

Tobias Bier
Maike Sauer
Dirk Felzmann
Alexander Kauertz
Björn Risch
Sandra Nitz

Rheinland-Pfälzische Technische Universität
Kaiserslautern-Landau (RPTU in Landau)

System^{Think} – Systemdenken in den naturwissenschaftlichen Fächern

Ausgangslage

Aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen wie beispielsweise die Klimakrise oder globale Pandemien weisen systemische Eigenschaften auf (z.B. nicht-lineare Dynamiken). Die konstruktive Auseinandersetzung mit diesen komplexen und sich ständig verändernden Problematiken erfordert eine Herangehensweise, die über die im Bereich der MINT-Fächer inhärenten analytisch-reduktionistischen Betrachtungen hinausgeht. Vielmehr ist eine systemische Perspektive vonnöten, in der die dynamischen Interaktionen und Verbindungen zwischen den Komponenten eines Systems intensiv analysiert werden, um darauf aufbauend Modelle zu erstellen und Prognosen hinsichtlich der Entwicklung des Systems zu generieren (Bertalanffy, 1950; Dörner, 2017). Die systemische Perspektive auf naturwissenschaftliche Phänomene stellt eine gemeinsame Leitidee in den MINT-Fächern dar.

Stand der Forschung

Bisherige Arbeiten bezüglich des systemischen Denkens in den MINT-Fächern haben sich primär der Strukturierung und Förderung von eben diesem systemischen Denken gewidmet (Brockmüller, 2019; Fraune, 2014; Mambrey, Timm, Landskron & Schmiemann, 2020; Mehren, Rempfler, Ulrich-Riedhammer, Buchholz & Hartig, 2016; Rieß & Mischo, 2008). In diesem Zusammenhang konnte bereits in empirischen Studien belegt werden, dass die Kompetenz des systemischen Denkens bei Lernenden im Rahmen des MINT-Unterrichts generell gefördert werden kann (z.B. Fraune, 2014, S. 19; Streiling, Hörsch & Rieß, 2019). Trotz der klaren Bedeutsamkeit des systemischen Denkens für den MINT-Unterricht und der aktuell soliden Forschungslage hinsichtlich der Entwicklung von Kompetenzmodellen und Förderansätzen, zeigt der Blick auf die Unterrichtspraxis eine eher geringe Implementation des systemischen Denkens. Darüber hinaus zeigen sich für jene Implementation fachspezifische und durch die jeweilige Fachkultur geprägte Unterschiede auf (York, Lavi, Dori & Orgill, 2019). Obgleich die MINT-Fächer ein gemeinsames naturwissenschaftliches Verständnis von Systemen nach Bertalanffy (1950) teilen, adressiert jedes einzelne Fach zudem eine spezifische Perspektive auf Systeme und weist potenziell fachspezifische Herangehensweisen auf. Darüber hinaus ergibt sich für den MINT-Unterricht mit Blick auf die konstruktive Auseinandersetzung mit gesellschaftlichen Herausforderungen noch eine weitere Perspektive, die insbesondere im Kontext von Bewertungskompetenz relevant wird und naturwissenschaftliche sowie gesellschaftswissenschaftliche Perspektiven miteinander verknüpft. Es können somit potenziell fachspezifische Perspektiven von einer fächerübergreifend naturwissenschaftlichen Perspektive und einer allgemeinen domänenübergreifenden Perspektive unterschieden werden.

Forschungsinteresse

Das Projekt System^{Think} verfolgt das Forschungsinteresse, verschiedene Systemperspektiven in der Biologie, Chemie, Geographie und Physik auszudifferenzieren. Dazu wird der Forschungsfrage nachgegangen, welches Systemverständnis sich in den Unterrichtsfächern und Fachdidaktiken der vier Fächer finden lässt (FF1). Im Fokus des Beitrags steht die Frage, welches Systemverständnis in den jeweiligen, fachwissenschaftlichen Bezugswissenschaften vorliegen (FF2). Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden die verschiedenen Systemperspektiven in den Fächern auf der Basis verschiedener Datenquellen rekonstruiert. Dazu kommen die Methoden Vergleichende Literaturanalyse, Leitfadengestützte Interviews und qualitative Inhaltsanalyse zum Einsatz. Einen Überblick zum methodischen Vorgehen gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht über das methodische Vorgehen der Studie

Methoden	Fachwissenschaftliche Perspektive	Fachdidaktische und schulische Perspektive
Vergleichende Literaturanalyse	Vergleich von Texten aus Fachlexika sowie Fachlehrbüchern	Vergleich von Kompetenzmodellen, curricularen Dokumenten & veröffentlichten Unterrichtskonzepten zum Systemdenken
Leitfadengestützte Interviews	2 Wissenschaftler:innen pro Fach	2 Lehrkräfte pro Fach
Qualitative Inhaltsanalyse	Analyse fachlicher Perspektiven, Systematisierung der fachlichen Konzepte	Analyse von (unterrichts-) fachlichen Perspektiven, Fähigkeitsanforderungen an Lernenden

Kategoriensystem zu Systemperspektiven

Datenerhebung und Stichprobe

Zur Generierung der Daten in Bezug auf Forschungsfrage 2 wurden mit zehn Expert:innen leitfadengestützte Interviews durchgeführt. Die Stichprobe setzt sich dabei aus jeweils zwei Wissenschaftler:innen aus den Bereichen Umweltphysik, physische Geographie, Boden- und Wasserchemie sowie molekulare Ökologie und Ökotoxikologie (Biologie) zusammen. Zudem zeichnet sich die Gruppe der Interviewten dadurch aus, dass sie innerhalb eines DFG-Graduiertenkollegs (SystemLink) interdisziplinär zusammenarbeitet. Zur Exploration der fachspezifischen Perspektiven wurden die gewonnenen Daten im Anschluss mittels inhaltlich strukturierender, qualitativer Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2016) ausgewertet.

Ergebnisse

Mit Blick auf die fachwissenschaftlichen Systemperspektiven in der Biologie, Chemie, Geographie und Physik zeigt sich in den Interviews mit den Fachwissenschaftler:innen, dass der Systembegriff für alle Themenbereiche als relevant angesehen, jedoch zumeist nur implizit verwendet wird. Die Fachexpert:innen verstehen Systeme als Zusammensetzungen aus mehreren Elementen, die in Abhängigkeiten zueinanderstehen. Die Aufgabe der Fachwissenschaften wird im Aufdecken dieser Zusammenhänge gesehen. Die vier untersuchten Fachperspektiven auf Systeme zeigen jedoch auch Unterschiede: Die interviewten Geograph:innen und Biolog:innen definieren Systemgrenzen auf Basis einer Fragestellung. Zusammenhänge zwischen System und Umgebung werden jedoch nicht fokussiert. Die interviewten Biolog:innen ziehen die Systemgrenzen an anderen Positionen als in den benachbarten Fachwissenschaften.

Die interviewten Physiker:innen definieren Systeme zunächst thermodynamisch. Beim Modellieren von Umweltsystemen müsse diese Definition jedoch erweitert werden. Die Systemgrenzen werden auf Basis einer Fragestellung definiert und stark fokussiert, um Wechselwirkungen mit der Umgebung quantifizieren zu können. Auch die interviewten Chemiker:innen definieren Systeme thermodynamisch. Da diese Definition für Feldstudien und Laborversuche nicht umfassend genug ist bzw. eingeschränkte Relevanz hat, findet die Klassifizierung von Systemen nach thermodynamischen Kriterien in der Praxis nicht statt. Tabelle 2 zeigt exemplarische Ergebnisse aus der qualitativen Datenauswertung.

Tabelle 2: Synopse zu ausgewählten, zentralen Ergebnissen

Kriterium	Physik	Chemie	Biologie	Geographie
Teilsysteme	Hierarchische Teilsysteme; Parallele Teilsysteme	Hierarchische Teilsysteme	Fokus auf Hierarchie; Parallele Teilsysteme	Hierarchische Teilsysteme; Parallele Teilsysteme
Systemgrenze	Natürliche Systeme sind generell grenzenlos. Grenzen werden künstlich durch Forschungsfragen gesetzt.	Natürliche Systeme sind generell grenzenlos. Grenzen werden künstlich durch Forschungsfragen gesetzt.	Natürliche Systeme können natürliche Grenzen aufweisen. Grenzen werden künstlich durch Forschungsfragen gesetzt.	Natürliche Systeme können natürliche Grenzen aufweisen oder grenzenlos sein. Grenzen werden künstlich durch Forschungsfragen gesetzt.
Systemerhaltung	Fokus auf Energieerhaltung	Energieerhaltung und Gleichgewichte	Selbstregulation im Fokus	Selbstregulation und entsprechende Regulatoren
Systementwicklung	Prognosen als Herausforderung; Nicht-Linearität	Nicht-Linearität	Prognosen als Herausforderung; Nicht-Linearität	Historie des Systems; Prognosen als Herausforderung; Nicht-Linearität
Funktion	Betonung des fragilen Charakters von Systemen	Betonung des fragilen Charakters von Systemen	Betonung des fragilen Charakters von Systemen	Die Elemente im System können Funktionen wegfallender Elemente übernehmen.

Ausblick

Ableitend aus der Rekonstruktion der unterschiedlichen Systemperspektiven wird im weiteren Projektverlauf ein Curriculum zum Systemischen Denken für die Oberstufe erstellt. Die dort beschriebenen fachspezifischen Kompetenzen werden in Testaufgaben überführt und empirisch überprüft. Auf Basis der empirischen Erkenntnisse und des Curriculums werden MINT-Lerneinheiten zum Systemdenken konzipiert. Für das entstandene MINT-Bildungskonzept wird der Einfluss der verschiedenen Systemperspektiven auf die Qualität der Aufgabenlösungen sowie auf die Interaktion mit affektiv-motivationale Lernervariablen untersucht.

Literatur

- Bertalanffy, L. von. (1950). An outline of general system theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1(2), 134–165.
- Brockmüller, S. (2019). Erfassung und Entwicklung von Systemkompetenz - Empirische Befunde zu Kompetenzstruktur und Förderbarkeit durch den Einsatz analoger und digitaler Modelle im Kontext raumwirksamer Mensch-Umwelt-Beziehungen. Dissertation. PH Heidelberg, Heidelberg.
- Dörner, D. (2017). Die Logik des Misslingens. *Strategisches Denken in komplexen Situationen* (14. Auflage). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Fraune, K. (2014). Modeling system thinking – assessment, structure validation and development. Dissertation. CAU Kiel, Kiel. 28.05.2021.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. 3. überarbeitete Auflage. Weinheim: Beltz Juventa.
- Mambrey, S., Timm, J., Landskron, J. J. & Schmiemann, P. (2020). The impact of system specifics on systems thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(10), 1632–1651.
- Mehren, R., Rempfler, A., Ulrich-Riedhammer, E.-M., Buchholz, J. & Hartig, J. (2016). Systemkompetenz im Geographieunterricht. *ZfdN*, 22(1), 147–163.
- Rieß, W. & Mischo, C. (2008). Entwicklung und erste Validierung eines Fragebogens zur Erfassung des systemischen Denkens in nachhaltigkeitsrelevanten Kontexten. In I. Bormann & G. de Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung* (S. 215–232). Wiesbaden: VS
- Streiling, S., Hörsch, C. & Rieß, W. (2019). Entwicklung pädagogischer Professionalität zur Förderung systemischen Denkens durch Lehrerfortbildung. In T. Leuders, M. Nückles, S. Mikelskis-Seifert & K. Philipp (Hrsg.), *Pädagogische Professionalität in Mathematik und Naturwissenschaften* (S. 265–283). Wiesbaden: Springer, Fachmedien Wiesbaden.
- York, S., Lavi, R., Dori, Y. J. & Orgill, M. (2019). Applications of Systems Thinking in STEM Education. *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2742–2751.