde im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01JA1802 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- Capps, D. K., & Crawford, B. A. (2013). Inquiry-based instruction and teaching about nature of science: Are they happening? *Journal of Science Teacher Education*, 24(3), 497–526.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer.

- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education. Scientific knowledge, practices and other family categories*. Springer.
- Großmann, L., & Krüger, D. (2022). Welche Rolle spielt das fachdidaktische Wissen von Biologie-Referendar*innen für die Qualität ihrer Unterrichtsentwürfe? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28(1), 53–72.
- Gyllenpalm, J., & Wickman, P.-O. (2011). The uses of the term hypothesis and the inquiry emphasis conflation in science teacher education. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1993–2015.
- Hammann, M. (2007). Das Scientific Discovery as Dual Search-Modell. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 187–106). Springer.
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2553.
- Kattmann, U. (2015). *Schüler besser verstehen: Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht*. Aulis.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1–48.
- KMK. (2020). *Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife*. Carl Link.
- König, J., Krepf, M., Bremerich-Vos, A., & Buchholtz, C. (2021). Meeting cognitive demands of lesson planning: introducing the CODE-PLAN model to describe and analyze teachers' planning competence. *The Teacher Educator*, 56(4), 466–487.
- Kornmesser, S., & Büttemeyer, W. (2020). Erklärungen und Theorien. In S. Kornmesser & W. Büttemeyer (Hrsg.), *Wissenschaftstheorie: Eine Einführung* (S. 135–150). J.B. Metzler.
- Krell, M., & Krüger, D. (2022). Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht: Welches Methodewissen soll vermittelt werden? *MNU Journal*, 5, 376–382.
- Krüger, D., & Upmeyer zu Belzen, A. (2021). Kompetenzmodell der Modellierkompetenz – Die Rolle abduktiven Schließens beim Modellieren. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27(1), 127–137.
- Lübeck, M. (2020). ‚Basiskonzepte‘ der Erkenntnisgewinnung im Biologieunterricht: Ein Nachschlagewerk mit Aufgabenbeispielen. Waxmann.
- McComas (2020). Principal elements of nature of science: informing science teaching while dispelling the myths. In W. McComas (Hrsg.), *Nature of science in science instruction: Rationales and strategies* (S. 35–65). Springer.
- Neumann, K. (2020). Die Bedeutung instruktionaler Kohärenz für eine systematische Kompetenzentwicklung. *Unterrichtswissenschaft*, 48(1), 1–10.
- Reinisch, B., & Fricke, K. (2022). Broadening a nature of science conceptualization: Using school biology textbooks to differentiate the family resemblance approach. *Science Education*, 106, 1375–1407.
- Schurz, G. (2008). Patterns of abduction. *Synthese*, 164, 201–234.
- SenBJF. (2015). *Rahmenlehrplan für die Jahrgangsstufen 7–10: Teil C (Biologie)*. https://bildungs-server.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene/Rahmenlehrplan-projekt/amtliche_Fassung/Teil_C_Biologie_2015_11_10_WEB.pdf. Zugegriffen am 29.03.2024.
- SenBJS. (2006). *Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe: Biologie*. https://www.berlin.de/sen/bildung/unterricht/faecher-rahmenlehrplaene/rahmenlehrplaene/mdb-sen-bildung-unterricht-lehrplaene-sek2_biologie.pdf?ts=1705017673. Zugegriffen am 29.03.2024.
- Vollmeyer, R., & Burns, R. D. (1999). Problemlösen und Hypothesentesten. In H. Gruber, W. Mack, & A. Ziegler (Hrsg.), *Wissen und Denken: Beiträge aus Problemlösepsychologie und Wissenspsychologie* (S. 101–118). Deutscher Universitäts Verlag.

Dr. Leroy Großmann hat Deutsch und Biologie (Lehramt) an der Freien Universität Berlin studiert und sein Referendariat an einem Berliner Gymnasium absolviert. Seitdem arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Didaktik der Biologie an der Freien Universität Berlin. Seine Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte liegen im Bereich der Lehrkräfteprofessionsforschung, der fachdidaktischen Unterrichtsplanungsforschung und der Diagnose und Förderung von Modellierkompetenz.

Prof. Dr. Dirk Krüger hat Biologie und Mathematik (Lehramt an Gymnasien) an der Universität Hannover studiert und dort am Institut für Angewandte Genetik 1996 promoviert. Nach dem Referendariat unterrichtete er an einem Gymnasium in Hannover, bevor er als wissenschaftlicher Assistent an die Abteilung Didaktik der Biologie an die Universität Hannover wechselte. Seit 2003 vertritt er das Fachgebiet Didaktik der Biologie an der Freien Universität Berlin. Seine Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte liegen im Bereich Erkenntnisgewinnung und im Speziellen in der Diagnose und Förderung von Modellierkompetenz.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Bianca Reinisch
Kristin Helbig
Dirk Krüger *Hrsg.*

Biologiedidaktische Vorstellungs- forschung

Zukunftsweisende Praxis

 Springer Spektrum

Jetzt bestellen:

link.springer.com/978-3-662-61341-2

