

Lehramtsstudierende der Chemie und ihr Modellverständnis von Simulationen – eine epistemologische Perspektive

Ausgangslage und Zielformulierung

Simulationen spielen sowohl im Chemieunterricht als auch in Wissenschaft und Gesellschaft eine zunehmend bedeutende Rolle. Aus Sicht des Chemieunterrichts ist die Eigenschaft von Moleküldynamiksimulationen, einen Zugang zur submikroskopischen Ebene (Johnstone, 2002) zu bieten, interessant. Aus einer naturwissenschaftlich-gesellschaftlichen Sicht sind aktuelle Anwendungen z.B. in der Klimaforschung oder auch im Zusammenhang mit der Covid-19-Pandemie von Bedeutung. Diese beiden Sichtweisen sind jedoch nicht getrennt zu denken; ist es doch ein Charakteristikum naturwissenschaftlicher Simulationen, versteckte Eigenschaften komplexer Systeme zugänglich zu machen (Orgill, York & MacKellar, 2019), das auch gesellschaftsrelevante Simulationen auszeichnet. Des Weiteren ergeben sich übergreifende epistemologische Fragen nach der Reliabilität von Simulationsergebnissen (Durán & Formanek, 2018) oder Schwierigkeiten der epistemischen Undurchsichtigkeit durch die im Hintergrund ablaufenden komplexen Berechnungen (Humphreys, 2009). Diese sind sowohl aus einer *scientific literacy*-Perspektive als auch spezifisch für den Umgang mit Simulationen und ihren Ergebnissen im Chemieunterricht relevant. Vor diesem Hintergrund fordern Seoane, Greca & Arriasecq (2022), Simulationen nicht nur als Lehr-Lern-Gelegenheit in den Unterricht zu integrieren, sondern auch als Bestandteil naturwissenschaftlicher Praktiken aus einer epistemologischen Metaperspektive zu reflektieren. Damit dies gelingt, braucht es Gelegenheiten für Lehrkräfte, sich mit dem Einsatz von Simulationen in Unterricht und Wissenschaft auseinanderzusetzen. Zur bedarfsorientierten Gestaltung dieser Gelegenheiten sollten zunächst ihre Vorstellungen zu Simulationen erfasst werden, was bislang vernachlässigt wurde (ebd.). Ziel des Forschungsprojektes ist es daher, die Vorstellungen von Lehramtsstudierenden der Chemie zum Einsatz von Simulationen in ihrer epistemologischen Rolle zu analysieren und auf Grundlage modelltheoretischer Ansätze zu charakterisieren, um davon ausgehend universitäre Lerngelegenheiten zu entwickeln. Langfristig sollen die Studierenden in die Lage versetzt werden, den Unterricht in den Naturwissenschaften so zu gestalten, dass ihre Schüler*innen durch eine geeignete epistemologische Deutung von Simulationen zu einem reflektierten naturwissenschaftlichen Handeln befähigt werden (ebd.).

Die Epistemologie computerbasierter Simulationen

Simulationen sind allgegenwärtiger Bestandteil naturwissenschaftlicher Forschung und werden entsprechend auch wissenschaftsphilosophisch analysiert (Parker, 2020). Vor diesem Hintergrund bedient sich das dargestellte Forschungsprojekt einer wissenschaftsphilosophischen Perspektive und versteht Simulationen als ein „System, von dem geglaubt oder gehofft wird, dass es einem anderen System ähnlich genug ist, sodass das erstere untersucht werden kann, um etwas über das letztere zu lernen“ (eigene Übersetzung nach Winsberg, 2019). Da Simulationen auf Modellen basieren bzw. Eigenschaften mit ihnen teilen (u.a. Landriscina, 2013; Durán, 2020; Alvarado, 2023; Martin & Ariza, 2024), wird das Kompetenzmodell der Modellkompetenz nach Upmeyer zu Belzen & Krüger (2010; nachfolgend KMMK genannt) herangezogen, um die studentischen Vorstellungen von Simulationen auf modelltheoretischer

Grundlage zu analysieren und als Modellverständnis von Simulationen zu charakterisieren (Kirchhoff & Schwedler, 2024). Das bereits in unterschiedlichen Studien und mit verschiedenen Stichproben eingesetzte KMMK systematisiert fünf Inhaltsbereiche des Modellverständnisses in jeweils drei Niveaus. Dabei sind auf Niveau I Vorstellungen vertreten, die als naiv zu bezeichnen sind und primär allein auf Basis des Simulationssystems argumentieren. Auf Niveau II finden sich repräsentationale Sichtweisen, die Simulationen als Simulationen *von* etwas verstehen. Und auf Niveau III finden sich schließlich Vorstellungen, die Simulationen als Simulationen *für* etwas verstehen und daher als instrumental zu bezeichnen sind.

Neben der Nutzung von Gemeinsamkeiten zwischen Simulationen und Modellen sind es gerade die epistemologischen Besonderheiten computerbasierter Simulationen, die zur Charakterisierung der studentischen Vorstellungen von Bedeutung sind. Diese werden insbesondere auch in der Abgrenzung von Animationen und von Experimenten, die zum Teil ähnliche Aufgaben übernehmen, sich in relevanten Punkten aber dennoch unterscheiden, deutlich. **Animationen** werden im Unterricht zur Visualisierung dynamischer Zusammenhänge eingesetzt (Plass, Homer & Hayward, 2009). Diese Eigenschaft teilen sie mit Simulationen. Animationen basieren auf einer vorher festgelegten Abfolge von Bildern, was sie von Simulationen unterscheidet. Letztere ermöglichen durch die im Hintergrund ablaufenden computerchemischen Rechnungen die Gewinnung genuiner Erkenntnisse (Parker, 2020). **Experimente** sind die Basis naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (Bader & Lühken, 2018) und werden als aktives Eingreifen in ein zu beobachtendes System verstanden, wobei eine Einflussgröße verändert wird, um die Wirkung auf eine Effektgröße zu erfassen (Saam, 2007; Beisbart, 2018). Die sich in dieser Definition abzeichnende Ähnlichkeit zu Simulationen ist der Grund, weshalb die Beschreibung ihres epistemologischen Verhältnisses im Interesse der Wissenschaftsphilosophie liegt. Dabei teilen sich die Ansichten zur Frage, ob Simulationen und Experimente in ihrer Aussagekraft gleichzusetzen (u.a. Morrison, 2009; Winsberg, 2009; Parker, 2020) oder Simulationen Experimenten epistemologisch unterlegen (u.a. Guala, 2002; Arnold, 2013; Roush, 2018) sind.

Forschungsfragen und -design

Zur Erfassung der Vorstellungen und des Modellverständnisses von Simulationen bei Lehramtsstudierenden der Chemie, wurde in drei Semestern (WiSe 22/23 bis WiSe 23/24) eine problemzentrierte Interviewstudie durchgeführt (N=24). Dazu erstellten die Studierenden mit der App CMapTools zunächst *concept maps*, die durch *concurrent think alouds* begleitet wurden (van Someren, Barnard & Sandberg, 1994). Auf Grundlage dieser Maps folgte ein explizierendes Interview (Fischler et al., 2001) und anschließend ein vertiefendes Interview (Nave, 2023), das über die Inhalte der Concept Map hinausging. Die Erhebung wird von den folgenden Forschungsfragen geleitet:

- (F1) Wie ist das Modellverständnis von Simulationen bei 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?

Die Datenauswertung erfolgt durch eine inhaltlich strukturierende und evaluative qualitative Inhaltsanalyse nach Kuckartz und Rädiker (2022) mithilfe von MAXQDA.

Die Vorstellungen der Studierenden

Bei der Analyse der *concept maps* zeigte sich, dass eine strukturbasierte Analyse allein zur Charakterisierung der Studierendenvorstellungen nicht zielführend ist. Dies wird deutlich, da diese Analyseergebnisse der qualitativen Auswertung der Interviews z.T. widersprechen. Da eine qualitative Interpretation zwar möglich, allerdings auch methodisch aufwendig und zeitintensiv ist, wurden die *concept maps* im Verlaufe der Erhebung nicht mehr selbst, sondern die transkribierten *concurrent think alouds* zur Auswertung herangezogen. Diese stellten sich als vollständiger und besser interpretierbar als die zugehörigen Maps heraus. Trotz der Entscheidung gegen die Auswertung der *concept maps*, erwiesen sie sich als wertvoller Bestandteil der Interviews. Die interviewende Person konnte mit der durch den Erstellungsprozess bedingten Verlangsamung der Inhaltsäußerungen bereits parallel das anschließende explizierende Interview vorbereiten. Die Studierenden referenzierten die Maps während der Interviews, um ihre Gedanken zu verdeutlichen und Zusammenhänge klarer zu machen.

Vor dem Hintergrund der deskriptiven und evaluativen qualitativen Inhaltsanalyse lässt sich F2 teilweise positiv beantworten. Sowohl die Struktur als auch die inhaltliche Unterteilung des angepassten KMMKs eignen sich, um verschiedene Studierendenvorstellungen einordnen und bewerten zu können. Allerdings reicht das KMMK nicht aus, um Vorstellungen zu simulationsspezifischen Besonderheiten zu beschreiben, sodass sich hier eine vertiefende Analyse anschließen muss. Hinsichtlich F1 zeigt sich, dass einige Studierende elaborierte Ansichten zu Simulationen vertreten. Weniger als ein Viertel der Studierenden schreibt Simulationen allerdings eine rein visualisierende Rolle zu und erkennt in diesem Zusammenhang ihr epistemologisches Potential nicht. Diese Einschätzung wird auch in den studentischen Aussagen zum Verhältnis zu Animationen und Experimenten (F3) deutlich. Diejenigen Studierenden, die Simulationen eine primär visualisierende Funktion zuschreiben, können sie nicht von **Animationen** unterscheiden. Dieselben Studierenden bewerten Simulationen als **Experimenten** epistemologisch unterlegen. Sie begründen dies aber nicht mit auch in der Literatur vertretenen Argumenten, sondern sprechen Simulationen den Einsatz zur Erkenntnisgewinnung grundsätzlich ab. Neben diesen zwar wissenschaftsphilosophisch unangemessenen, aber in sich konsistenten Vorstellungen vertreten andere Studierende zueinander ähnliche Auffassungen, die in sich nicht konsistent sind, sondern sich (implizit oder explizit) widersprechen.

Fazit und Ausblick

In der Analyse der studentischen Vorstellungen zur epistemologischen Rolle von Simulationen in Unterricht und Wissenschaft zeigt sich, dass einige der Teilnehmenden die erkenntnisgewinnende Rolle von Simulationen überhaupt nicht erkennt und ihr daher eine rein visualisierende Funktion zuschreibt. Dies wirkt sich auch auf die Einschätzung der Rolle von Simulationen im Vergleich zu Animationen und Experimenten aus. Vor dem Hintergrund möglicher „konsistenter Inkonsistenzen“ (Rost et al., 2023), soll sich an die deskriptive und evaluative Datenauswertung eine typenbildende anschließen, die potentielle Gruppenvorstellungen herausarbeitet. 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. Im Rahmen des Projekts wurde zudem eine als Intervention angelegte Lehrveranstaltung zum Lernen mit und über Simulationen entwickelt, deren Einfluss auf das Modellverständnis von Simulationen der Studierenden mit den beschriebenen Zugängen untersucht wird.

Literatur

- Alvarado, R. (2021). Computer Simulations as Scientific Instruments. *Foundations of Science*(27), 1183–1205.
- Arnold, E. (2013). Experiments and Simulations: do they fuse? In E. Arnold & J. Duran (Hrsg.), *Computer Simulations and the Changing Face of Scientific Experimentation* (S. 46–75). CSP.
- Bader, H.-J. & Lühken, A. (2018). Experimente. In K. A. Sommer et al.(Hrsg.), *Unterricht Chemie. Konkrete Fachdidaktik Chemie: Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (S. 460–470). Aulis.
- Beisbart, C. (2018). Are computer simulations experiments? And if not, how are they related to each other? *European Journal for Philosophy of Science*, 8(2), 171–204.
- Durán, J. M. (2020). What is a Simulation Model? *Minds and Machines*, 30(3), 301–323.
- Durán, J. M. & Formanek, N. (2018). Grounds for Trust: Essential Epistemic Opacity and Computational Reliabilism. *Minds and Machines*, 28(4), 645–666.
- Fischler, H. et al. (2001). Concept Mapping as a Tool for Research in Science Education. In H. Behrendt (Hrsg.), *Research in science education - past, present, and future* (S. 217–224). Kluwer.
- Guala, F. (2002). Models, Simulations, and Experiments. In L. Magnani & N. J. Nersessian (Hrsg.), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (S. 59–74). Springer US.
- Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. *Synthese*, 169(3), 615–626.
- Kirchhoff, A. & Schwedler, S. (2024). Lernen über Simulationen: Das Modellverständnis von Simulationen bei Lehramtsstudierenden der Chemie. In H. van Vorst (Vorsitz), *Jahrestagung GDGP, Hamburg*.
- 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
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and learning: A model-centered approach*. New York, Heidelberg: Springer.
- Martín, E. & Ariza, Y. (2024). A Didactic and Metatheoretical Characterization of Computational Simulations in Science Education. *Science & Education*, 1–21.
- Morrison, M. (2009). Models, measurement and computer simulation. *Philosophical Studies*, 143(1), 33–57.
- Nave, K. (2023). *Charakterisierung situativer mentaler Modellkomponenten in der Chemie und die Bildung von Hypothesen*. Logos 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.
- Parker, W. S. (2020). Evidence and Knowledge from Computer Simulation. *Erkenntnis*(87), 1521–1538.
- Plass, J. L., Homer, B. D. & Hayward, E. O. (2009). Design factors for educationally effective animations and simulations. *Journal of Computing in Higher Education*, 21(1), 31–61.
- 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*.
- Roush, S. (2018). The epistemic superiority of experiment to simulation. *Synthese*, 195(11), 4883–4906.
- Saam, N. J. (2017). What is a Computer Simulation? A Review of a Passionate Debate. *Journal for General Philosophy of Science - Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*, 48(2), 293–309.
- 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.
- 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.
- Winsberg, E. (2009). A tale of two methods. *Synthese*, 169(3), 575–592.
- Winsberg, E. (2019). Computer Simulations in Science. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*.