

## **BNE-Lehrkräftefortbildung durchgeführt von Lehramtsstudierenden**

Facetten eines experimentellen Moduls in der Chemiedidaktik

*Krenare Ibraj, Yannick L. Legscha & Markus Prechtl*

Angeregt durch verschiedene Socioscientific Issues (SSI), wie Klimawandel und Ressourcenknappheit, gewinnt das Thema Nachhaltigkeit zunehmend an Bedeutung in unserem Alltag. Angesichts deren hoher gesellschaftlicher Relevanz wird verstärkt über bildungspolitische Maßnahmen nachgedacht – auch im schulischen Bereich. Dies zeigt sich unter anderem im Weltaktionsprogramm „Bildung für Nachhaltige Entwicklung“, das eine umfassende Integration von Nachhaltigkeit in allen Bildungsbereichen fordert (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2013). In diesem Zusammenhang spielen Lehrkräfte eine wichtige Rolle bei der Umsetzung von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) in Schulen, da sie als sogenannte Change Agents aktiv zur Förderung von BNE durch ihren Unterricht beitragen. Folglich ist eine BNE-bezogene Lehrkräftebildung unerlässlich (Rieckmann & Holz, 2017). Sie sollte nachhaltig verankert werden (Keil et al., 2020). An diesem Punkt setzt unser experimentelles Modul, das in diesem Beitrag facettenartig vorgestellt wird, an. In diesem Modul konzipieren und leiten Lehramtsstudierende des Fachs Chemie eine Fortbildung für Lehrkräfte, wodurch Perspektivwechsel für die Studierenden möglich werden. Dies wird durch Struktur und Inhalte ermöglicht, die Theorie und Praxis verbinden. So erhalten die Studierenden die Möglichkeit, einerseits chemische Fachkenntnisse im Zusammenhang mit BNE zu vertiefen und andererseits die didaktische Aufbereitung und zielgerichtete Umsetzung dieser chemiebezogenen Fachinhalte zu erlernen und anzuwenden.

Im Folgenden werden das zugrundeliegende Thema BNE, die Leitideen und die Konzeption des Moduls erläutert. Zur Veranschaulichung werden Praxisbeispiele im Detail betrachtet.

## 1. BNE als Aufgabe für den Chemieunterricht von morgen

Die globalen Herausforderungen, vor denen die Menschheit steht, bedürfen nachhaltiger Lösungsstrategien. Eine solche stellt die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung dar, welche 2015 von den Vereinten Nationen verabschiedet wurde (UNESCO, 2020). Im Kern intendiert die Agenda 2030 ein Leben auf der Welt, das sowohl für die jetzige als auch für kommende Generationen lebenswert bleibt. Dafür wurden 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDG) formuliert, die eine Reihe an globalen Herausforderungen adressieren. Diese Ziele umfassen soziale Bedürfnisse der Menschheit, wie Bildung und Gesundheit, sowie systematische Hindernisse, wie Ungleichheit und nicht nachhaltiger Konsum (UNESCO, 2020). Qualitativ hochwertige Bildung ist im Kontext der Förderung nachhaltiger Entwicklung von großer Bedeutung. Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) beabsichtigt, Lernende zu befähigen, globale Zusammenhänge zu interpretieren, um eine aktive Teilnahme an einer nachhaltigen Entwicklung zu fördern (Rieckmann, 2021; UNESCO, 2020).

Im erziehungswissenschaftlichen Diskurs existieren zurzeit zwei Auffassungen von Bildung für nachhaltige Entwicklung: BNE 1 und BNE 2. Bei BNE 1 steht die Erziehung im Vordergrund, insbesondere die Vermittlung grundlegender Werte und Verhaltensweisen, von denen angenommen wird, dass sie zu einer nachhaltigen Entwicklung dazugehören, wie z. B. die Mülltrennung. Im Gegensatz dazu steht bei BNE 2 die Bildung im Vordergrund. Individuen sollen befähigt werden, sich mit nachhaltiger Entwicklung und ihrer Komplexität kritisch auseinanderzusetzen, um schließlich für sich selbst entscheiden zu können, was es zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung bedarf. BNE wird in diesem Zusammenhang als kompetenzorientierter Lernprozess verstanden. Die beiden aufgeführten Auffassungen von BNE schließen einander nicht aus, sie sind vielmehr als komplementär zu betrachten. Die Auslegung von BNE als Erziehung oder als Bildung hängt davon ab, welche Lerngruppe adressiert und welche Ziele verfolgt werden (Rieckmann, 2020, 2021). Im Kontext der Hochschulbildung, wie auch in der Schule, liegt der Fokus auf BNE 2, und damit dezidiert auf Bildung, was sich an formulierten Kompetenzen ablesen lässt. Zu den in Deutschland favorisierten Kompetenzkonzepten zählen zum einen die von der KMK formulierten Kernkompetenzen und zum anderen die Gestaltungskompetenz nach de Haan (Rieckmann, 2021). Die Kernkompetenzen der KMK beziehen sich auf das Erkennen, Bewerten und Handeln; darunter fallen Aspekte, wie „Erkennen von Vielfalt“ und „kritische Reflexion“ (KMK, 2016). Bei der Gestaltungskompetenz nach de Haan erkennen die Lernenden nicht nachhaltige Entwicklungen und sind in der Lage, ihr Wissen über nachhaltige Entwicklung aktiv auf Entscheidungsprozesse und Handlungen anzuwenden (de Haan et al., 2008). Beide Kompetenzkonzepte zeigen auf, dass Kompetenzen, die im Rahmen einer BNE zu erwerben sind „[...] – ganz im Sinne Klafkis – die Emanzipation, Mündigkeit und Verantwortung des Menschen [fördern]“ (Rieckmann, 2021, S. 10). Nach eingehender Begriffsklärung stellt sich nun die Frage der Umsetzung von BNE. Sie bedarf der dezidierten Professionalisierung

der Lehrkräfte (Hellberg-Rode & Schrüfer, 2016). Wie bereits erwähnt, wirken diese als Change Agents in Bildungsprozessen (Rieckmann & Holz, 2017). Hierauf sollte die Lehrkräftebildung adäquat reagieren, unter anderem verbunden mit der Zielsetzung, dass Lehrkräfte „[...] bereits in ihrer Erstausbildung diejenigen Kompetenzen entwickeln, die sie in die Lage versetzen, Fragen einer nachhaltigen Entwicklung inhaltlich und methodisch angemessen sowie didaktisch professionell zu bearbeiten“ (Programm Transfer-21, 2007). Dementsprechend sollte die Handlungskompetenz sowohl fachinhaltliches als auch fachdidaktisches Wissen umfassen (Hellberg-Rode & Schrüfer, 2016). Beide erhalten im Modulkonzept gleichwertig Raum.

## 2. Modulkonzept

Das Modul wird im Rahmen der chemiedidaktischen Ausbildung an der Technischen Universität Darmstadt angeboten. Lehramtsstudierende haben als Teilnahmevoraussetzung bereits Vorlesungen und Praktika in der Fachwissenschaft erfolgreich absolviert, sodass die Studierenden über Fachwissen und Experimentiererfahrung verfügen. Angestrebt wird eine Lehrkräftefortbildung am Ende der Veranstaltung, die es zu gestalten gilt. Den Studierenden wird zu Beginn ein Pool an Schulversuchen mit Bezug zur Nachhaltigkeit vorgestellt, aus dem sie sich einen Schulversuch frei aussuchen. Die komplexe Aufgabe, der sich die Studierenden widmen, besteht darin, den Schulversuch im Laufe des Seminars zu erproben und zu optimieren, um ihn schließlich selbstsicher im Rahmen der Fortbildung den Lehrkräften präsentieren zu können. Hierfür recherchieren die Studierenden Hintergrundinformationen zu ihrem Schulversuch und zum Kontext. Sie befassen sich mit Versuchsvariationen, unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten und Maßgaben einer nachhaltigen Chemie. Sie stellen ihre optimierten Schulversuche zunächst ihren Mitstudierenden vor und setzen deren kritisch-konstruktives Feedback entsprechend um. Schließlich bereiten sie eine Präsentation vor, in der sie die didaktische Rahmung des Schulversuchs erläutern. So vorbereitet wenden sie sich der Lehrkräftefortbildung zu.

Die formale Organisation, zu der die Teilnehmenden-Akquise sowie die Termin- und Raumfindung zählen, übernehmen Dozierende. Diese erstellen im Vorfeld eine Einladung in Form eines Flyers mit organisatorischen und inhaltlichen Informationen, der elektronisch an Schulen aus der Region versendet wird. Die Teilnahme der Lehrkräfte erfolgt auf freiwilliger Basis.

Die grundlegende Idee eines Potlucks wird auf die Lehrkräftefortbildung übertragen. Im Allgemeinen bezeichnet ein Potluck ein Treffen, bei dem alle Gäste Speisen mitbringen, die gemeinschaftlich geteilt werden. Dieser Aspekt des Teilens bildet das Leitmotiv der Lehrkräftefortbildung. Es werden innovative Lernsettings, Materialien, didaktische Hinweise und Feedback ausgetauscht. In der Pause zwischen den Schulversuchen wird die Potluck-Idee wortwörtlich umgesetzt. Am Tag der Fortbildung bringen die Lehrkräfte Speisen mit, als Gegenleistung für die innovativen Lernsettings. Beim gemeinsamen Essen werden Netzwerke ausgebildet und Lehrkräfte als BNE-Multiplikator/innen gewonnen.

## 2.1 Leitidee und Ziele des Moduls

BNE ist ein junges Thema in Fachdidaktik und Schule; entsprechend wenige Lernsettings und Materialien sind derzeit verfügbar (Hellberg-Rode & Schrüfer, 2016; Keil et al., 2020). Deshalb legt das Modul bewusst einen klaren Schwerpunkt auf nachhaltige Chemie, wobei Perspektiven der Nachhaltigkeit gewählt werden, die sowohl Probleme als auch Lösungen thematisieren (Prechtl et al., 2023). Das Modul umfasst fachinhaltliches und fachdidaktisches Wissen. Die Fortbildung versorgt die Lehrkräfte mit Präsentationen, Schulversuchen – inklusive Vorschriften und Gefährdungsbeurteilungen – sowie Begleitmaterial rund um BNE, damit sie zu BNE-Multiplikator/innen werden können.

## 2.2 Umsetzung des Moduls

Der Aufbau jeder Sitzung besteht aus einem theoretischen und einem praktischen Teil. Zu Beginn einer Sitzung wird ein Impulsvortrag gehalten, der fachinhaltliche oder fachdidaktische Themen behandelt. Er stellt den theoretischen Teil der Sitzung dar. Der praktische Teil der Sitzung umfasst die anschließende Durchführung des Schulversuchs. Die Struktur als Ganzes (Abb. 1) zeigt, dass der Kompetenzerwerb der Studierenden gestuft organisiert ist. Die Kompetenzanbahnung und -ausdifferenzierung erfolgen über die folgenden Schritte: Kennenlernen und Erproben des ausgewählten Schulversuchs, Optimierung des Schulversuchs, Tauschrunde mit Peer-Evaluation und -Feedback in Tandems, Präsentation vor dem Plenum und finale Vorbereitung auf die Lehrkräftefortbildung. Die Lehrkräftefortbildung selbst findet als Kompaktveranstaltung an einem Samstag statt. Im Rahmen dieser Veranstaltung ergeben sich Räume, in denen sich Studierende und Lehrkräfte generationsübergreifend auf Augenhöhe miteinander austauschen. Somit wenden die Studierenden ihre Kompetenzen in einer authentischen Situation an. Darüber hinaus festigen sich Netzwerke von BNE-Multiplikator/innen.

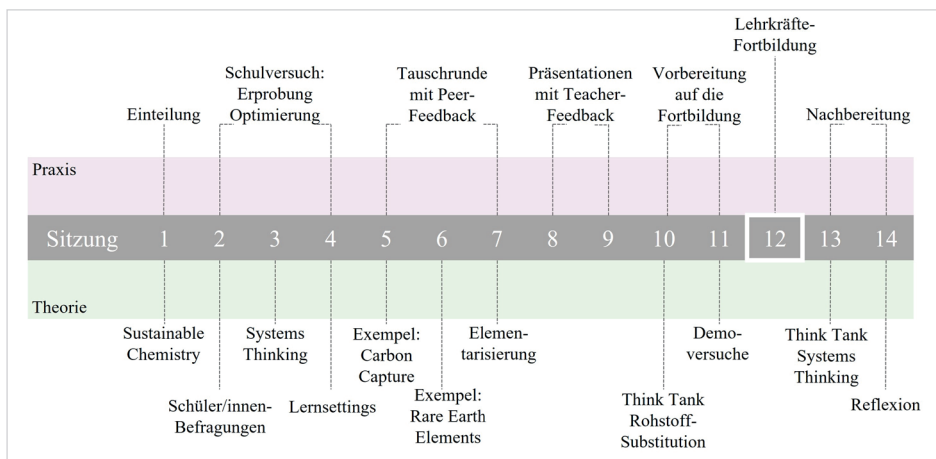


Abb. 1: Struktur des experimentellen Moduls.

Die oben genannten Schwerpunkte Fachinhalt und Fachdidaktik werden im Folgenden näher betrachtet.

Der erste Schwerpunkt *Fachinhalt* bezieht sich, wie zuvor angesprochen, auf die Festigung chemiebezogenen Fachwissens im Rahmen einer nachhaltigen Chemie. Dies geschieht zum einen durch Impulsvorträge, die fachinhaltliche Themen behandeln, u. a. grüne und nachhaltige chemisch-technische Verfahren, Zukunftsvisionen wie Carbon Capture sowie Substitutions- und Recyclingmöglichkeiten für kritische Rohstoffe (z. B. Rare Earth Elements). Dabei werden alle Skalierungen von der globalen Ebene bis hin zur innovativen Technologie auf molekularer Ebene beleuchtet. Auf diese Weise soll den Studierenden die Möglichkeit geboten werden, neu erlerntes Wissen über nachhaltige Entwicklung und deren chemische Grundlagen mit bereits vorhandenem Fachwissen zu verknüpfen.

Der zweite Schwerpunkt *Fachdidaktik* umfasst die Förderung didaktischer Aufbereitung und Anwendung von Fachinhalten im Kontext einer BNE. Hierzu zählen Aspekte der Elementarisierung, Systems Thinking im Chemieunterricht und die methodische Gestaltung von Lernsettings. Die Impulse aus dem theoretischen Teil des Moduls werden von den Studierenden bei der didaktischen Aufbereitung ihrer Schulversuche genutzt. Die angestrebte Optimierung der Schulversuche ermöglicht es den Studierenden, ihr fachdidaktisches Wissen praktisch einzusetzen. Darüber hinaus können Methoden der Fachdidaktik, wie z. B. die Visualisierung eines Schulversuchs oder Storytelling, gefestigt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Modulkonzept, mit seinen vernetzten Schwerpunkten, die Studierenden dazu befähigt, Inhalte und Kontexte bezüglich nachhaltiger Chemie im Rahmen einer BNE selbst zu erlernen und zukünftig lehren zu können. Regelmäßige Feedbackschleifen in Form von Peer-Feedback (während der Tauschrunden) und Teacher-Feedback (während der Präsentationen) begleiten diesen Lernprozess. Beim Feedback-Geben und -Erhalten können die Studierenden ihren fachinhaltlichen und fachdidaktischen Kompetenzzuwachs reflektieren lernen.

### 3. Theorie und Praxis im Fokus

Wie bereits in Kapitel 2 erläutert, ist das Modul dichotom in Theorie und Praxis aufgeteilt. Zur weiteren Veranschaulichung des Moduls wird die inhaltliche Ebene der beiden Teile dargestellt. Der Theorieteil wird beispielhaft am Systems Thinking im Chemieunterricht erläutert. Zur Konkretisierung des Praxisteils wird ein Überblick zu den Schulversuchen dargelegt.

#### 3.1 Systems Thinking im Chemieunterricht

Im Modul lernen die Studierenden, dass Systeme im Allgemeinen aus verschiedenen Komponenten bestehen, die zusammenwirken und ein komplexes Ganzes bilden, welches eine bestimmte Funktion hat. Diese allgemeine Definition zeigt die drei

Hauptcharakteristika eines Systems auf: die *Komponenten*, die *Beziehung* zwischen den Komponenten und die *Funktion* (Orgill et al., 2019).

Im Weiteren konkretisieren die Studierenden Systems Thinking als die Fähigkeit, komplexe Systeme zu verstehen und zu interpretieren. Dabei umfasst diese Fähigkeit die Visualisierung von Beziehungen zwischen den einzelnen Komponenten, die Untersuchung des dynamischen Systemverhaltens, das Erkennen und Verstehen von Emergenz und die Untersuchung der Interaktion eines Systems mit seiner Umgebung (Orgill et al., 2019). Ferner lernen die Studierenden weitere Definitionsansätze von Systems Thinking kennen. Die gängigsten Ansätze liefert zum einen Barry Richmond mit seinen postulierten sieben Systems-Thinking-Fähigkeiten; darunter finden sich dynamisches Denken und operationales Denken (Richmond, 1993). Zum anderen beschreiben Assaraf und Orion auf Grundlage einer Mixed-Method-Erhebung ein hierarchisches Modell der Systems-Thinking-Fähigkeiten, welches mit der Fähigkeit beginnt, Komponenten und Prozesse innerhalb eines Systems zu identifizieren, und mit der Fähigkeit endet, basierend auf Rückschlüssen aus dem System, zukünftige Prognosen zu erstellen (Assaraf & Orion, 2005).

Die Anwendung von Ansätzen des Systems Thinking im Chemieunterricht bietet die Möglichkeit im Kontext einer BNE, über den reduktionistischen Ansatz hinausgehend, eine ganzheitliche Perspektive auf den Chemieunterricht zu entwickeln. Zudem schafft Systems Thinking ein holistisches Verständnis davon, wie chemisches Wissen mit den dynamischen, technologischen, wirtschaftlichen und ökologischen Systemen in unserer Welt zusammenhängt. Abschließend wird den Studierenden unterbreitet, Systems Thinking über Visualisierungen in den Chemieunterricht zu integrieren. Denn Visualisierungen, wie Systemigramme und Systems-Oriented Concept Map Extensions (SOCME), haben das Potenzial, komplexe Zusammenhänge in Systemen zu veranschaulichen (Aubrecht et al., 2019).

### 3.2 Schulversuche zu nachhaltiger Chemie

Bei der Auswahl der Schulversuche wurde auf deren curriculare Anbindung an den Unterricht an Schulen und den exemplarischen Charakter hinsichtlich nachhaltiger Chemie geachtet. Die Aspekte Energieerzeugung, -wandlung und -speicherung sowie Life-Cycle-Assessment von Werkstoffen waren dabei von besonderer Relevanz (vgl. Tab. 1). Literaturangaben zu den Schulversuchen finden sich im Online-Material.

Beispielhaft für einen Schulversuch aus dem Modul wird nachfolgend auf die industrielle Stahlerzeugung fokussiert. Es gibt hierzu bereits Modellversuche (Rossow & Flint, 2006), zuletzt mit Fokus auf klimafreundlichen Verfahren (Neff et al., 2021). Im Modul wird ein Modellversuch zur Darstellung von Eisen aus Eisenoxid durch Reduktion mit Wasserstoffgas aus dem Metallhydrid-Stik durchgeführt. Der Modellversuch ist inspiriert vom Konzept der Direktreduktionsanlage (Jaroni, 2021), mit der die enorme CO<sub>2</sub>-Emission der Stahlbranche reduziert werden soll. Der Modellversuch veranlasste die Studierenden zu fachlichen und fachdidaktischen Reflexionen. Von Relevanz waren Sicherheitsaspekte (Metallhydrid-Stik versus Wasserstoffgas-

Tab. 1: Übersicht und Cluster der Schulversuche.

Energie	Recycling
Klimaneutrale Stahlproduktion <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion von Eisenoxid im Wasserstoffgasstrom aus dem Hydrid-Speicher-Stick</li> </ul>	Recycling von Leuchtstofflampenpulver <ul style="list-style-type: none"> <li>• mit dem Mikroglassbaukasten</li> </ul>
Digitale Messung der Verbrennungsenthalpie <ul style="list-style-type: none"> <li>• nachwachsender Rohstoffe mit dem Melle-Kalorimeter</li> </ul>	Recycling von Gold und Kupfer <ul style="list-style-type: none"> <li>• aus alten PC-Platinen</li> </ul>
Redox-Flow-Akku <ul style="list-style-type: none"> <li>• auf Basis von Eisenionen im Luer-Lock-Style</li> </ul>	Recycling von Neodymsulfat <ul style="list-style-type: none"> <li>• aus Festplattenmagneten</li> </ul>
Lithium-Ionen-Akku <ul style="list-style-type: none"> <li>• ein Hoffnungsträger?</li> </ul>	Bio-Kunststoff: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Von der Banane zur Schale (Stärkefolie optimiert)</li> </ul>
	Kunststoff-Downcycling: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederverwertung von Joghurtbechern</li> </ul>
	Papier hat Zukunft <ul style="list-style-type: none"> <li>• intumeszentes Papier</li> </ul>

flasche), zudem wurden Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen diskutiert, da Stahlerzeugung mit Wasserstoffgas aus Elektrolyse Strom erfordert, wobei dieser zunächst umweltfreundlich produziert werden müsste. Darüber hinaus ergaben sich Fragen bezüglich der Potenziale und Grenzen von Modellversuchen. So lässt sich beispielsweise im vorliegenden Modellversuch nicht allein mithilfe eines Magneten unterscheiden, ob magnetischer Magnetit und/oder elementares Eisen entstanden ist (Streller et al., 2019). Resümierend boten sich den Studierenden Reflexionsanlässe für eine fachinhaltlich und fachdidaktisch fundierte BNE, die im Rahmen der Fortbildung mit den Lehrkräften diskutiert werden konnten.

#### 4. Fazit

Der Beitrag hat Facetten unseres experimentellen BNE-Moduls vorgestellt. Dieses zielte darauf ab, Studierenden fachinhaltliches und fachdidaktisches Wissen bezüglich BNE näherzubringen. Die Studierenden erhielten die Möglichkeit, theoretisches Wissen zu festigen und dieses unmittelbar, durch Aufbereitung von Schulversuchen, in die Praxis umzusetzen. Ein weiterer Fokus lag darauf, Lehrkräfte mit Unterrichtsmaterialien zu versorgen, um die Integration von BNE in deren Chemieunterricht voranbringen zu können. Am Tag der Lehrkräftefortbildung entwickelte sich ein produktiver Austausch – ganz im Sinne eines Potlucks – zwischen den Multiplikator/innen im Bereich nachhaltige Chemie und BNE.



## Literatur

- Assaraf, O. B.-Z. & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518–560. <https://doi.org/10.1002/tea.20061>
- Aubrecht, K. B., Dori, Y. J., Holme, T. A., Lavi, R., Matlin, S. A., Orgill, M. & Skaza-Acosta, H. (2019). Graphical Tools for Conceptualizing Systems Thinking in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2888–2900. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00314>
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2013). *Positionspapier „Zukunftsstrategie BNE 2015+“*. [https://www.bne-portal.de/bne/shareddocs/downloads/files/bne-positionspapier-2015plus\\_deutsch.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bne-portal.de/bne/shareddocs/downloads/files/bne-positionspapier-2015plus_deutsch.pdf?__blob=publicationFile)
- Haan, G. de, Kamp, G. & Lerch, A. (2008). *Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit* (Bd. 33). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85492-0>
- Hellberg-Rode, G. & Schrüfer, G. (2016). *Welche spezifischen professionellen Handlungskompetenzen benötigen Lehrkräfte für die Umsetzung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE)?* Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.4119/UNIBI/ZDB-V20-I1-330>
- Jaroni, M. S. (2021). Mit Wasserstoff zur klimaneutralen Stahlproduktion. *Unterricht Chemie*, 32(186), 6–9.
- Keil, A., Kuckuck, M. & Faßbender, M. (2020). *BNE-Strukturen gemeinsam gestalten*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.31244/9783830991588>
- KMK. (2016). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung* (2. aktualisierte und erweiterte Auflage). Cornelsen. [https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2015/2015\\_06\\_00-Orientierungsrahmen-Globale-Entwicklung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2015/2015_06_00-Orientierungsrahmen-Globale-Entwicklung.pdf)
- Neff, S., Engl, A. & Risch, B. (2021). Klimafreundliche Stahlproduktion im 21. Jahrhundert. *Unterricht Chemie*, 32(186), 31–33.
- Orgill, M., York, S. & MacKellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2720–2729. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00169>
- Prechtl, M., Ibraj, K. & Legscha, Y. L. (2023). Nachhaltigkeit frühzeitig im Sprialcurriculum des Chemieunterrichts verankern: Ein Appell für die Stärkung des Kontextes kritische Metalle. *MNU-Journal* (im Druck).
- Programm Transfer-21 (Hrsg.). (2007). *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung in der Lehrerbildung – Kompetenzerwerb für zukunftsorientiertes Lehren und Lernen*. [http://www.transfer-21.de/daten/lehrerbildung/AGL\\_Strategiepapier.pdf](http://www.transfer-21.de/daten/lehrerbildung/AGL_Strategiepapier.pdf)
- Richmond, B. (1993). Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), 113–133. <https://doi.org/10.1002/sdr.4260090203>
- Rieckmann, M. (2020). Bildung für nachhaltige Entwicklung – Von Projekten zum Whole-Institution Approach. In S. Kapelari (Hrsg.), *Vierte Tagung der Fachdidaktik 2019* (S. 11–44). innsbruck university press. <https://doi.org/10.15203/99106-019-2-03>
- Rieckmann, M. (2021). Reflexion einer Bildung für nachhaltige Entwicklung aus bildungstheoretischer Perspektive. *Religionspädagogische Beiträge*, 44(2), 5–16. <https://doi.org/10.20377/rpb-153>
- Rieckmann, M. & Holz, V. (2017). *Verankerung von Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Lehrerbildung in Deutschland*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.25656/01:16966>



- Rossow, M. & Flint, A. (2006). Sauerstoff aus Oxi-Reinigern – der Hochofen im Reagenzglas. *Chemie Konkret*, 13(1), 31–32.
- Streller, S., Bolte, C., Dietz, D. & La Noto Diega, R. (2019). *Chemiedidaktik an Fallbeispielen*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58645-7>
- UNESCO. (2020). *Education for sustainable development: a roadmap*. UNESCO. <https://doi.org/10.54675/YFRE1448>



Onlinematerial

Krenare Ibraj, Technische Universität Darmstadt, Peter-Grünberg-Str.4, 64287 Darmstadt  
krenare.ibraj@tu-darmstadt.de  
<https://orcid.org/0000-0002-3904-011X>

Yannick L. Legscha, Technische Universität Darmstadt, Peter-Grünberg-Str. 4, 64287 Darmstadt  
yannick\_lucas.legascha@tu-darmstadt.de  
<https://orcid.org/0009-0005-2820-5360>

Markus Prechtel, Technische Universität Darmstadt, Peter-Grünberg-Str.4, 64287 Darmstadt  
markus.prechtel@tu-darmstadt.de  
<https://orcid.org/0000-0002-5870-6570>