

Chemielehramtsstudierende und ihr Modellverständnis von Simulationen

Computersimulationen – Relevanz für Gesellschaft und Unterricht

Attributionsstudien von Extremwetterereignissen (van Oldenborgh et al., 2021), Inzidenzprognostik in der Covid-19-Pandemie (Eyert, 2020) und die Entwicklung neuartiger Impfstoffe (Martinelli, 2022) - alle drei Beispiele haben eines gemeinsam: ihre Ergebnisse sind erstens unmittelbar gesellschafts- und handlungsrelevant und basieren zweitens in bedeutendem Maße auf der Verwendung von Computersimulationen. Auch im Naturwissenschaftsunterricht werden zunehmend häufig Computersimulationen genutzt, um naturwissenschaftliche Phänomene untersuchen und erklären zu können. Im Chemieunterricht sind es beispielsweise Moleküldynamiksimulationen, die didaktisch interessant sind, weil sie einen Zugang zu dynamisch-probabilistischen Phänomenen auf der Teilchenebene erlauben, deren Verständnis häufig mit Hürden versehen ist (Landriscina, 2013; Schwedler & Kaldewey, 2020). Die Komplexität submikroskopischer Zusammenhänge zeichnet auch die oben beispielhaft genannten Phänomene aus. Computersimulationen zeichnen sich gerade dadurch aus, versteckte Eigenschaften komplexer Systeme zugänglich zu machen (Orgill, York & MacKellar, 2019). Die Komplexität der Phänomene und auch der zugehörigen Simulationen führt jedoch zu einigen epistemologischen Besonderheiten, die ein Verständnis mit und über Computersimulationen erschweren. Dazu gehört die Beurteilung der Reliabilität dieser Simulationen und ihrer Ergebnisse (Durán & Formanek, 2018) oder auch entstehende epistemische Undurchsichtigkeiten durch die Komplexität der im Hintergrund ablaufenden Berechnungen (Humphreys, 2009). Da diese relevant zur Beurteilung von Simulationen aus einer *scientific literacy*-Perspektive sind, sollte ein epistemologischer Zugang im Naturwissenschaftsunterricht gefördert werden (Seoane et al., 2022). Bislang werden epistemologische Themen im Zusammenhang mit Simulationen in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung allerdings größtenteils ignoriert (Develaki, 2019). Es ist daher nur wenig zu den Vorstellungen von Lehrenden und Lernenden zu Computersimulationen bekannt (Develaki, 2019; Greca et al., 2014). Aus diesem Grund wurde im hier vorgestellten Forschungsprojekt ein Rahmen zur Beschreibung von Modellkompetenz in der Biologie theoriebasiert zur Charakterisierung des Modellverständnisses von Simulationen bei Lehramtsstudierenden der Chemie überarbeitet und eingesetzt. Zentral sind dabei auch die wissenschaftsphilosophischen Hintergründe von Computersimulationen.

Computersimulationen aus wissenschaftsphilosophischer Sicht

Wer versucht, Computersimulationen zu definieren, stößt auf eine rege Debatte, die auch die mannigfaltigen Facetten von Simulationen ontologisch aufdeckt. Im Rahmen dieser Arbeit wird mit der recht offenen Definition nach Winsberg gearbeitet, der Simulationen als ein System bezeichnet, das in seinem dynamischen Verhalten einem anderen System ähnlich genug ist, sodass durch Untersuchung des Simulationssystems etwas über das Ausgangssystem gelernt werden kann (Winsberg, 2019). Simulationen werden in diesem Zusammenhang als Modellierungen verstanden, die relevante Eigenschaften mit dem Gros von dem, was allgemein hin als Modell oder Modellierung bezeichnet wird, teilen. Grundsätzlich dienen sie der Generierung neuer Erkenntnisse (Develaki, 2019; Winsberg, 2010), dabei sind sie gegenüber Theorien und der realen Welt autonom und wirken als Mediatorinnen (Grüne-Yanoff & Weirich,

2010). Sowohl bei Modellen im Allgemeinen als auch bei Simulationen im Besonderen spielen Idealisierungen und Abstraktionen eine bedeutende Rolle (Develaki, 2019; Winsberg, 2010). Und wie jedwedes naturwissenschaftliche Erkennen sind auch sie tentativ. Zusätzlich zeichnen sie sich durch einige Eigenschaften aus, die sie von anderen Modelltypen abheben. Simulationen sind dynamisch (Durán, 2021; Grüne-Yanoff & Weirich, 2010; Winsberg, 2019) und können ihr Simulationssystem im Gegensatz zu statischen Modellen auch mit einer zeitlichen Dimension beschreiben (Grüne-Yanoff & Weirich, 2010; Schwedler & Kaldewey, 2020). Im Hintergrund finden komplexe Berechnungen durch Algorithmen statt (Grüne-Yanoff & Weirich, 2010; Parker, 2020), die zu einer epistemischen Undurchsichtigkeit führen (Durán & Formanek, 2018; Humphreys, 2009). Aus einer didaktischen Perspektive ist zudem die Interaktivität von Simulationen bedeutsam (Landriscina, 2013). Ihr Nutzen zur Erkenntnisgewinnung ist es, der Computersimulationen von Animationen unterscheidet. Das Verhältnis zu Experimenten ist Teil eines wissenschaftsphilosophischen Diskurses. Dabei gibt es unterschiedliche Auffassungen zur Frage, ob Simulationen und Experimente in ihrer Aussagekraft gleichzusetzen (Morrison, 2009; Parke, 2014) oder Simulationen Experimenten aufgrund einer fehlenden geteilten Materialität mit dem Ausgangssystem epistemologisch unterlegen sind (Morgan, 2002; Roush, 2018).

Forschungsfragen, -design und -auswertung

Um das Modellverständnis von Lehramtsstudierenden der Chemie charakterisieren zu können, wurde über drei Semester (WS 22/23 bis 23/24) eine qualitative Interviewstudie im Prä-Post-Design durchgeführt (N=24). Zu beiden Interviewzeitpunkten erstellten die Studierenden durch *think-aloud*-Protokolle (van Someren et al., 1994) begleitet eine *concept map*, um Zusammenhänge zwischen relevanten Begriffen beschreiben zu können. Es schloss sich ein explizierendes und vertiefendes Leitfadeninterview an. Die teilnehmenden Studierenden stammten aus einem Masterseminar zur Digitalisierung in der Chemiedidaktik, in dessen Rahmen sie zwei Sitzungen zum Lernen mit und über Simulationen (à 45 Minuten) belegten, die als Intervention eingesetzt wurden und detaillierter von Kirchhoff, Hoppmann & Schwedler (im Druck) beschrieben werden. Die Erhebung wurde von den folgenden Fragen geleitet:

- (F1) Wie sind wissenschaftsphilosophische und didaktische Vorarbeiten zu Modellen und Simulationen zu einem theoretischen Rahmen zu verbinden, um die Vorstellungen von Lehramtsstudierenden der Chemie zu Computersimulationen zu charakterisieren?
- (F2) Welche Vorstellungen zeigen Lehramtsstudierende der Chemie zur Rolle computerbasierter Simulationen in Wissenschaft und Schule?
- (F3) Wie verändern sich die Vorstellungen der Studierenden im Lehramt Chemie zur Rolle computerbasierter Simulationen in Wissenschaft und Schule über die entwickelte Intervention?

Mit MAXQDA wurden die transkribierten Interviews inhaltlich strukturierend und evaluativ qualitativ inhaltsanalytisch ausgewertet (Kuckartz & Rädiker, 2022). Grundlage dieser Analyse war das inhaltlich überarbeitete Kompetenzmodell der Modell(i)erkompetenz (KMMK) von Upmeyer zu Belzen & Krüger (2021; 2010), das zusammen mit detaillierten Perspektiven auf die berichteten Ideen zu Experimenten, Animationen, Idealisierungen und Abstraktionen deduktiv-induktiv eingesetzt wurde.

Bunte Bilder oder genuine Instrumente der Erkenntnisgewinnung?

In Ermangelung eines Charakterisierungsrahmens zum Modellverständnis von Simulationen, wurde das KMMK angepasst und um wissenschaftsphilosophisch relevante Perspektiven auf

das Verhältnis von Simulationen zu Animationen und Experimenten und auf die Rolle von Idealisierungen und Abstraktionen ergänzt (F1). In Bezug auf F2 zeigt sich in den Prä-Interviews ein Fokus vieler Studierenden auf der visualisierenden bzw. repräsentationalen Funktion von Computersimulationen. Dies äußert sich sowohl in den evaluativen Zuordnungen des auf dem KMMK basierenden Rahmens als auch in den Aussagen zum Verhältnis zu Animationen und Experimenten sowie der Rolle von Idealisierungen und Abstraktionen. Diesen Studierenden gelingt es häufig nicht, Animationen von Simulationen zu unterscheiden, da ihnen das unterscheidende Merkmal der Erkenntnisgewinnung nicht bewusst ist. Dies führt auch dazu, dass sie Experimente als prinzipiell epistemologisch überlegen wahrnehmen. Idealisierungen als bewusste Missrepräsentationen werden auf gleicher Grundlage abgelehnt. In den Post-Interviews beschreiben mehr Studierende Simulationen als Instrumente der Erkenntnisgewinnung und leiten entsprechende Vorstellungen ab (F3). Dabei fällt auf, dass sie Animationen entsprechend deutlich sicherer abgrenzen können, trotz einer zugeschriebenen Erkenntnisfähigkeit, Experimenten im Vergleich dennoch eine epistemologische Überlegenheit zuschreiben. Sowohl in den Prä- als auch in den Post-Interviews zeigen sich bei einigen Studierenden inkonsistente Vorstellungskombinationen. So argumentieren sie gleichzeitig für Simulationen als Spiegelbilder ihres Ausgangssystems und für die Existenz gleichwertig nebeneinanderstehender Simulationen eines Ausgangssystems. Dieser inhaltliche Widerspruch wurde bereits in verschiedenen Erhebungen zum Modellverständnis beschrieben und wird daher als „konsistente Inkonsistenz“ bezeichnet (Rost et al., 2023). Insbesondere in den Post-Interviews zeigte sich auch die umgekehrte Vorstellungskombination, bei der die Studierenden Simulationen als Instrument der Erkenntnisgewinnung beschreiben und gleichzeitig für nur eine beste Simulation argumentieren. Auch hier äußert sich ein Widerspruch, der in dieser Ausprägung deshalb als „invertierte konsistente Inkonsistenz“ bezeichnet wird (Kirchhoff, 2025).

Fazit und Ausblick

Computersimulationen nehmen für naturwissenschaftlich-gesellschaftliche und didaktische Fragestellungen eine zunehmend bedeutende Rolle ein. Es braucht Lehrkräfte, die ihren Schüler*innen einen wissenschaftsphilosophischen Zugang zu Simulationen bereiten, um sie im Sinne der *scientific literacy* auf die Beurteilung von Simulationen als Instrumente der Erkenntnisgewinnung in handlungsleitenden Fragestellungen vorzubereiten. Im vorgestellten Projekt wurden dabei zunächst die Vorstellungen von Lehramtsstudierenden der Chemie charakterisiert. Es zeigt sich, dass einige Teilnehmende Simulationen nicht als Instrumente der Erkenntnisgewinnung verstehen, sondern ihnen eine primär visualisierende Rolle zuschreiben. Diese Vorstellung führt zu einer fehlenden Unterscheidung von Animationen und zu einer deutlichen Unterlegenheitseinschätzung im Vergleich zu Experimenten. Weiterhin lehnen viele dieser Studierende Idealisierungen in Simulationen ab. Dies ändert sich über eine Kurzintervention zum Lernen mit und über Simulationen. Mehr Studierende erkennen die epistemologischen Eigenschaften von Computersimulationen und entsprechenden Ableitungen in Bezug auf Animationen, Experimente, Idealisierungen und Abstraktionen. Grundsätzlich wurde im Projekt zunächst untersucht, inwiefern sich das Modellverständnis überhaupt charakterisieren lässt. Nachdem in einem positiven Sinne Erkenntnisse erzielt wurden, ist zu Generalisierung dieser eine Erweiterung der Erhebung auf weitere Stichproben anzudenken. Zudem sind Langzeiteffekte und insbesondere die Übertragung des (gewonnenen) Verständnisses in die Schulpraxis inhaltlich zukünftige Anknüpfungspunkte.

Literatur

- Develaki, M. (2019). Methodology and epistemology of computer simulations and implications for science education. *JSET*, 28(4), 353–370.
- Durán, J. M. (2021). A formal framework for computer simulations. *Philosophy & Technology*, 34(1), 105–127. <https://doi.org/10.1007/s13347-019-00388-1>
- Durán, J. M. & Formanek, N. (2018). Grounds for trust. *Minds and Machines*, 28(4), 645–666.
- Eyert, F. (2020). Agent-based modeling und Politikberatung. In T. Klenk, F. Nullmeier & G. Wewer (Hrsg.), *Handbuch Digitalisierung in Staat und Verwaltung* (S. 1–12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23669-4_8-2
- Greca, I. M., Seoane, E. & Arriasecq, I. (2014). Epistemological issues concerning computer simulations in science and their implications for science education. *Science & Education*, 23(4), 897–921.
- Grüne-Yanoff, T. & Weirich, P. (2010). The philosophy and epistemology of simulation. *Simulation & Gaming*, 41(1), 20–50. <https://doi.org/10.1177/1046878109353470>
- Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. *Synthese*, 169(3), 615–626.
- Kirchhoff, A. (2025). *Computersimulationen: Bewegte Bilder oder genuine Instrumente der Erkenntnisgewinnung?* PUB. <https://doi.org/10.4119/unibi/3004445>
- Kirchhoff, A., Hoppmann, J. & Schwedler, S. (im Druck). Mit Simulationen lehren lernen: Eine digitale Lernwerkstatt für digital angereicherten Chemieunterricht. *HLZ*.
- Krüger, D. & Upmeyer zu Belzen, A. (2021). Kompetenzmodell der Modellierkompetenz. *ZfDN*, 27(1), 127–137. <https://doi.org/10.1007/s40573-021-00129-y>
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Beltz Verlagsgruppe.
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and learning: A model-centered approach*. Springer.
- Martinelli, D. D. (2022). In silico vaccine design. *Healthcare Analytics*, 2, 100044.
- Morgan, M. S. (2002). Model experiments and models in experiments. In L. Magnani & N. J. Nersessian (Hrsg.), *Model-Based Reasoning*. (S. 41–58). Springer US.
- Morrison, M. (2009). Models, measurement and computer simulation. *Philosophical Studies*, 143(1), 33–57.
- Parke, E. C. (2014). Experiments, simulations, and epistemic privilege. *Philosophy of Science*, 81(4), 516–536.
- Parker, W. S. (2020). Evidence and knowledge from computer simulation. *Erkenntnis*(87), 1521–1538.
- Rost, M., Sonnenschein, I., Möller, S. & Lembens, A. (2023). Don't we know enough about models? *CTI*, 0(0).
- Roush, S. (2018). The epistemic superiority of experiment to simulation. *Synthese*, 195(11), 4883–4906.
- Schwedler, S. & Kaldewey, M. (2020). Linking the submicroscopic and symbolic level in physical chemistry. *CERP*, 21(4), 1132–1147. <https://doi.org/10.1039/C9RP00211A>
- Seoane, M. E., Greca, I. M. & Arriasecq, I. (2022). Epistemological aspects of computational simulations and their approach through educational simulations. *SIMULATION*, 98(2), 87–102. <https://doi.org/10.1177/0037549720930084>
- Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2010). Modellkompetenz im Biologieunterricht. *ZfDN*, 16, 41–57.
- van Oldenborgh et al. (2021). Pathways and pitfalls in extreme event attribution. *Climatic Change*, 166(1-2), 1–27. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03071-7>
- van Someren, M. W., Barnard, Y. F. & Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method*.
- Winsberg, E. (2010). *Science in the age of computer simulation*. The Univ. of Chicago Pr.
- Winsberg, E. (2019). *Computer Simulations in Science*. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <https://plato.stanford.edu/entries/simulations-science/>