

## **Lernen über Simulationen – das Modellverständnis von Simulationen bei Lehramtsstudierenden der Chemie**

### **Ausgangslage und Zielformulierung**

Computerbasierte Simulationen geben Antworten auf die drängenden Fragen unserer Zeit. So wurden Mobilitätssimulationen genutzt, um den Einfluss verschiedener Maßnahmen zum Umgang mit der Covid-19-Pandemie zu ermitteln (Pesavento et al., 2020). Klimasimulationen werden zur Betrachtung der Ursachen und Folgen des menschengemachten Klimawandels verwendet (Frigg, Thompson & Werndl, 2015). Mit Ergebnissen dieser Simulationen werden handlungsrelevante Maßnahmen abgeleitet (Gilbert et al. 2018). Aus einer *scientific literacy*-Perspektive ist es daher wichtig, Lernende der Naturwissenschaften in ihrem Verständnis von Simulationen und ihrer Funktionsweise auszubilden, um ihnen die mündige Teilhabe an zukunftsweisenden, gesellschaftsrelevanten Debatten zu ermöglichen (Seoane, Greca & Arriasecq, 2022). Darüber hinaus spielt die Nutzung von Simulationen zum Verständnis komplexer Systeme (Orgill, York & MacKellar, 2019) in Form des simulationsbasierten Lernens (Landriscina, 2013) eine für den Chemieunterricht wichtige Rolle, um einen Zugang zur submikroskopischen Ebene (Johnstone 2002) zu schaffen und somit das Verständnis chemischer Phänomene zu verbessern (Schwedler & Kaldewey, 2019). Die beschriebene Relevanz von Simulationen im Bereich *science teaching* erfordert Forschung zum epistemologischen Verständnis von Simulationen; diese wurde bislang vernachlässigt (Seoane, Greca & Arriasecq, 2022). Ziel des Forschungsprojektes ist es, zunächst das epistemologische Modellverständnis von Lehramtsstudierenden der Chemie zu erheben, um davon ausgehend Interventionen für die universitäre Ausbildung der Studierenden zu entwickeln. Langfristig sollen die Studierenden befähigt werden, Naturwissenschaftsunterricht zu gestalten, der ihren Schüler\*innen naturwissenschaftlich mündiges Handeln durch eine epistemologisch angemessene Interpretation von Simulationen erlaubt (ebd.).

### **Theoretische Perspektive - Das Modellverständnis von Simulationen**

Simulationen werden in diesem Forschungsprojekt (in Anlehnung an u.a. Vallverdú, 2014) als eine Art von Modellen verstanden. Sie zeichnen sich durch ihre Dynamik, die im Hintergrund berechneten großen Datenmengen und ihre dadurch bedingte epistemische Undurchsichtigkeit aus (Grüne-Yanoff & Weirich, 2010). Damit haben sie eine distinkte Epistemologie (Winsberg, 2010), die aber auf den Grundlagen der Epistemologie von Modellen basiert. So gibt es einerseits Fragen, die spezifisch für Simulationen beantwortet werden müssen, weil erst die Simulationsbesonderheiten die Fragen motivieren. Beispielsweise stellt sich die Frage, inwiefern Simulationen als numerische Experimente verstanden werden können (z.B. Roush, 2018). Andererseits sind einige Überlegungen aus der Epistemologie von Modellen ebenso für Simulationen relevant. Dazu gehört beispielsweise die Frage, wie Modelle (bzw. Simulationen) überhaupt erklären können (Bokulich, 2011). Letztere sind eher als grundlegende, erstere als spezifische Fragen zur Epistemologie von Simulationen zu verstehen.

Vor diesem Hintergrund wird das Kompetenzmodell der Modellkompetenz (nachfolgend KMMK genannt) von Upmeyer zu Belzen & Krüger (2010) genutzt, um die Sichtweise von

Studierenden auf Simulationen basierend auf der Epistemologie von Modellen grundlegend zu charakterisieren. Das KMMK wurde (in Anlehnung an u.a. Grosslight et al., 1991) zur Erfassung der Modellkompetenz von Schüler\*innen im Biologieunterricht entwickelt. Seither wurde es in verschiedenen Studien und in verschiedenen Stichproben eingesetzt (vgl. u.a. Grünkorn et al., 2014; Krell & Krüger 2017) und inzwischen zu einem verstärkt modellierungsorientierten Ansatz erweitert (Krüger & Upmeier zu Belzen, 2021). Zunächst soll im vorgestellten Projekt lediglich das Wissen über und das Verständnis von Simulationen erfasst werden, weshalb nachfolgend nicht der Kompetenzbegriff, sondern die Formulierung „das Modellverständnis von Simulationen“ genutzt wird. Auf diese Weise werden gleichzeitig die theoretischen Ursprünge in der Epistemologie von Modellen betont. Da der Fokus des Vorhabens auf Wissen und Verstehen und nicht auf eigenen Modellentwicklungsprozessen der Studierenden liegt, wurde die jüngste Erweiterung des Kompetenzmodells auf die Modellierkompetenz und die einhergehende Ergänzung der Niveaustufen um das abduktive Schließen nicht übernommen. Nachfolgend ist eine um die konkreten Kategorienformulierungen gekürzte Fassung des KMMK, welches zur Beschreibung des Modellverständnisses von Simulationen angepasst wurde, dargestellt.

Tab. 1: Gekürzte Fassung der Anpassung des KMMK nach Upmeier zu Belzen & Krüger (2010) zur Beschreibung des Modellverständnisses von Simulationen.

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
<i>Kenntnisse über Simulationen</i>			
<b>Eigenschaften von Simulationen</b>	E1	E2	E3
<b>Alternative Simulationen</b>	A1	A2	A3
<i>Simulationsbildung</i>			
<b>Zweck von Simulationen</b>	Z1	Z2	Z3
<b>Testen von Simulationen</b>	T1	T2	T3
<b>Ändern von Simulationen</b>	Ä1	Ä2	Ä3

In der oben dargestellten Tabelle 1 ist das Modellverständnis von Simulationen in zwei Dimensionen eingeteilt, die jeweils in zwei respektive drei Unterkategorien unterteilt sind. Jede Kategorie ist zusätzlich in drei Niveaustufen dargestellt, die hier mit Kürzeln (z.B. Ä2) vereinfacht wurden. Dabei gibt das erste Niveau größtenteils die naive Vorstellung wieder, Simulationen seien möglichst nah am Ausgangssystem zu gestalten und würden hauptsächlich zur Beschreibung genutzt. Auf dem zweiten Niveau finden sich Vorstellungen, die zwar die Existenz von Idealisierungen in Simulationen akzeptieren, diese aber eher als notwendiges Übel verstehen und die Gestalt von Simulationen stark vom Ausgangssystem abhängig machen. Elaborierte Vorstellungen von Simulationen als „Simulationen für etwas“, die die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zur Erkenntnisgewinnung anerkennen, werden im dritten Niveau eingeordnet (angelehnt an Upmeier zu Belzen & Krüger 2010).

### **Forschungsfragen und -design**

Um Maßnahmen zur Förderung des Modellverständnisses von Simulationen für Lehramtsstudierende der Chemie zu entwickeln, ist zunächst eine Bestandsaufnahme ihrer Voraussetzungen nötig. Dazu wurde eine leitfadengestützte Interviewstudie durchgeführt, die in einen

*design-based-research*-Prozess (u.a. Wilhelm & Hopf, 2014) eingebunden und daher in mehreren Iterationszyklen aufgebaut ist. Vor dem Interview erstellen die Studierenden Concept Maps. Dies geschieht mit der App CMapTools und wird durch *concurrent think alouds* begleitet (van Someren, Barnard & Sandberg, 1994). Das anschließende problemzentrierte Interview selbst wird von den folgenden Forschungsfragen geleitet:

- (F1) Wie ist das Modellverständnis von Simulationen bei Lehramtsstudierenden im Master Chemie ausgeprägt?
- (F2) Inwiefern kann das Modellverständnis von Simulationen der Studierenden mit dem angepassten KMMK charakterisiert werden?
- (F3) Wodurch unterscheiden sich die Vorstellungen zu Simulationen von anderen Instrumenten der Erkenntnisgewinnung?

Eine erste Erhebung fand im WiSe 22/23 mit Teilnehmenden des Kurses zur Vorbereitung auf das Praxissemester (N=11) statt. Im SoSe 23 wurden Teilnehmende eines Masterseminars zur Förderung digitalisierungsbezogener Kompetenzen (N=6), das im Rahmen des universitätsweiten Projektes BiLinked entwickelt wurde, befragt. Dieses Seminar wird auch in den folgenden Semestern die Stichprobengrundlage sein. Die Datenauswertung erfolgt durch eine inhaltlich strukturierende und evaluative qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz und Rädiker (2022) mithilfe von MAXQDA. Grundlage der deduktiven Kategorienbildung ist das angepasste KMMK. Diese wird auf deduktiver Ebene durch epistemologische Besonderheiten von Simulationen und dann induktiv auf Basis des Interviewmaterials ergänzt.

### **Erste ausgewählte Ergebnisse**

Eine erste Analyse der Interviewdaten aus dem WiSe 22/23 mit Hilfe des angepassten KMMK im Hinblick auf F1 und F2 zeigt, dass die studentischen Äußerungen sich in allen Kategorien und dort auf allen Niveaustufen verorten lassen (vgl. Tab. 1). So finden sich vergleichsweise naive Vorstellungen, die der Wahrnehmung von Simulationen als Kopien des Ausgangssystems entsprechen. Andere Studierende zeigen ein elaboriertes Verständnis von Simulationen und verstehen diese als Simulationen *für* etwas. Auffällig ist dabei, dass einige Studierende über den Interviewverlauf hinweg Aussagen in der gleichen Dimension, aber mit verschiedenem Verständnisniveau treffen. Beispielsweise argumentieren einige Befragte für einen primär repräsentationalen Charakter von Simulationen, der zwar Idealisierungen erlaubt, aber dennoch ein hohes Maß an Nähe zum Ausgangssystem als Gütekriterium bedarf (E2). Gleichzeitig stellen sie fest, dass es multiple Simulationen geben könne, weil verschiedene Zielsetzungen und Fragestellungen an das Ausgangssystem über die Simulation zu verschiedenen Simulationen führen würden (A3). Diese beiden Ansichten, die einen repräsentationalen Charakter von Simulationen bei gleichzeitiger Nutzung als epistemologische Tools postulieren, sind als widersprüchlich zu bezeichnen (Rost et al., 2023). Diese widersprüchliche Ansicht zeigt sich auch in der Literatur zur Epistemologie von Modellen (Rost & Knuuttila, 2022).

### **Fazit und Ausblick**

Die Ergebnisse indizieren den Bedarf einer vertieften Analyse, die über das KMMK hinausgeht und individuelle Erklärungsansätze für die jeweilige Ausprägung der Verständnisdimensionen bietet. Zukünftig sollen zudem die Vorstellungen zum Verhältnis von Simulations- zu Realsystem evaluiert werden. Daneben wird eine Einordnung der Einzelfälle in Hinblick auf F3 durch den Einsatz des übersetzten und adaptierten SUMS-Instruments (Rost et al., 2023; Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2002) in allgemeine Vorstellungen zu Modellen erfolgen.

## Literatur

- Bokulich, A. (2011). How scientific models can explain. *Synthese*, 180 (1), 33–45.
- Frigg, R., Thompson, E. & Werndl, C. (2015). Philosophy of Climate Science Part II: Modelling Climate Change. *Philosophy Compass* 10 (12), 965 – 977.
- Gilbert, N., Ahrweiler, P., Barbrook-Johnson, P., Narasimhan, K. P. & Wilkinson, H. (2018). Computational Modelling of Public Policy: Reflections on Practice. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 21 (1), Artikel 14.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 799-822.
- Grüne-Yanoff, T. & Weirich, P. (2010). The Philosophy and Epistemology of Simulation: A Review. *Simulation & Gaming*, 41 (1), 20–50.
- Grünkorn, J., zu Belzen, A. U., & Krüger, D. (2014). Assessing students' understandings of biological models and their use in science to evaluate a theoretical framework. *International Journal of Science Education*, 36, 1651–1684.
- Johnstone, A. H. (2002). Teaching of chemistry-Logical or psychological? *Chem. Educ. Res.Pract.*, 1 (1), 9-15.
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (5., überarbeitete Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz Verlagsgruppe.
- Krell, M., & Krüger, D. (2017). University students' meta-modelling knowledge. *Research in Science & Technological Education*, 35, 261–273.
- Krüger, D. & Upmeyer zu Belzen, A. (2021). Kompetenzmodell der Modellierkompetenz – Die Rolle abduktiven Schließens beim Modellieren. *ZfDN*, 27 (1), 127–137
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and learning: A model-centered approach*. New York, Heidelberg: Springer.
- Orgill, M., York, S. & MacKellar, J. (2019). Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community. *Journal of Chemical Education*, 96 (12), 2720–2729.
- Pesavento, J. et al. (2020). Data-driven mobility models for COVID-19 simulation. *International Workshop on Advances in Resilient and Intelligent Cities*. URL: <https://dlnext.acm.org/doi/10.1145/3423455.3430305> [10.10.23].
- Rost, M. & Knuuttila, T. (2022). Models as Epistemic Artifacts for Scientific Reasoning in Science Education Research. *Education Sciences*, 12 (4), 276.
- Rost, M., Sonnenschein, I., Möller, S. & Lembens, A. (2023). Don't we know enough about models? Integrating a replication study into an introductory chemistry course in higher education. *Chem. Teacher International*.
- Schwedler, S. & Kaldewey, M. (2020). Linking the submicroscopic and symbolic level in physical chemistry: how voluntary simulation-based learning activities foster first-year university students' conceptual understanding. *Chem. Educ. Res. and Pract.*, 21 (4), 1132–1147.
- Seoane, M. E., Greca, I. M. & Arriasecq, I. (2022). Epistemological aspects of computational simulations and their approach through educational simulations in high school. *Simulation*, 98(2), 87–102.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24 (4), 357–368.
- Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. In *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 16, 41 – 57.
- Vallverdú, J. (2014). What are Simulations? An Epistemological Approach. *Procedia Technology*, 13, 6–15.
- Van Someren, M. Y., Barnard, Y. F. & Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method: a practical guide to modelling cognitive processes*. London: Academic Press.
- Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer, 31-42.
- Winsberg, E. B. (2010). *Science in the age of computer simulation*. Chicago, London: The Univ. of Chicago Pr.