

## **Bildung für nachhaltige Entwicklung durch Systems Thinking?**

Gesellschaft und Umwelt erleben einen dynamischen Wandel, geprägt von globalen Herausforderungen wie Klimawandel und Rohstoffknappheit (Richardson et al., 2023). Das Anthropozän ist geprägt von dem Eingreifen des Menschen in komplexe Systeme der Umwelt, ohne weitreichende Abwägungen der daraus resultierenden Konsequenzen (Rieß, 2013; Orgill, York & MacKellar, 2019). Mit der Leitidee einer nachhaltigen Entwicklung sollen Lösungen gefunden werden, für deren Verwirklichung zunächst die betroffenen Systeme analysiert werden müssen (Rieß, 2013). Hierfür bedarf es Systems Thinking, genauer: der Fähigkeit, komplexe Systeme und ihre Wechselwirkungen interpretieren und verstehen zu können (Orgill, York & MacKellar, 2019; Mahaffy, Matlin, Holme & MacKellar, 2019; Rieß, 2013). Im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) ist es deshalb wichtig, Systems Thinking bei Lernenden zu fördern (Fanta, Bräutigam, Greiff & Rieß, 2017). Diese Aufgabe sollen Lehrkräfte übernehmen, da ihre Lehre ein wichtiger Prädiktor für das Erlernen von Systems Thinking ist (Ossimitz, 2000). Da Lehrkräfte im Umgang mit Systems Thinking jedoch noch nicht ideal ausgebildet sind, wie eine Studie von Szozda et al. (2022) zeigt, sollte es – aus unserer Sicht – mehr Bestrebungen in diese Richtung geben; dies in Einklang mit Rieß (2013). Dies setzt die Bildung von Lehramtsstudierenden im Fach Chemie bezüglich Systems Thinking voraus. Hierauf bezieht sich unsere hochschuldidaktische Forschung. Im Fokus steht der Umgang der Studierenden mit Systemen und den darin beinhalteten Wechselwirkungen einzelner Systemkomponenten. Insbesondere wird die geteilte Rolle von Lehramtsstudierenden als aktive Lernende und angehende Lehrende betrachtet. Perspektivisch soll darüber die Etablierung von BNE in der Hochschullehre gefördert werden. Konkret beinhaltet dies die Einführung in Systems Thinking sowie Konzepte der inhaltlichen und methodischen Implementierung von Systems Thinking in Lernsettings für die Chemie-Lehre. Auf diese Weise soll das übergeordnete Ziel erreicht werden, zukünftige Lehrkräfte dazu zu befähigen, als Change Agents an BNE zu partizipieren.

### **Elemente der BNE in der Lehrkräftebildung**

Als Orientierungsrahmen für das Forschungsvorhaben dienen mehrere Leitideen der BNE, die im Folgenden aufgeführt werden: Grundsätzlich sollte Wissen über relevante Konzepte sowie Handlungsmöglichkeiten Lernenden vermittelt werden, damit sie aktiv an einer nachhaltigen Entwicklung teilnehmen können (BMBF, 2013; Zowada, Niebert & Eilks, 2019). BNE wird folglich vorrangig aus emanzipatorischer Perspektive betrachtet, d.h. sie wird als Bildung verstanden, bei der Lernen *als* nachhaltige Entwicklung stattfindet (Rieckmann, 2021). International wird das übergreifende Ziel einer BNE anhand von acht Schlüsselkompetenzen konkretisiert, u.a. die vorausschauende Kompetenz, normative Kompetenz und Selbstreflexionskompetenz (Rieckmann, 2018). Darunter wird auch die systemische Kompetenz angeführt. Sie wird von Rieckmann wie folgt charakterisiert: „[...] the ability to recognize and understand relationships, to analyse complex systems, to perceive the ways in which systems are embedded within different domains and different scales, and to deal with uncertainty“ (Rieckmann, 2018, S. 44).

### **Systemisches Denken im Fach Chemie**

In unserer Forschungsgruppe wird das Potenzial von Systems Thinking im Fach Chemie darin gesehen, dass es die Möglichkeit bietet, reduktionistische Ansätze des Chemie-Lernens zu erweitern, um so ein holistisches Verständnis dafür zu schaffen, wie chemiebezogenes Wissen mit den komplexen Systemen in unserer Welt zusammenhängt (Aubrecht et al., 2019; Constable, Jiménez-González & Matlin, 2019). Auf diese Weise schafft Systems Thinking einen Zugang zu BNE (Rieß, 2013). Zum Konzept Systems Thinking gibt es verschiedene Auslegungen (Arnold & Wade, 2015), darunter die postulierten sieben Systems Thinking-Fähigkeiten von Richmond (1993) und das evidenzbasierte hierarchische Systems Thinking-Modell von Assaraf und Orion (2005). Das eigene Forschungsvorhaben hat eine andere Schwerpunktsetzung: es favorisiert die Prozessperspektive vor der Output-Perspektive. Wir wollen, basierend auf den bereits formulierten Systems Thinking-Fähigkeiten, untersuchen, welche Prozesse und Ressourcen Lernende nutzen, wenn sie sich mit Systemen mit Chemiebezug auseinandersetzen. Auf diese Weise versuchen wir zu verstehen, wie Lernende bei Systems Thinking vorgehen und auf welche Hindernisse sie dabei treffen, um auf dieser Grundlage Lehr-Lern-Umgebungen zu entwickeln, die Systems Thinking fördern können.

### **Forschungsfragen**

In unserem Forschungsvorhaben verfolgen wir das Ziel, ein Verständnis von Systems Thinking Lehramtsstudierender im Fach Chemie im Rahmen von BNE zu entwickeln. Unsere Untersuchung konzentriert sich auf die Beantwortung folgender Forschungsfragen:

- Wie gehen die Lehramtsstudierenden mit den Informationen in einem System um?
- Welchen Einfluss haben Performanzfaktoren wie Visualisierungen und Lernaufgaben?

### **Methodisches Vorgehen**

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen wurde im Frühjahr 2023 eine Interviewstudie mit Lehramtsstudierenden ( $N = 25$ ) an der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt. In Think-Aloud-Interviews setzten sich die Teilnehmenden mit dem komplexen System der Lithiumgewinnung in der Atacama Salzwüste in Chile auseinander. Sie bearbeiteten drei Aufgaben mit Systems-Oriented Concept Map Extension (SOCME). Diese Visualisierung wird genutzt, um das Systems Thinking von Lernenden zu unterstützen und nach Möglichkeit den Cognitive Load, der während des Umgangs mit komplexen Systemen auftreten kann, zu reduzieren. SOCME erleichtern die Erforschung der Gesamtauswirkungen komplexer Systeme, indem sie die Betrachtung von Teilsystemen fördern (Aubrecht et al., 2019). Die im Interview verwendete SOCME (s. Abb. 1) wurde eigens in Anlehnung an Mahaffy et al. (2019) erstellt. Das dargestellte System *Lithium als Rohstoff* basiert auf Meadows' (2019) Systembegriff und umfasst folgende vernetzte Subsysteme, die wie folgt betitelt wurden: Salzsee in der Atacama-Salzwüste, Lithiumgewinnung, natürliche Einflüsse auf Gewinnung und Aufbereitung, Umwelt, Gesellschaft, Wirtschaft und industrielle Verwendung. Bei der Auswahl der Subsysteme wurde darauf geachtet, dass die Nachhaltigkeitsdimensionen nach Pufé (2017) enthalten sind, um mehrperspektivische Analysen zu ermöglichen. Zudem bietet diese Auswahl Anbindungsmöglichkeiten an das Thema kritische Metalle, an dem die Interdependenz der ökologischen, ökonomischen und sozialen Perspektiven festgemacht

werden kann (Prechtl, Ibraj & Legscha, im Druck). Die Struktur des Think-Aloud-Interviews, mit den drei Phasen Rekonstruktion, Konstruktion und Reflexion, ist in Abbildung 1 dargelegt.

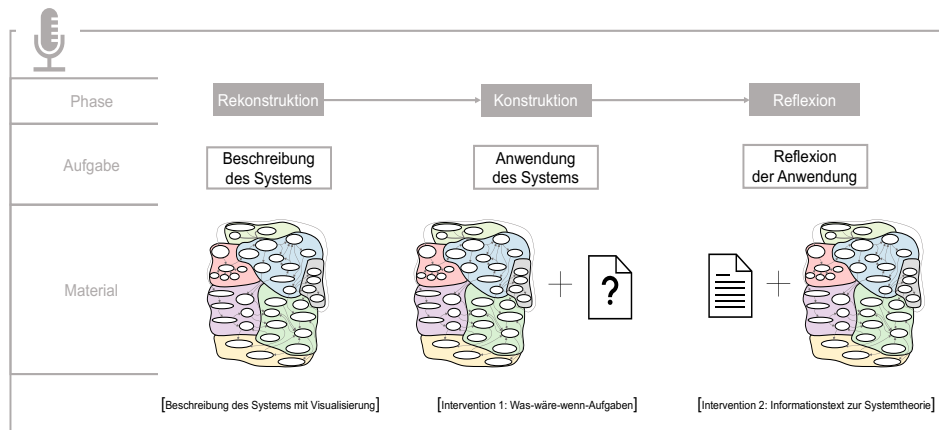


Abb. 1. Struktur des Think-Aloud-Interviews.

Aufgabe 1 beinhaltet die Rekonstruktion und besteht aus zwei Teilaufgaben. Die Teilnehmenden bekommen zunächst das SOCME vorgelegt. In Teilaufgabe 1a beschreiben sie das vorliegende System. Dadurch erhalten sie die Möglichkeit, sich mit dem System vertraut zu machen und ihr Vorwissen zu aktivieren. Damit wird zunächst eine Reproduktion der Systemkomponenten intendiert. In der Teilaufgabe 1b analysieren die Teilnehmenden das System, wobei die Analyse der Verbindungen einzelner Komponenten im Mittelpunkt steht. Aufgabe 2 umfasst die Konstruktion und beinhaltet die erste Intervention in Form von Systemänderungen. Die Teilnehmenden bearbeiten zwei Teilaufgaben, die als Was-wäre-wenn-Aufgaben formuliert sind. Es wird eine Änderung am System vorgenommen, indem jeweils eine Systemkomponente verstärkt oder abgeschwächt wird; üblicherweise vermittelt durch Fragestellungen, wie z.B. „Was wäre, wenn es in einem Jahr in der Wüste häufiger regnen würde als normalerweise?“. Dabei gibt es jeweils eine Aufgabe mit und ohne Chemiebezug. Die Teilnehmenden sollen daran die Auswirkungen auf das System erklären. In dieser Phase wird vonseiten der interviewenden Person der Fokus auf das Systemverhalten gelenkt, um, rekurrend auf Meadows (2019), aufzeigen zu können, *wie* die Teilnehmenden über Systeme nachdenken.

Aufgabe 3 ist der Reflexion gewidmet. In der Teilaufgabe 3a erhalten die Teilnehmenden einen Informationstext zur Systemtheorie, der es ihnen ermöglicht, das vorliegende System auf der Metaebene zu betrachten. Anschließend haben sie die Gelegenheit, ihre Antworten aus Teilaufgabe 2b zu reflektieren und ggf. zu verändern oder zu erweitern. Denn daran lässt sich beobachten, ob sich die Äußerungen der Teilnehmenden in qualitativer oder quantitativer Weise verändert haben.

### Fazit und Ausblick

Der Beitrag hebt sowohl die Potenziale von Systems Thinking als Zugang zu BNE als auch die damit verbundenen Herausforderungen hervor und beschreibt eine Methode zur Erschließung des Forschungsfeldes. In der weiteren Umsetzung des Vorhabens streben wir an, den Umgang Lehramtsstudierender mit Systemen differenziert zu charakterisieren.

## Literatur

- Arnold, R. D. & Wade, J. P. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669–678. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>
- 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-positions-papier-2015plus\\_deutsch.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bne-portal.de/bne/shareddocs/downloads/files/bne-positions-papier-2015plus_deutsch.pdf?__blob=publicationFile)
- Constable, D. J. C., Jiménez-González, C. & Matlin, S. A. (2019). Navigating Complexity Using Systems Thinking in Chemistry, with Implications for Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2689–2699. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00368>
- Fanta, D., Bräutigam, J., Greiff, S. & Rieß, W. (2017). Entwicklung und Validierung eines Messinstrumentes zur Erfassung von systemischem Denken bei Lehramtsstudierenden in ökologischen Kontexten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23(1), 241–259.
- Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Holme, T. A. & MacKellar, J. (2019). Systems thinking for education about the molecular basis of sustainability. *Nature Sustainability*, 2(5), 362–370. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0285-3>
- Meadows, D. H. (2019). *Die Grenzen des Denkens: Wie wir sie mit System erkennen und überwinden können*. Bibliothek der Nachhaltigkeit. oekom verlag.
- Orgill, M., York, S. & MacKellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2720–2729.
- Ossimitz, G. (2000). *Entwicklung systemischen Denkens: Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen*. Zugl.: Klagenfurt, Univ., Habil.-Schr., 2000. Klagenfurter Beiträge zur Didaktik der Mathematik: Bd. 1. Profil.
- Prechtl, M., Ibraj, K., Legscha, Y.L. (im Druck). Nachhaltigkeit frühzeitig im Spiralcurriculum des Chemieunterrichts verankern.: Ein Appell für die Stärkung des Kontextes kritische Metalle. *MNU-Journal*.
- Pufé, I. (2017). *Nachhaltigkeit (3., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. utb Wirtschaftswissenschaften, Sozialwissenschaften: Bd. 8705. UVK Verlagsgesellschaft mbH mit UVK/Lucius.
- Richardson, K., et al. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- 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. (2018). Learning to transform the world: key competencies in Education for Sustainable Development. In L. Alexander (Hrsg.), *Issues and trends in education for sustainable development*. UNESCO.
- 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>
- Rieß, W. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung des systemischen Denkens. *ANLIEGEN NATUR*, 35, 55–64.
- Szozda, A. R., Bruyere, K., Lee, H., Mahaffy, P. G. & Flynn, A. B. (2022). Investigating Educators’ Perspectives toward Systems Thinking in Chemistry Education from International Contexts. *Journal of Chemical Education*, 99(7), 2474–2483. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00138>
- Zowada, C., Niebert, K. & Eilks, I. (2019). Wenn nicht jetzt, wann dann? Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Unterricht Chemie*, 30(172), 2–9.