

## Wie Studierende komplexe Systeme rezipieren – eine qualitative Analyse

### Ausgangslage

Umweltverschmutzung, Rohstoffknappheit und Klimawandel sind zentrale globale Herausforderungen, die eine nachhaltige Entwicklung erfordern (Richardson et al., 2023). Sie lassen sich als *Socioscientific Issues* beschreiben, da sie Ergebnisoffenheit und Mehrperspektivität kennzeichnet, wodurch differenzierte Lösungsansätze erforderlich werden (Sadler & Zeidler, 2005). Im Rahmen der oben genannten Socioscientific Issues können die Dimensionen gesellschaftlicher, ökonomischer, ökologischer und chemischer Natur sein. Diese existieren jedoch nicht isoliert nebeneinander, sondern beeinflussen sich gegenseitig und bilden somit ein komplexes System (Mahaffy, Matlin, Holme & MacKellar, 2019). Im Zuge einer BNE ist es daher notwendig, Lernende dazu zu befähigen, diese komplexen Systeme verstehen und analysieren zu können. Systems Thinking bietet hierfür einen geeigneten Ansatz (Mahaffy, Matlin, Whalen & Holme, 2019; Rieckmann, 2018; Rieß, 2013). Während dieser in der Biologie- und der Geografiedidaktik bereits etabliert ist, gewinnt er in der Chemiedidaktik erst langsam an Relevanz (Orgill et al., 2019). Nach Talanquer wird das Verständnis komplexer Systeme, etwa von Reaktionsmechanismen, bereits in der Chemie genutzt (Talanquer, 2019). Jedoch ermöglicht Systems Thinking zusätzlich chemisches Fachwissen mit Nachhaltigkeitsdimensionen zu verknüpfen, wodurch komplexe Zusammenhänge in Socioscientific Issues für Lernende zugänglicher werden (Mahaffy, Matlin, Whalen & Holme, 2019; Orgill et al., 2019; Talanquer, 2019). Systems Thinking muss explizit gelehrt werden, weshalb Lehrkräften eine tragende Rolle bei der Vermittlung zukommt (Ossimitz, 2000). Eine aktuelle Studie von Szozda et al. zeigt jedoch, dass fehlende Kenntnisse seitens der Lehrkräfte vorrangig eine Herausforderung bei der Vermittlung von Systems Thinking darstellen (Szozda et al., 2022).

Unser Ziel ist es, Systems Thinking bei Lehramtsstudierenden zu diagnostizieren, um analysieren zu können, wie dieses angewendet wird. Dies soll als Grundlage dienen, gezielte Handreichungen zu entwickeln, die Lehrkräfte befähigen, Systems Thinking zukünftig eigenständig anzuwenden und zu vermitteln.

### Prozessorientierte Betrachtung von Systems Thinking

Aktuell gibt es weder in der Systemforschung noch in der Chemiedidaktik einen Konsens über die Definition von Systems Thinking (Arnold & Wade, 2015; Orgill et al., 2019). Ein Definitionsansatz wurde von Arnold und Wade auf Basis einer systematischen Literaturrecherche entwickelt. Systems Thinking wird als Ansammlung von Fähigkeiten definiert, die es ermöglicht, Systeme und ihr Verhalten zu erkennen, zu analysieren, zu verstehen und zu beeinflussen (Arnold & Wade, 2015). Der Systems Thinking-Ansatz lässt sich präziser durch die Betrachtung verschiedener theoretischer und empirisch belegter Fähigkeitslisten fassen. So entwickelten Assaraf und Orion im Bereich der Geowissenschaften ein hierarchisches Modell, das acht empirisch ermittelte Fähigkeiten des Systems Thinking

umfasst (Assaraf & Orion, 2005). Auch in der Chemiedidaktik wurden bereits entsprechende Fähigkeitslisten entwickelt (Gill & McCollum, 2024; Reynders et al., 2023). York und Orgill identifizierten in ihrer Arbeit, neben allgemeinen Charakteristika, spezifische Fähigkeiten des Systems Thinking, z.B. die Analyse von Beziehungen zwischen Systemelementen und die Betrachtung von Zusammenhängen auf verschiedenen Ebenen (York & Orgill, 2020). All diese Fähigkeitslisten sind outputorientiert. Einerseits vermitteln sie ein Verständnis davon, wie Systems Thinking letztlich aussehen sollte, andererseits werfen sie zugleich die Frage auf, wie diese angestrebten Fähigkeiten erreicht werden könnten. Mit unserem aktuellen Forschungsfokus zielen wir hingegen darauf ab, eine prozessorientierte Perspektive im Umgang mit Systemen zu entwickeln, um Einblicke in die Prozesse zu gewinnen, die Lehramtsstudierende im Umgang mit Systemen durchlaufen.

### **Forschungsfragen**

Die von Lehramtsstudierenden hergestellten Verknüpfungen zwischen den Konzepten eines komplexen Systems werden analysiert, damit die Auseinandersetzung mit dem System prozessorientiert betrachtet werden kann. Daraus ergeben sich die zwei Forschungsfragen:

- Wie organisieren Lehramtsstudierende Informationen in einem komplexen System?
- Wie erklären Lehramtsstudierende Verknüpfungen in einem komplexen System?

### **Ausgewählte Ergebnisse**

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde eine qualitative Interviewstudie mit Lehramtsstudierenden des Fachs Chemie ( $N=25$ ) durchgeführt. Innerhalb des Think-Aloud-Interviews bearbeiteten die Teilnehmenden drei Aufgaben mit Bezug zu dem System der Lithiumproduktion. Das zu bearbeitende System wurde in Form einer Systems-Oriented Concept Map Extension (SOCME) vorgegeben. Dabei wurde die Visualisierung eigens nach Mahaffy et al. erstellt (Mahaffy, Matlin, Whalen & Holme, 2019). Sie bedient sich Meadows Systembegriff (Meadows et al., 2019). Die drei Aufgaben leiten unterschiedliche Phasen im Umgang mit dem System ein: Die erste Aufgabe fokussierte die Systembeschreibung, die zweite die Systemanwendung, und die dritte Aufgabe zielte auf die Systemreflexion ab.

Die folgenden ausgewählten Teilergebnisse ( $n=10$ ) beziehen sich ausschließlich auf die Aufgabe 2a. Hier lautete die Aufgabenstellung: *Was wäre, wenn es in der Atacama Salzwüste mehr regnen würde als üblich? Welche Einflüsse hätte dies auf das System?*

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden charakteristische Muster der abgelaufenen Wege innerhalb des Systems rekonstruiert. Die Vergleiche untereinander zeigen, dass die Teilnehmenden die Informationen zur Erklärung des Systemverhaltens auf unterschiedliche Weise organisieren. Bisher konnten vier Muster identifiziert werden: Pfad, Sonne, Baum und Kreis. Die Begriffe zur Kategorisierung wurden eigens entwickelt. Das in Abbildung 1 dargestellte Organisationsmuster zeigt die Sonne. In diesem Muster springt die teilnehmende Person von dem Systemelement *Niederschlag*, das in der Aufgabe als Ausgangspunkt definiert ist, wiederholt zu diversen Schlussfolgerungen in unterschiedlichen Subsystemen. In Abbildung 1 sind die verschiedenen Subsysteme farblich markiert.

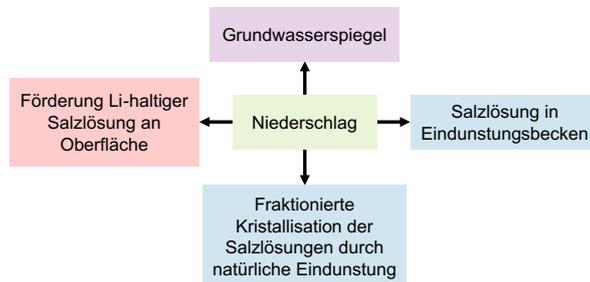


Abb. 1: Beispiel einer rekonstruierten Sonnen-Muster-artigen Organisation der Auseinandersetzung mit einem komplexen System.

Die teilnehmende Person springt direkt zu einer expliziten Schlussfolgerung, die unmittelbar aus der Veränderung des Systemelements *Niederschlag* resultiert. Daran wird deutlich, dass die Erklärungen des Systemverhaltens nicht auf kohärenten Wegen verlaufen.

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurde eine qualitative Inhaltsanalyse durchgeführt (Mayring, 2022). Anschließend wurde die Inhaltsanalyse durch eine Map Analysis nach Carley entlang der Parameter Kausalität und Häufigkeit erweitert (Carley, 1993). Der Fokus auf Kausalität erlaubt zu betrachten, wie Teilnehmende an die Komplexität der Verknüpfungen in einem System herangehen. Die sechs Kausalitäten (simpel, spiralförmig, domino, relational, zirkulär und gegenseitig) liefern einen nuancierten Interpretationsrahmen, der die Interaktion zwischen Cause und Effect anzeigt (Grotzer, 2012).

„Wenn es mehr regnet, haben wir hier mehr Salzwasser. Genau das bedeutet, der Süßwasserspiegel sinkt potenziell weiter; was noch mal mehr Auswirkungen auf Flora und Fauna hat und entsprechend auf den Zugang zu Wasser, was dann wieder - mit Privatisierung - zu Interessenskonflikten mit indigenen Völkern führen kann.“	Cause
	Effect
	Cause & Effect

Abb. 2: Zitat einer Erklärung, die eine Dominokausalität aufweist.

Die in Abbildung 2 zitierte Erklärung veranschaulicht eine *Dominokausalität*. Hierbei betrachtet die teilnehmende Person die Verknüpfungen zwar in linearer Abfolge, zeigt jedoch gleichzeitig ein Verständnis dafür, dass Ursachen (Causes) in Wirkungen (Effects) übergehen können, was zu einer differenzierten Prognose der Ergebnisse führt. Des Weiteren wird in diesem Beispiel eine sequenzielle Abfolge beschrieben, die aufzeigt, dass der Zeitaspekt in der Erklärung implizit mitbeachtet wird.

### Erste Implikationen

Die bis dato gesammelten Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Teilnehmenden den komplexen Systemen auf verschiedene Weise zuwenden, sowohl bei der Organisation der Informationen, als auch bei der Beschreibung der Verknüpfungen innerhalb eines Systems. Inwiefern dies vom Grad der Komplexität abhängt, wird Bestandteil weiterer Analysen sein.

## Literaturverzeichnis

- 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>
- Carley, K. (1993). Coding Choices for Textual Analysis: A Comparison of Content Analysis and Map Analysis. *Sociological Methodology*, 23, 75. <https://doi.org/10.2307/271007>
- Gill, T. & McCollum, B. (2024). Identifying, Rating, and Categorizing Elements of Systems Thinking in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 101(8), 2976–2988. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01070>
- Grotzer, T. A. (2012). *Learning causality in a complex world: Understandings of consequence*. Rowman & Littlefield Education a division of Rowman & Littlefield Publishers Inc.
- 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>
- Mahaffy, P. G., Matlin, S. A., Whalen, J. M. & Holme, T. A. (2019). Integrating the Molecular Basis of Sustainability into General Chemistry through Systems Thinking. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2730–2741. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00390>
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (13., überarbeitete Auflage). Beltz.
- Meadows, D. H., Randers, J. & Bardi, U. (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. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00169>
- 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.
- Reynders, M., Pilcher, L. A. & Potgieter, M. (2023). Teaching and Assessing Systems Thinking in First-Year Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 100(3), 1357–1365. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00891>
- Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., Bloh, W. von, Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., . . . Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science advances*, 9(37), eadh2458. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>
- 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.
- Rieß, W. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) und Förderung des systemischen Denkens. *ANLIEGEN NATUR*, 35, 55–64.
- Sadler, T. D. & Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112–138. <https://doi.org/10.1002/tea.20042>
- 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>
- Talanquer, V. (2019). Some Insights into Assessing Chemical Systems Thinking. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2918–2925. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00218>
- York, S. & Orgill, M. (2020). ChEMIST Table: A Tool for Designing or Modifying Instruction for a Systems Thinking Approach in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 97(8), 2114–2129. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00382>