

Eine vergleichende Strukturanalyse von System Thinking Frameworks

Einleitung

Globale Herausforderungen wie der Klimawandel und der Verlust der Biodiversität können als komplexe Systeme betrachtet werden. Um solche Systeme zu verstehen und darin verantwortungsvoll handeln zu können, reicht isoliertes Fachwissen nicht aus. In den Naturwissenschaftsdidaktiken wird daher System Thinking (ST) als wichtiger Teil naturwissenschaftlicher Grundbildung gefordert (Arnold & Wade, 2015; Mahaffy et al., 2019; Senge, 2006; York et al., 2019). ST beschreibt die Fähigkeiten und Kompetenzen, um Systeme als Ganze zu betrachten, Wechselwirkungen zwischen den Komponenten zu erkennen und unbeabsichtigte Folgen zu antizipieren (Assaraf & Orion, 2005; York & Orgill, 2020). ST kann als ein mentales Werkzeug gesehen werden, um emergente Phänomene zu verstehen und fundierte Entscheidungen zu treffen.

Das Unterrichtsfach Chemie bietet viele Anknüpfungspunkte, um ST zu fördern. Alltägliche Phänomene sowie die eingangs genannten Herausforderungen basieren (zumindest anteilmäßig) auf chemischen Konzepten, wie beispielsweise Stoffkreisläufe, chemische Reaktionen und Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Die steigende Relevanz von ST für den naturwissenschaftlichen Unterricht führte infolge zur Entwicklung vielfältiger Frameworks für ST. Diese Frameworks unterscheiden sich in ihren Zielen, theoretischen Grundlagen sowie der Beschreibung von Teilkompetenzen und werden im folgenden Kapitel detaillierter beschrieben.

Theoretische Fundierung

ST ist eine Denkweise, um Phänomene als komplexe Systeme zu betrachten. Ein komplexes System wird nach der Allgemeinen Systemtheorie als eine Menge von Elementen definiert, die miteinander verbunden sind und sich gegenseitig beeinflussen (Von Bertalanffy, 1968). ST umfasst dabei sowohl die Analyse einzelner Systemkomponenten als auch die Betrachtung des Systems als Ganzes, einschließlich seiner Dynamiken und der Beziehungen zur Umwelt. Zurzeit gibt es verschiedene Frameworks, um ST zu definieren und zu operationalisieren. Das *hierarchische Modell* (Assaraf & Orion, 2005) beschreibt beispielsweise ST als eine Reihe kognitiver Fähigkeiten, die von der Identifikation von Systemkomponenten bis hin zum Verstehen dynamischer Veränderungen reichen. Andere Frameworks, wie die *System Characteristics* (Gilissen et al., 2020), beschreiben ST als Argumentationsprozess entlang zentraler Systemmerkmale, wie Rückkopplungen und Dynamik. Das *ChEMIST Framework* (York & Orgill, 2020) legt den Fokus auf die Balance zwischen analytischen und ganzheitlichen Denkprozessen und wurde speziell für den Chemieunterricht entwickelt. Diese Auswahl unterschiedlicher Frameworks zeigt, dass ST ein vielschichtiges Konstrukt ist, das je nach Kontext und Zielsetzung unterschiedlich definiert, interpretiert und operationalisiert werden kann. Um eine fundierte Grundlage für empirische Forschungs- und unterrichtspraktische Entwicklungsprojekte zu schaffen, ist es notwendig, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede verschiedener Frameworks zu analysieren und herauszuarbeiten.

Methodisches Vorgehen

Zur Gegenüberstellung der verschiedenen Frameworks wurde eine vergleichende Strukturanalyse (vgl. Heinitz et al., 2022; Praetorius & Charalambous, 2018) durchgeführt, welche eine systematische Analyse und den Vergleich zentraler Merkmale der Frameworks ermöglicht. Zunächst wurden durch eine Initialsuche 304 Artikel identifiziert. Diese Initialsuche weist keinen Vollständigkeitsanspruch auf, sondern sollte einen Überblick über häufig genutzte Frameworks in unterrichtspraktischen Publikationen geben. Nach der Sichtung durch zwei Personen hinsichtlich thematischer Passung und Doppelungen blieben 112 relevante Quellen übrig. Daraus wurden die vier am häufigsten genannten Frameworks extrahiert. Außerdem wurde die Auswahl von den Autor:innen durch ein weiteres Framework ergänzt (Tab. 1). Zu dem noch vergleichsweise neuen Framework liegt bislang nur wenig unterrichtspraktische Forschung vor, es erscheint jedoch aus Sicht der Autor:innen als ein vielversprechender Ansatz für den Chemieunterricht.

	Titel	Autor:innen	Kontext
A	Hierarchical Model	Assaraf & Orion, 2005	Earth Science
B	ChEMIST-Table	York & Orgill, 2020	Chemistry Education
C	CMP representation	Hmelo-Silver et al., 2017	Ecosystems
D	System Characteristics	Gilissen et al., 2020	Biology Education
E*	Novice-Expert Continuum of Systems Thinking Skills in Chemistry	Tümay, 2023	Chemistry Education

Tab. 1: Überblick der analysierten Frameworks; *durch Autor:innen ergänzt

Die Analyse der Frameworks erfolgte in zwei Phasen. In der ersten Phase wurden die Frameworks entlang dreier Leitfragen analysiert, nämlich

- Mit welchen Zielen wurde das Framework entwickelt?
- Auf welcher Systemtheorie basiert das Framework?
- Wie wird ST in dem jeweiligen Framework operationalisiert?

Nach der Beschreibung wurde Framework C aufgrund fehlender expliziter Merkmale für ST verworfen, sodass vier Frameworks in der zweiten Phase vertiefend betrachtet wurden. In der zweiten Phase lag der Fokus auf dem Vergleich der zentralen Merkmale der Frameworks. Die Merkmale wurden systematisch miteinander abgeglichen, indem die Merkmale eines Referenzframeworks jeweils in den anderen Frameworks zugeordnet und anschließend qualitativ analysiert wurden (Kuckartz & Rädiker, 2022). Die qualitative Analyse der Frameworks erfolgte durch eine Kombination aus induktiver und deduktiver Kategorienbildung. Ein Schwerpunkt lag auf der Codierung von Expertiseniveaus, um zu analysieren, wie die Frameworks unterschiedliche Niveaus von ST beschreiben. Zudem wurde untersucht, wie die Frameworks analytische und holistische Denkprozesse gewichten. Auf Basis dieser Analysen wurden für jedes Framework Profile erstellt, welche die Schwerpunkte der Frameworks widerspiegeln.

Ergebnisse aus Phase 1

Hinsichtlich der Zielsetzung konnte festgestellt werden, dass das Framework A auf die Förderung von Umweltkompetenz abzielt, während bei Framework B der Fokus auf der Unterstützung von Lehrpersonen bei der Unterrichtsplanung liegt. Auch die theoretischen Grundlagen variieren: Frameworks A und E basieren hauptsächlich auf der Allgemeinen Systemtheorie, während Frameworks B und C die Dynamische Systemtheorie in den Vordergrund stellen. Die Operationalisierung reicht von hierarchischen Modellen (Framework A) bis hin zu checklistenbasierten Ansätzen (Framework B) oder der Beschreibung von Fähigkeiten entlang eines Kontinuums (Framework E).

Ergebnisse aus Phase 2

Phase 2 hat gezeigt, dass alle Frameworks einen hohen Anteil an Merkmalen aufweisen, die vorwiegend Expert:innen zuzuschreiben sind. Der Anteil reicht von 55 % bei Framework A bis zu 77 % bei Framework D. Dies zeigt, dass die Frameworks überwiegend auf fortgeschrittene Denkprozesse abzielen. Die Verteilung von analytischen und holistischen Merkmalen variiert zwischen den Frameworks. Framework A weist den geringsten Anteil an holistischen Merkmalen auf (11 %), während beispielsweise Framework E ein ausgewogenes Verhältnis mit 54 % mittlerer Merkmale (zwischen analytisch und holistisch) aufweist. Dies deutet darauf hin, dass die Frameworks unterschiedliche Schwerpunkte in der Förderung von ST setzen. Die induktive Kategorienbildung führte zu vier zentralen Kategorien, die in allen Frameworks vertreten sind, nämlich: Structural Understanding of Systems, Dynamic Understanding of Systems, Metacognition und Modelling. Der Großteil der Merkmale in allen Frameworks fällt in die Kategorie „Dynamic Understanding of Systems“. Framework E weist im Vergleich zu den anderen Frameworks einen etwas höheren Anteil an Merkmalen in der Kategorie „Modelling“ auf, während Framework A einen relativ hohen Anteil an Merkmalen in der Kategorie „Structural Understanding of Systems“ zeigen. Eine detaillierte Erläuterung der Ergebnisse ist in Vorbereitung.

Diskussion

Die vergleichende Strukturanalyse zeigt, dass die untersuchten Frameworks unterschiedliche Schwerpunkte setzen, die je nach Zielsetzung variieren. So eignet sich Framework A besonders für Kontexte, in denen das strukturelle Verstehen von Systemen im Vordergrund steht, während Framework E stärker auf Modellierungsaspekte fokussiert ist. Während Frameworks A und D stärker analytisch ausgerichtet sind, betonen Frameworks B und E eine ausgewogenere Mischung.

Die Wahl eines Frameworks für unterrichtspraktische Forschung sollte daher immer in Abhängigkeit von den Zielen und Inhalten der theoretisch fundierten Planung bzw. Analyse von Unterrichtsmaterialien und Lerngelegenheiten erfolgen. Es ist wichtig, bei der Unterrichtsplanung zu überlegen, welche Aspekte relevant sind, um ein konkretes System zu verstehen. Diese Überlegungen sollten mit Kompetenzmodellen und Lehrplänen abgeglichen werden, um ein Framework auszuwählen, das sowohl den curricularen Vorgaben als auch den Anforderungen des jeweiligen Systems entspricht. Abschließend zeigt die Analyse, dass es kein universell passendes Framework für ST gibt – und möglicherweise gar nicht geben kann oder muss. Vielmehr hängt die Eignung eines Frameworks davon ab, welche Aspekte von ST im jeweiligen Kontext betont werden sollen. Diese Erkenntnisse sind für weitere Forschungsbemühen zu ST insofern relevant, als sie auf die Notwendigkeit hinweisen, Frameworks für unterschiedliche Kontexte flexibel anzupassen.

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. & 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>
- Gilissen, M. G. R., Knippels, Marie-Christine P.J., Verhoeff, Roald P. & van Joolingen, W. R. (2020). Teachers' and educators' perspectives on systems thinking and its implementation in Dutch biology education. *Journal of Biological Education*, 54(5), 485–496. <https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1609564>
- Heinitz, B., Szogs, M., Förtsch, C., Korneck, F., Neuhaus, B. J. & Nehring, A. (2022). Unterrichtsqualität in den Naturwissenschaften. Eine vergleichende Gegenüberstellung von Ansätzen zwischen Fachspezifik und Generik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s40573-022-00146-5>
- Hmelo-Silver, C., Jordan, R., Eberbach, C. & Sinha, S. (2017). Systems learning with a conceptual representation: A quasi-experimental study. *Instructional Science*, 45. <https://doi.org/10.1007/s11251-016-9392-y>
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. <https://content-select-com.uaccess.univie.ac.at/de/portal/media/view/5e623532-20b8-4f33-b19e-4a1db0dd2d03?forceauth=1>
- Mahaffy, P. G., Ho, F. M., Haack, J. A. & Brush, E. J. (2019). Can chemistry be a central science without systems thinking? *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2679–2681. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00991>
- Praetorius, A.-K. & Charalambous, C. Y. (2018). Classroom observation frameworks for studying instructional quality: Looking back and looking forward. *ZDM*, 50(3), 535–553. <https://doi.org/10.1007/s11858-018-0946-0>
- Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization* (Rev. and updated). Doubleday/Currency.
- Tümay, H. (2023). Systems thinking in chemistry and chemical education: A framework for meaningful conceptual learning and competence in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 100(10), Article 10. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00474>
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General system theory: Essays on its foundation and development* (rev. ed). George Braziller. https://monoskop.org/images/7/77/Von_Bertalanffy_Ludwig_General_System_Theory_1968.pdf
- 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. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00261>
- 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>